

# Der Schubverkehr auf dem Rhein und seinen Nebenwasserstraßen bis zur Donau

Beiträge zur Fahrndynamik und Betriebstechnik geschobener Transporteinheiten auf Binnenwasserstraßen

Von Dr.-Ing. E. Schüle

117. Mitteilung der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau,  
Duisburg, Institut an der Rheinisch-Westfälischen Techni-  
schen Hochschule, Aachen

Seit mehr als 12 Jahren ist die Versuchsanstalt für Binnenschiffbau in Duisburg neben vielen anderen Institutionen an der Entwicklung des Schubverkehrs auf dem Rhein und seinen Nebenflüssen, den westdeutschen Kanälen und in der letzten Zeit auch für die Wasserwege zur Donau beteiligt. Während sich die Aufgaben anfangs nur auf Modellversuche zur hydrodynamisch günstigsten oder technologisch zweckmäßigsten Formgebung der Leichter und Schubboote bezogen und die gewonnenen Ergebnisse durch freifahrende Manövrierversuche teilweise erhärtet werden konnten, setzten ab 1962 mit Übernahme des Forschungsschiffes „FRITZ HORN“ und den damit zur Verfügung stehenden umfangreichen meßtechnischen Anlagen in großem Umfang naturgroße Untersuchungen ein. Sie sollten nicht nur Vergleichswerte zwischen Modell- und Großausführung liefern, sondern sich gleichzeitig mit der allgemeinen Fahrndynamik befassen, aus deren Kenntnis die im Verkehrswesen sogen. Betriebstechnik entwickelt werden kann. Obwohl die Bewegung der Fahrzeuge auf dem Wasser gewissermaßen dreidimensional verläuft, wird die Betriebsweise in Zukunft derjenigen der Eisenbahnen sehr ähnlich sein.

Die vorerst nicht zu erwartende Minderung der spezifischen Investitionskosten, die sich verschärfende Lage auf dem Personalsektor, das weitersteigende Transportaufkommen und die Konzentrierung bestimmter Massengutarten auf die Wasserstraße lassen kaum noch eine andere Fahrzeugart als den Schubleichter, zumindest auf den mitteleuropäischen Wasserstraßen, wirtschaftlich erscheinen. Der Schubleichter ist der „Güterwagen“ im Wasserverkehr; unterschieden nach den Spezifikationen: offen oder gedeckt; nach der Güterart: flüssig oder fest bzw. gefährlich oder nicht gefährlich. Sein Bau und seine Ausrüstung sollen ein „Minimum“ an technischem Aufwand erfordern. Im Vordergrund steht lediglich die Erfüllung der Sicherheitsbedingungen, bezogen auf Ladegut und Umschlag sowie das Vorhandensein aller technischen Einrichtungen zur Bildung und Kennzeichnung verschieden großer Formationen.

Es ist vorauszusehen, daß die technische Entwicklung des Schubleichters der derzeitigen Generation noch in diesem Jahr weitgehend abgeschlossen sein wird. Es gibt drei genormte Typen, denen im Moment noch weitere Vorschiffsvarianten hinzugefügt werden und über deren Vermessungsspezifikationen weitere gesetzliche Verfügungen getroffen werden sollen. Noch nicht abgeschlossen dagegen ist die Entwicklung der Triebfahrzeuge, also der Schubboote. Der für sie notwendige technische Aufwand ist mit demjenigen einer modernen E-Lok zu vergleichen. Im Zusammenhang mit der Betriebsweise ist er etwas anders geartet; denn es gibt keine Gleise, infolgedessen müssen hochwertige Manöviereinrichtungen vorhanden sein; es gibt keine tägliche Personalablösung, infolgedessen müssen auch ruhige, bequeme — die Produktivkraft reproduzierbare Besatzungsunterkünfte angeboten werden.

Die unterschiedlichen Maße der natürlichen und künstlichen Wasserwege bedingen auch unterschiedliche technische Größen der Schubboote und Abmessungen der Leichterformationen. Hier zeichnen sich zukunftssträchtige und etwa bis zum Jahr 1975 auch erreichbare Grenzwerte ab, die vor allem die intensive Zusammenarbeit aller Beteiligten verlangen, sollen sie zum Vorteil der gesamten Verkehrswirtschaft realisiert werden.

Der Verfasser beabsichtigt, die in diesem Zusammenhang gewonnenen Erkenntnisse und Meinungen, die vorwiegend auf den Ergebnissen naturgroßer Untersuchungen fußen, in dieser Fachzeitschrift und unter obengenanntem Grundthema nach und nach zu veröffentlichen, um damit auch eine Diskussion auf breiterer Basis vorzubereiten. Alle im Literaturverzeichnis aufgeführten Beiträge gehören schon in diese Folge.

## 1. Schubboote

Die Schubboote sind die „Triebfahrzeuge“ aller Leichterformationen. Nach der Zusammenstellung — der sogen. Kopplung — nennt man eine solche Einheit SCHUBVERBAND. Die aufzuwendende Antriebsleistung richtet sich nach der Zahl der Leichter und deren Tiefgang. Der Tiefgang hängt vom jeweiligen Wasserstand des Stromes bzw. der Flüsse oder von der Anbautiefe der zu befahrenden künstlichen Wasserstraße ab. Wesentlich für die Höhe der Leistung ist jedoch das Gesamtgewicht der Schubeinheit. Es hat sich herausgestellt, daß bei sinnvoller Dimensionierung keine Rücksicht auf Niedrig-, Mittel- oder Hochwasser genommen zu werden braucht. Während auf Strömen und Flüssen für die Bergfahrt 0,3 PS/m<sup>3</sup>-Verdrängung völlig ausreicht, sollte die Leistung bei Beförderung leerer Leichter zu Tal bis zu 2 PS/m<sup>3</sup> betragen. Die aus der Entwicklung des Schubverkehrs resultierenden Grenzmaße, die durch die Rheinzentalkommission erarbeitet wurden und in die Polizeiverordnungen eingingen, sagen aus, welche Flächen von Leichterformen innerhalb verschiedener Streckenabschnitte des Rheins maximal bedeckt werden dürfen. Sie sind vorwiegend auf Niedrigwasser zugeschnitten. Seit 1968 prüft die CFNR zusammen mit der VBD, ob es für höhere Wasserstände möglich ist, diese Maße zu überschreiten, ohne den Nachbarverkehr mehr als erträglich zu benachteiligen. Sollte die Gesamtverdrängung von derzeit 14 000 m<sup>3</sup> auf rd. 20 000 m<sup>3</sup> steigen, werden diejenigen Schubboote, die solche Verbände befördern sollen, eine installierte Antriebsleistung von 6000 PS<sub>e</sub> haben müssen.

Die Nebenflüsse des Rheins, vor allem aber das extrem veraltete westdeutsche Kanalnetz erlaubt nur einen Schubverkehr sehr kleiner Abmessungen. Wenn auch zeitweise und innerhalb weniger Streckenabschnitte der „Europaleichter II“ und erst seit wenigen Jahren zwei hintereinandergeschaltete Leichter „EUROPA I“ befördert werden dürfen, ist dies nur einigen der Schifffahrt sehr zugeneigten Einzelpersonen zu danken, die die Leistungsfähigkeit des Querschnitts voll ausschöpfen lassen. Dagegen unterliegt der Schubverkehr auf der Mosel nur den um 20 m zu kurzen Schleusen und auf dem Main den oft zu kleinen Querschnitten und Radien sowie einer zu geringen Wassertiefe Einschränkungen. Querschnitte, Wassertiefen, Schleusenmaße der Nebenwasserstraßen und Strömungsverhältnisse auf dem Rhein, in Verbindung mit den möglichen Beförderungsmengen, haben also einerseits zu den beiden Leichterarten, vor allem aber zu der sehr unterschiedlichen Größe, Leistung und Ausrüstung der Schubboote geführt.

Von der Fülle der z. Z. verkehrenden sollen diejenigen aufgeführt werden, an deren Entwicklung die VBD unmittelbar beteiligt war oder die sie in Naturversuchen prüfen durfte. Es sind aber gleichzeitig auch diejenigen, die der Verfasser aus später zu beweisenden Gründen für zukunftssträchtig hält.

### 1.1 Die Kleinstschubboote „FRITZ HARTUNG“ und „ALLOD“, Antriebsleistung bis 500 PS<sub>e</sub>

Bis zum Jahr 1964 war es unmöglich, die zuständige Behörde zu überzeugen, daß gerade im Rhein-Herne-Kanal der Verkehr mit zwei voreinander gekoppelten Leichter nicht nur wirtschaftlicher, sondern auch wesentlich sicherer sei als die Beförderung eines Einzel-Leichters noch unter der Einschränkung, den Schubverband nicht länger als 80 m vorzulegen. Da der Leichter bereits 70 m lang war und man nicht mit dieser Einschränkung gerechnet hatte, denn die RHK-Schleusen lassen eine Länge von 163—165 m zu, durfte das Schubboot nicht 12 m, sondern nur 10 m lang werden.

Die Aufgabe wurde zwangsläufig gelöst, das Kleinstschubboot „FRITZ HARTUNG“ vorgestellt und befriedigend eingesetzt [1]. Kurz darauf folgte der Nachbau einer etwas verbesserten Ausführung, weil es sich herausstellte, daß der geplante, tägliche Personalwechsel nicht so funktionierte, wie ursprünglich vorausgesetzt. Das zweite Boot erhielt also geräumigere Unterkünfte und etwas höhere Antriebsleistung.

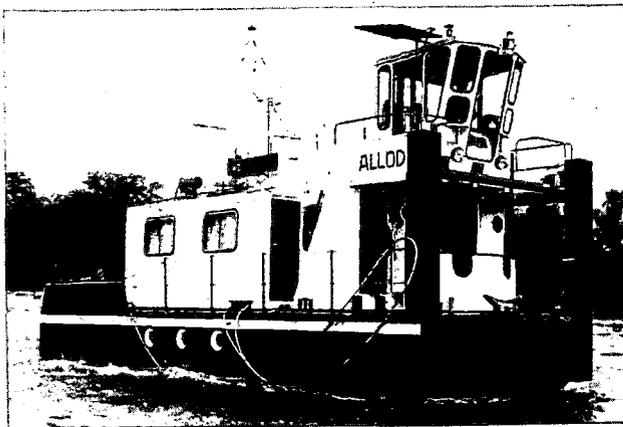


Abb. 1: Kleinstschubboot „ALLOD“  
L = 10 m, B = 5,63 m, T = 1,65 m  
N<sub>e</sub> = 460 PS, Rheinwerft Mainz-Mombach

Abb. 1 zeigt dieses kleine, verbesserte Schubboot; gebaut wurde es auf der Schiffswerft Mainz-Mombach. Weitere folgten innerhalb der nächsten Jahre, sogar als Zweischrauber und doch 2 m länger; denn inzwischen durften nach langwierigen Verhandlungen auch Schiffe von 85 m Länge für den Kanalverkehr zugelassen werden.

### 1.2 Kleinstschubboote für den Moselverkehr; Antriebsleistung etwa 1000 PS<sub>e</sub>

Schon in der Frühentwicklung des Rheinschubverkehrs stand es fest, daß auch die inzwischen im Ausbau befindliche Mosel von Zweileichter-Schubverbänden befahren werden muß. Leider lagen vor der Projektierung der Moselschleusen die Maße des nächstgrößeren Leichters mit der jetzigen Typenbezeichnung „EUROPA II bzw. IIa“ noch nicht so verbindlich fest, auch konnte die schnelle Entwicklung des Schubverkehrs nicht vorausgesehen werden. So baute man die Schleusen nur für eine Verbandslänge von 172 m. Da zwei hintereinandergesetzte große Leichter aber 153 m Länge beanspruchen, blieben für das Boot nur 19 m übrig. Ein solcher Bootstyp wurde bereits 1962 von der Schiffswerft De Biesbosch und der NSP Wageningen entworfen und 1963 in Dienst gestellt. Seit dieser Zeit wickelt die CFNR ihren gesamten Moselverkehr mit solchen Booten zwischen Koblenz und Tyonville ab [2]. Weitere Boote gleicher Abmessungen, jedoch mit den inzwischen erkannten Verbesserungen und höherer Leistung sind derzeit auch von deutschen Reedereien in Betrieb genommen worden.

### 1.3 Kleinstschubboote für den Verkehr nach Emden, bis 1000 PS<sub>e</sub>

Der Durchgangsverkehr vom RHK über den Dortmund-Ems-Kanal (DEK) nach Emden unterliegt den aufgeführten Einschränkungen. Wenn er — vor allem auf der Ems — unter Nutzung der verfügbaren Schleusenlänge ausgeführt werden muß, genügt es nicht, nur die Leistung und Manövrierfähigkeit der Boote zu erhöhen. Die WTAG und die Reederei Lehnkering haben deshalb versucht, Schiffsverbände durch Knickung den Krümmungen besser anzupassen. Herr Obering. Lange entwickelte das Schubboot „FRANKFURT“ [noch 2] (ursprünglich auch für den Verkehr auf dem Main gedacht), das auf dem Achterdeck eine hydraulisch verstellbare Knickeinrichtung besitzt. Naturversuche haben gezeigt, daß sehr viel Aufwand nötig ist, um die Verkehrssicherheit zu gewährleisten — technisch ist ein solches Verfahren jedoch möglich. Eine neuartige, sehr einfache, knickbare Kurzsleppvorrichtung für beengte und gekrümmte Wasserwege entwickelte Herr Oberregierungsrat Beretz. Sie wird nach gelungener Erprobung nunmehr von der Winschermann Transport-AG und anderen Reedereien verwendet.

### 1.4 Neues Rhein-Main-Mosel-Schubboot, etwa 1800 PS<sub>e</sub>

Aus betriebstechnischen Gründen ist es bisweilen von besonderer Bedeutung, die in die Nebenflüsse einlaufenden Schubleichter in zweigliedriger Formation bereits vom Beladungsort am Rhein abzuholen. Dabei hat sich gezeigt, daß bei längeren Fahrstrecken, beispielsweise von Ruhrort nach Koblenz, die 1000 PS-Kleinstschubboote überlastet sind. Andererseits hat sich mehr und mehr bestätigt, daß es sinnvoller ist, die zu installierenden Manövrierkräfte nicht auf Leichter und Schubboot zu verteilen, sondern im Schubboot allein zu konzentrieren. Das ist bei Verwendung echter Hochleistungsrunderanlagen und geschickter Nutzung aller Möglichkeiten von großem Vorteil. Besondere Manövrierprüfungen bestätigten, daß sich bei der Auftrennung der in der Regel zusammengeschalteten hydraulischen Bedienungselemente Steuereffekte erzielen lassen, die die Manövrierfähigkeit erheblich verbessern.

Ein solches, ggf. als „Boot mittlerer Leistungsklasse“ zu bezeichnendes Triebfahrzeug — auch durch die Reederei Lehnkering mit dem SB „LUDWIGSHAFEN“ schon einmal praktiziert — von 24 bis 26 m Länge ist in der Lage, zwei große Leichter auf der Wasserstraßenklasse IV sicher zu befördern. Der zweigliedrige Schubverband 180×11,4×2,5 m stellt die größte Einheit dar, die nach Fertigstellung der Rhein-Main-Donau-Großschiffahrtsstraße durchgehend vom Rhein zur Donau verkehren kann. Diese (größte) Einheit dürfte zugleich auch die wirtschaftlichste sein, denn Bauart, Ausrüstung, Besatzung und installierte Leistung erlauben einen 24stündigen Betrieb! Selbst wenn die Donau-Leichter einige Meter länger werden sollten, trifft diese Aussage zu, denn in Ausnahmefällen wird man ggf. das Längensicherheitsmaß der Schleusen in Anspruch nehmen können, die ja mehr als 185 m lang sind.

Den Generalplan des ersten Bootes, das die Schiffswerft De Biesbosch im Auftrag der CFNR baut, zeigt Abb. 2. Aus verständlichen Gründen wird es hier als Rhein-Mosel-Boot bezeichnet. Solange die größeren Moselzweitschleusen noch nicht gebaut sind, kann es maximal jeweils nur einen Groß- und einen Normalleichter befördern.

### 1.5 Die Rhein-Streckenboote

Auf dem Rhein begann die Entwicklung des Schubverkehrs bereits 1956. Während der CFNR damals nur schwere Dieselschlepper zur Verfügung standen, die sie zu provisorischen Schubbooten umbaute, wurde von Herrn Dr. Burmester und Herrn Dir. Noel der Bau eines ersten echten Schubbootes nach amerikanischem Vorbild gefördert. Es entstanden das vielzitierte Schubboot „WASSERBÜFFEL“ sowie die Nachfolger „NILPFERD“ und „NASHORN“.

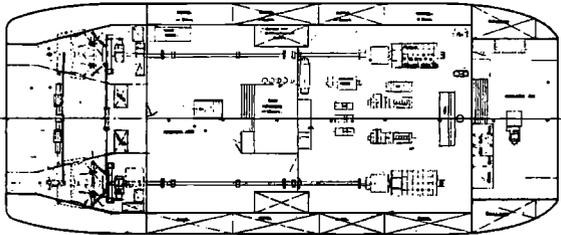
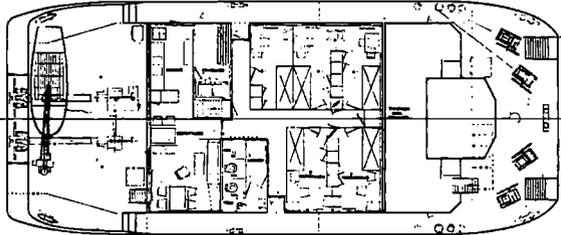
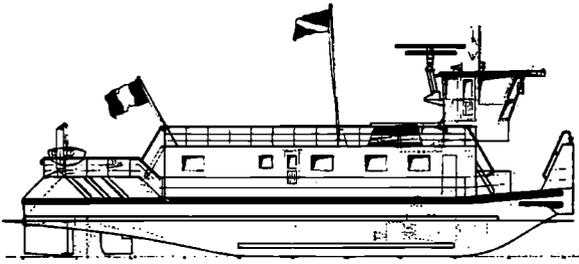


Abb. 2: Rhein-Main-Mosel-Schubboot „COLMAR“  
 $L = 25,5 \text{ m}$ ,  $B = 10,8 \text{ m}$ ,  $T = 1,65 \text{ m}$ ,  $N_e = 2 \times 1350 \text{ PS}$   
 Schiffswerft De Biesbosch

Darüber hinaus wurde die paarweise Kopplung der Leichter für die Bergfahrt und die sogen. Schwalbenschwanzformation für die Talfahrt eingeführt. Die Antriebsleistung dieser Boote lag zwischen 1250 und 1500 PS. Wenige Jahre später führte die CFNR ein analoges Schubboot zur Funktionserprobung vor und gab danach 3 ähnliche Schubboote mit 1900 PS in Auftrag [3]. Da die Grundkonzeption sich bis zum heutigen Tag bewährte, wurden sie mehrfach jedoch verbessert kopiert, wenn auch die Leistungen allmählich bis zu 2600 PS und mehr stiegen [4]. Diese Boote sind alle mit gerundeten Spanten konstruiert. Da sich bei den Leichtern jedoch die sogen. Einfachbauweise mit eckigen Spantenübergängen bewährt hatte und auch für Motorgüterschiffe von Interesse schien, entwickelte die Versuchsanstalt für Binnenschiffbau Duisburg (VBD) mit Einzelpersonen und deutschen Reedereien ein Schubboot, das nur ein-dimensionale gekrümmte Plattenfelder aufweist. Es entstanden die Schubboote „LUDWIGSHAFEN“ (unter 1.4 schon erwähnt), „BRAUNKOHLÉ I“, „LEVERKUSEN“ [5] und „ORANJE I“ [6]. Letzteres zeigt auch auf deutscher Seite den Sprung in die höhere Leistungsstufe und damit den Übergang vom Zwei- zum Dreischrauber. Seine Maschinen sind auf je 1000 PS eingestellt, so daß insgesamt 3000 PS zur Verfügung stehen.

### 1.6 Neue Großschubboote

Die sichere Beförderung großer Ladungsmengen oder -gewichte, wie vorn bereits erörtert, möglicherweise bis zu 20 000 t Gesamtgewicht, setzt nicht nur eine Erhöhung der Leistung voraus, sondern erfordert auch eine Neukonstruktion der Triebfahrzeuge einschließlich der Manöviereinrichtungen. Die hydrodynamischen Untersuchungen wurden bereits 1967 von der NSP-Wageningen und der VBD, jeweils im Auftrag der CFNR ausgeführt. Die Konstruktion und den Bau des ersten Funktionsmusters führte wiederum die Schiffswerft De Biesbosch aus. Obwohl Wassertiefe und Propellerflächenbelastung mehr zum Vierschrauber hin tendieren ließen, überwogen die betrieblichen Vorteile des Dreischraubers, und es entstand ein Schubboot von  $3 \times 1500 \text{ PS}$ .

Die Länge blieb bei 32 m, doch überschritt man aus Tiefgangsgründen jetzt die bisherige Breitenbegrenzung: Bootsbreite = Leichterbreite ganz bewußt, weil diese leistungsstarken Boote niemals weniger als 4 Leichter (paarweise gekoppelt) schieben werden und dabei nachweislich eine Breite größer als 12 m von weiterem Vorteil ist.

Abb. 3 zeigt das Großschubboot „PIERRE BROUSSE“ während seiner ersten Fahrt an einem Verband von 14 000 t Gesamtgewicht. Über diese Meßfahrten wird gesondert berichtet. Inzwischen wurde auch das Schwesterschiff „HIP-POLYTE BLOCH“ in Dienst gestellt. Aus diesem Schubboot wird z.Z. das 6000-PS-Schubboot mit etwas größeren Abmessungen entwickelt, um bei dem ins Auge gefaßten Verkehr mit 6 Großleichtern ebenso sicher verkehren zu können.

Die 12jährigen Betriebserfahrungen mit Schubverbänden lassen allgemein erkennen, daß die Bergfahrt in der Regel nur geringfügige Störungen des Nachbarverkehrs verursacht. Viele, nicht die Schubmethode anwendende Reedereien bestätigen sogar, daß sie im Verkehr den Schubverband als weitaus sichereren Partner betrachten als manche MGS und SK-Umbauten, weil der Schubverband nicht nur korrekt fährt, sondern eine erheblich höhere Manövrierfähigkeit besitzt.



Abb. 3: Großschubboot „PIERRE BROUSSE“  
 $L = 32,0 \text{ m}$ ,  $B = 13,0 \text{ m}$ ,  $T = 1,8 \text{ m}$ ,  $N_e = 3 \times 1600 \text{ PS}$   
 Schiffswerft De Biesbosch

Von besonderer Bedeutung ist deshalb nicht die Fahrt zu Berg, sondern die Fahrt zu Tal, vor allem bei böigen Winden und bei nicht ordnungsgemäßer Fahrt entgegenkommender Partner. Um dann den schweren Verband sicher zu manövrieren oder sogar abzustoppen, ist nicht nur eine gute Ruderlage, sondern vor allem hohe Antriebsleistung erforderlich.

### 2. Untersuchungen über das Abstoppen von Schubverbänden

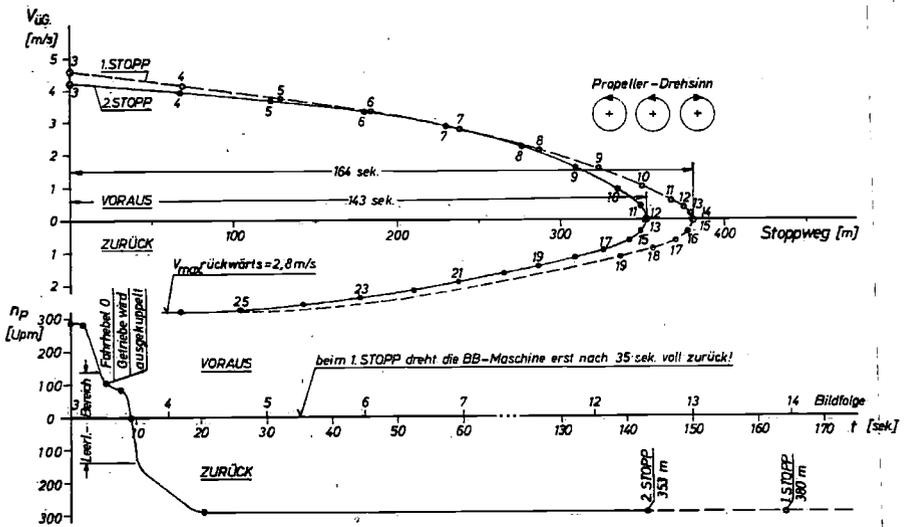
In den Jahren 1969/70 führte die VBD im Auftrag des Bundesverkehrsministeriums mit derzeit verkehrenden Schubverbänden verschiedener Größe und Leistung Stoppversuche aus.

Es war von vornherein aus Kostengründen einschränkend in Kauf genommen worden, daß diese erste Versuchsreihe keinen vollständigen Einblick in alle technischen Vorgänge vermitteln konnte, weil Wassertiefe, Stromgeschwindigkeit, Gefälle, Bauart der Boote und deren Wirkungsgrad nicht als „Konstante“ in die Messung eingehen können. Trotzdem ist versucht worden, zumindest bei der Wahl der Prüfrecken, der Einzeltypen und der zugeordneten Leichtergewichte, eine gewisse Systematik zu erreichen. So fanden die Messungen mit den Kleinschubbooten vorwiegend unterhalb Koblenz zwischen km 592 und 597 und mit den Stromschubbooten zwischen km 780 und 885 statt.

Faßt man alle Ergebnisse zusammen, dann schälen sich schon jetzt gewisse Richtwerte heraus, die einerseits für die Bewertung der nautischen Sicherheit im Schubverkehr

Rechts:

Abb. 4: Stoppversuche mit SB „ORANJE I“ und vier Leichtern  
76,5x11,4x3,5 m bei H ≈ 10 m auf dem Holl. Diep bei km 260-262

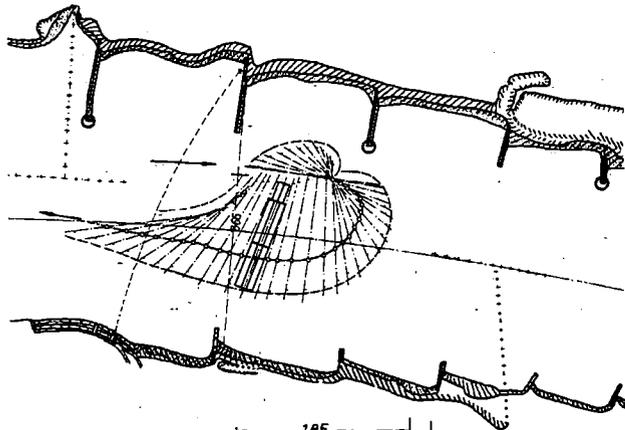
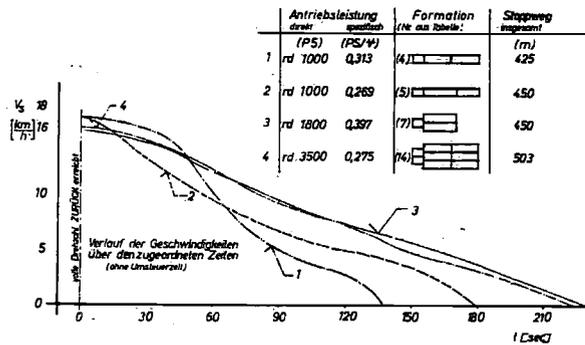


Unten:

Abb. 5: Vergleich der Stoppwege von 4 Formationen bei unterschiedlicher Leistung und Verdrängung

Abb. 6: Wendemanöver bei Rheln-km 866

Versuchsträger: SB „Marseille“ und SB „Detoef“ mit 6 Großleichtern auf T ≈ 2,5 m, Intervallzeit der Radarbilder: 15 sec



Formation:  $D_{\text{Leichter}} = 12000 \text{ m}^3 \cdot h = 6-7 \text{ m}$

beachtet werden sollten, andererseits aber auch dem Entwurfsingenieur bekannt sein müssen.

### 2.1 Meßtechnik

Aus Zweckmäßigkeitsgründen wurde für die meßtechnischen Bezugspunkte ein ortsfestes Koordinatensystem gewählt. Die Basis bildeten die flußgeografischen und hydrologischen Konstanten

- Uferstreichlinie, -verbauung;
- Kilometrierung, Topographie;
- Bezugspegel, Wassertiefe;
- Wassergeschwindigkeit;
- Gefälle.

Gemessen bzw. errechnet werden mußten:

- Stoppweg und -verlauf,
- Stoppzeit und -verlauf,

- Schiffsgeschwindigkeiten,
- Antriebsleistung.

Grundlagen sind:

- das bordeigene Radargerät,
- eine automatisch arbeitende Bildkamera zur zeitsynchronen Aufnahme des Radarbildes
- ein Kreissystem mit Kurs- und Drehgeschwindigkeitsausgabe,
- ein elektrischer Fahrtmesser \*)
- elektrische Winkel- und Drehzahlgeber.

### 2.2 Versuchsdurchführung

Aus Kostengründen war es nicht möglich, Schubboote und Leichter für die Versuchszeit zu mieten. Infolgedessen mußte durch Informationsaustausch mit einigen Reedereien jeweils versucht werden, geeignete Boot-Leichter-Kombinationen für einige Stunden zur Durchführung der Messungen verwenden zu dürfen. Solche Möglichkeiten boten uns in dankenswerter Weise die französische Reederei CFNR und die deutsche Reederei Lehnkering. Jeweils ein Schiff konnte von der Reederei Klöckner und von der Reederei Braunkohle diesbezüglich eingesetzt werden.

Der Stoppversuch wurde folgendermaßen ausgeführt:

- Einregeln der betriebsüblichen Höchstdrehzahl der Motoren,
- Erreichen des Beharrungszustandes; talwärts mindestens Zurücklegen von 1000 m Fahrstrecke,
- Start der Kamera über dem Radarschirm und nach dem dritten Bild,
- schnellstmögliche Umsteuerung des Propellerdrehsinns,
- Fortsetzung der zeitsynchronen Radarbild-Fotografie, bis Beharrungszustand in der Rückwärtsfahrt erreicht.

### 2.3 Versuchsauswertung

Die in verschiedener Weise registrierten Meßinformationen wurden sofort nach jeder Fahrt im Hause ausgewertet. Primär und von entscheidender Bedeutung zeigten sich dabei stets die aufgenommenen Radarfilme.

Die Abb. 4 und 5 zeigen als Beispiele die Auswertung der Radarfotos von zwei Stoppversuchen mit den daraus gewonnenen quantitativen Ergebnissen.

Abb. 6 zeigt im Gegensatz zum Stoppmanöver ein Wendemanöver, hier aus dem bergwärtigen Stand talwärts gerichtet. Für das Wenden benötigt man allein ca. 200 m Wegstrecke. Bei Drehkreisversuchen aus voller Fahrt zeigte sich, daß bis zum Mittelpunkt der Spirale sogar 500 m Wegstrecke beansprucht werden.

Beim Vergleich der Wege und Zeiten zwischen einem Wendemanöver — unbeschränkten Platz auch in der Breite vor- ausgesetzt — und einem Stoppmanöver schneidet das Stoppmanöver bedeutend besser ab.

\*) Hydrometrischer Flügel mit Miniatur-Wechselstromgenerator (Eigenbau).

Abb. 7 zeigt, daß selbst in der Nähe des höchsten, schiffbaren Wasserstandes ein korrekt ausgeführtes Stoppmanöver das sicherste Mittel ist, um auch große Schubverbände schnell zum Stehen zu bringen. Entscheidend ist, dabei, daß eine der Gesamtverdrängung entsprechende Maschinenleistung sowie eine gute Ruderanlage vorhanden sind.

#### 2.4. Zusammenfassung der Ergebnisse

Wie die durchgeführten Versuche und deren Auswertung zeigten, lassen sich aus dem gewonnenen Material einige Schlüsse ziehen:

1. Ebenso wie bei Fahrt unterliegt das Stoppmanöver einem „Flachwassereinfluß“. Je größer die Wassertiefe, um so wirksamer ist der Rückwärtsschub des Propellers — um so geringer ist die aufzuwendende Ruderarbeit, den Kurs einzuhalten. Wird die Wassertiefe geringer, kehren sich die Verhältnisse um.
2. Beim Zwei- und sicher auch beim Vierschrauber ist der Kursverfall auch ohne Ruderwirkung gering, beim Ein- und Dreischrauber relativ groß.
3. Da die Stoppwege talwärts beträchtlich größer als bergwärts ausfallen und auch bei Berücksichtigung von Stromgeschwindigkeit und Gefälle noch kein Gleichgewicht zu erreichen ist, könnte die mitbewegte Wassermenge — die hydrodynamische Masse — noch einen erheblichen Einfluß auf das Maß der Verzögerung ausüben. Hier sollen systematische, themenbezogene Modellversuche ausreichende Klärung bringen (derzeit in der VBD abgeschlossen).
4. Die Gesamtheit eines Stoppvorgangs setzt sich aus drei Teilzeiten zusammen
  - a) Umsteuerung der Propeller,
  - b) Verzögerung bis  $V_S = 0$ ,
  - c) Rückwärtsbeschleunigung bei Talstopp bis  $V_{UG} = 0$ .

Zu a) Die Drehsinnumsteuerung der Propeller erfolgt bei langsamlaufenden Motoren durch die Umsteuerung des Motors selbst und bei Motoren, die eine solche Möglichkeit nicht besitzen — es sind in der Regel Schnellläufer von 500—6000 U/min — über Wende- oder Wendeuntersetzungsgetriebe. Moderne Umsteueranlagen beider Motorengattungen ermöglichen die Drehsinnumsteuerung innerhalb des in der Binnenschifffahrt üblichen Leistungsbereiches schon zwischen 15 und 20 Sekunden.

Solche Ablaufstudien wurden für beide Umsteuerarten betrieben und die kürzestmöglichen Zeiten in Diagrammform dargestellt; Abb. 8 zeigt die Drehsinnumsteuerung eines „Langsamläufers“ und Abb. 9 die eines „Schnellläufers“.

Zu b) Der Übergang zur größtmöglichen Verzögerung bzw. der Aufbau eines stetigen Strömungs- oder Zirkulationsfeldes um den rückwärtslaufenden Propeller, wird dann gefördert, wenn — wie in den beiden eben erwähnten Diagrammen einschließlich der Anlage 23 gezeigt — die Höchstdrehzahl nicht durch den kürzesten Linearanstieg erreicht werden soll, sondern von etwa 75%  $n_{max}$  langsamer erfolgt. Dann wird einem entstehenden Vakuum bzw. dem Luftzutritt besser begegnet. Die Folge ist ein sich trotzdem schnell genug stabilisierender Rückwärtsschub. Er erzeugt — wie aus den Diagrammen zu ersehen, zumindest bis  $V_S = 0$  eine relativ konstante Verzögerung.

Zu c) Bei dem Wechsel der Fahrtrichtung in strömendem Wasser, regelmäßig dann, wenn der Stoppvorgang bei Talfahrt erfolgt, setzt gewissermaßen ein neuer Anfahrvorgang über dem Achtersteven ein.

Da der Propeller das Schiff ziehen muß, herrschen völlig andere Bedingungen als beim Drücken. In der Regel sind sie wesentlich ungünstiger, was zur Folge hat, daß die Beschleunigung gering und die Endgeschwindigkeit sehr klein ist. Wird verlangt, daß die Verbandsgeschwindigkeit über Grund „Null“ werden muß, dann bedingt das, eine Rückwärtsgeschwindigkeit zu erreichen, die der Stromge-

windigkeit im Einsatzgebiet gleicht. Darüber hinaus muß der Propellerschub rückwärts proportional zur Gefällekraft größer sein.

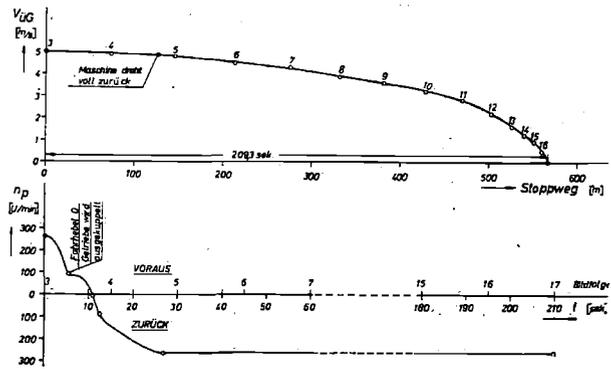


Abb. 7: Stoppversuche mit SB „P. Brousse“ und vier 76,5-m-Leichtern  
 $D = 12\,500\text{ m}^3$ , auf dem Rhein bei km 748,2–748,8 z. Tal;  
 nach 127,8 sek. durchs Wasser  $V_S = 0\text{ m/s}$

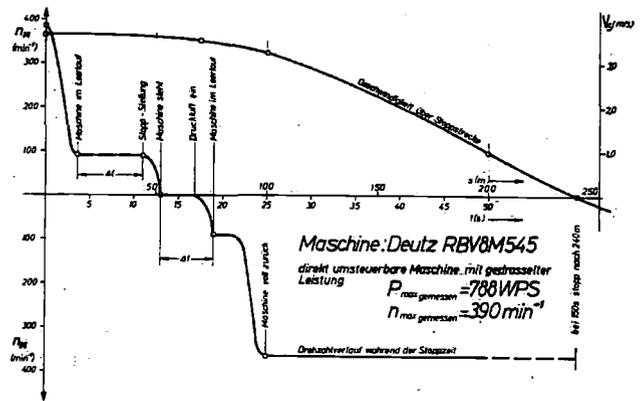


Abb. 8: Stoppversuch MS „Klückner 45“ Mosel-km 173,0–173,24  
 $h = 6,5\text{ m}$

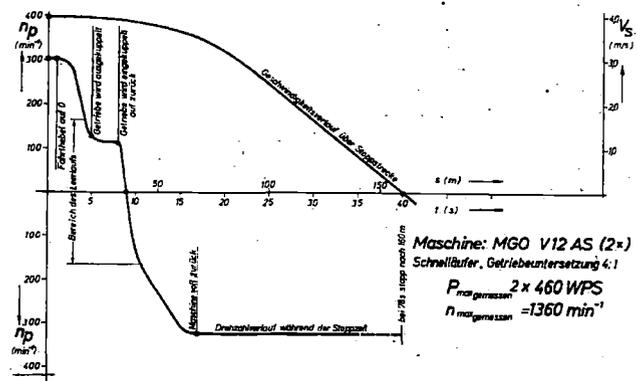


Abb. 9: Stoppversuch mit SB „Metz“, Mosel-km 168–169  
 $h = 7,0\text{ m}$

Zunehmender Schiffseinfluß im Bereich des Propellers, Neubau der Potentialströmung um das Schiff, in Verbindung mit dem Richtungswechsel kosten Zeit. Deshalb verläuft die letzte Phase beim Stoppvorgang zu Tal sehr langsam. Dies ist auf die Verkehrssicherheit bezogen von geringer Bedeutung, weil mögliche Kollisionen bei niedriger Geschwindigkeit — von Ausnahmen abgesehen — kaum nennenswerte Schäden zur Folge haben können.

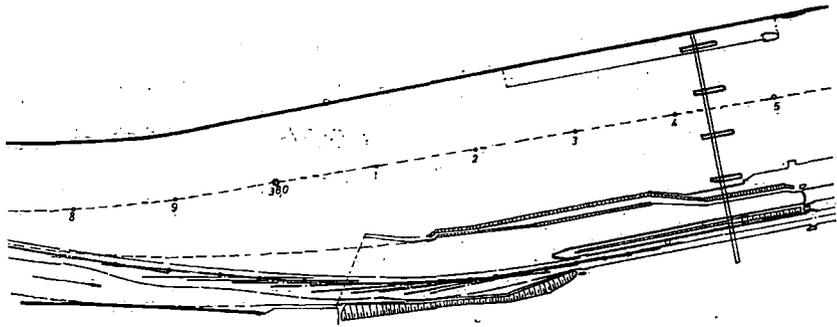


Ziffer zu einer Bewertungsskala, der Ordinate des IV. Quadranten geführt.

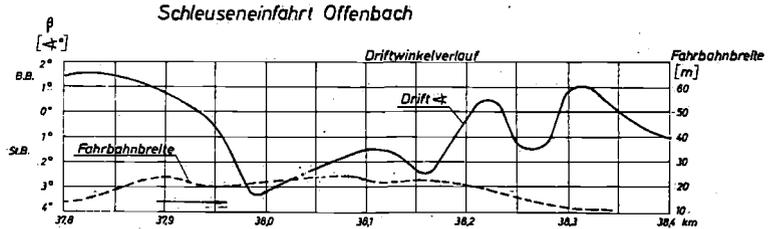
### 3. Versuchsfahrt mit einem Großleichter-Schubverband auf dem Main

Im Jahr 1970 sollte in der Haltung Hausen des Main-Donau-Kanals Wellen- und Strömungsuntersuchungen während der Fahrt eines Europaschiffes (85×9,5×2,5 m) und eines Zweileichter-Schubverbandes (172×11,2×2,5 m) durchgeführt werden, um aus der Charakteristik der gesamten Wasserbewegung über Energiebetrachtungen die Belastung der Böschung und der übrigen Deckwerke quantitativ zu erfassen.

Da der Schubverband den gesamten kanalisierten Main bergwärts beladen und talwärts in leerem Zustand befahren mußte, bot sich zum zweiten Male die günstige Gelegenheit, sein Verhalten während der Fahrt zu untersuchen [7].



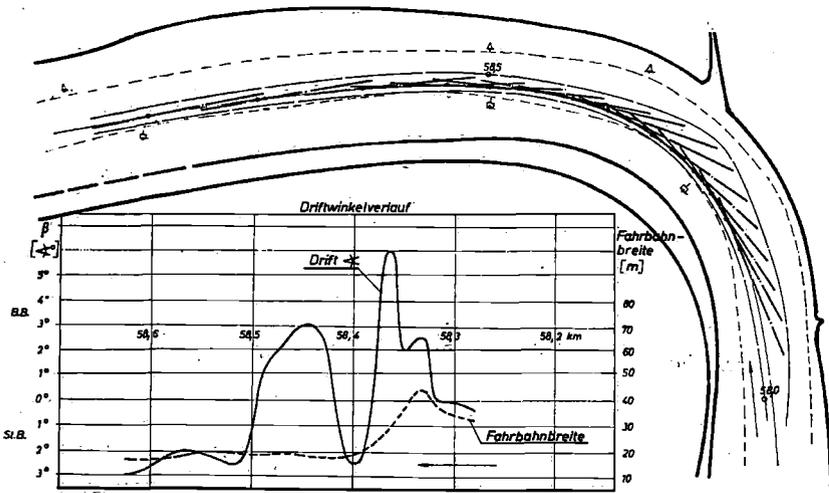
Radarphasenaufnahmen auf dem Main mit SV „Metz“ mit 2 beladenen Leichtern zu Berg (km 37,7 - 38,6)



Oben: Abb. 11

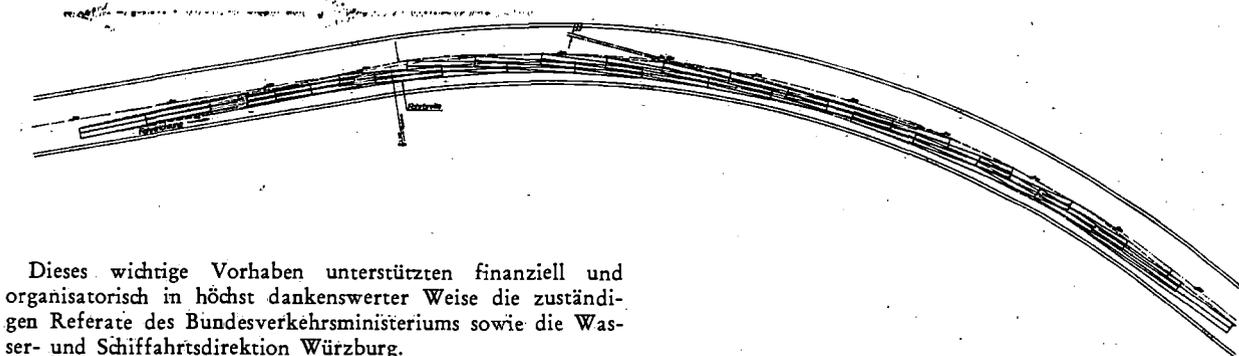
Links:

Abb. 12: Radarphasenaufnahmen auf dem Main mit SV „Metz“ und zwei Leichtern beladen zu Berg (km 58,1-58,5)



Unten:

Abb. 13: Schubverband durchfährt M-D-Kanal-Bogen auf der rechten Seite bei  $v=8,2$  km/h. Durchfahren der Hirschfelder Schleife auf der Stb.-Seite. SB „Metz“ mit 2 Leichtern zu Berg L. ü. a. = 172 m; B max. = 11,2 m; T = 2,3 m;  $V_W = 0,83$  km/h

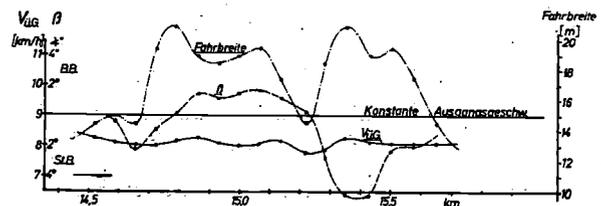


Dieses wichtige Vorhaben unterstützten finanziell und organisatorisch in höchst dankenswerter Weise die zuständigen Referate des Bundesverkehrsministeriums sowie die Wasser- und Schifffahrtsdirektion Würzburg.

Aus der Sicht des Schifffahrtsbetriebes im Zusammenhang mit der Leichtertypisierung stellt der verwendete Schubverband noch einen Kompromiß dar; denn es wurde nicht der 11,4 m sondern der 11,2 m breite Leichter und auch nicht das für den künftigen Verkehr auf der Wasserstraßenklasse IV gedachte ca. 25 m Schubboot mit durchschnittlich etwa 1600 PS sondern das Moselboot „METZ“ mit rund 1000 PS verwendet.

Maße des Verbandes:

- L<sub>üA</sub> = 172 m
- B<sub>üA</sub> = 11,2 m
- T = 2,3 m
- V = 3,800 m<sup>3</sup>.



Die 11,2 m breiten Leichter aus der Übergangsperiode der Jahre 1961/62, von denen die CFNR 6 Stück besitzt, wurden verwendet, um möglichen Schwierigkeiten an den Schleusen mit geringem Einfahrquerschnitt (2,5 m Drempeltiefe) und den gekrümmten Schleusen ( $R = 5000$  m) vorzubeugen.

Darüber hinaus wurde auch bei dieser zweiten Untersuchung der Gegenverkehr aus rechtlichen Gründen gesperrt.

### 3.1. Die Bergfahrt

Die Fahrt des Schubverbandes begann am 21. 8. 1970 6.00 Uhr ab Schleuse Kostheim. Da der Main bis Offenbach eine genügende Fahrwasserbreite aufweist, verlief die Fahrt ohne Beanstandung. Allerdings wurden in den Bereichen geringer Wassertiefe Spiegelabsenkungen bis ca. 30 cm beobachtet. Durch Beseitigung der Untiefen sollte versucht werden, diesen viel befahrenen Unterlauf mindestens auf 3,5 m Wassertiefe zu bringen.

Bei Offenbach zeigte sich zum ersten Mal, welche Vorteile die sich im Unterhafen befindliche Spundwand hat, wenn die Ansteuerung der zugewiesenen Schleusenkammer im Bogen verläuft. Abb. 11 zeigt die Einfahrtsituation und läßt erkennen, in welcher Weise der Verband in die Achse einschwenkte. In diesem Bereich dürfen bei Talfahrt allerdings keine Schiffe liegen.

Das Beispiel zeigt gleichzeitig auch, zu welchem eklatanten Nachteil dabei eine Mole in direkter Verlängerung der südlichen Kammerwand führen würde. Der Verband könnte an BB nicht freikommen und müßte „backing and flanking-Manöver“ ausführen, und dies unter Querströmungseinfluß vom Wehr bzw. Kraftwerk her.

Der folgende Flußabschnitt über Mainkur, Kesselstadt, Steinheim (Abb. 12) bis Groß-Krotzenburg tendiert noch nicht nach den Ausbauvorschlägen für die Wasserstraßenklasse IV hin. Die Einfahrten in die Schleusen sind sehr beengt, und die Drempeltiefe von nur 2,5 m unter Normalstau verlängert die Ein- und Ausfahrzeit um ein Vielfaches gegenüber den vorher passierten.

Alle den Schubbooten eigenen Manövriermittel mußten eingesetzt werden, und in Kesselstadt war man sogar genötigt, nachdem der vordere Leichter etwas über seine halbe Länge in der Schleusenkammer steckte, die Koppeldrähte zu lockern, weil das Schubboot nicht in die Kammerachse einschwenken konnte. Die Einfahrt dauerte fast 50 Minuten.

Die neue Anlage, Klein-Ostheim, kann dagegen als Muster für den Neubau künftiger Main-Staustufen angesehen werden. Da sie erst bei Dunkelheit erreicht wurde, fiel die taghelle Beleuchtung besonders auf, denn sie förderte die Ansteuerung und allgemeine Orientierung. Gegen 23.00 Uhr wurde der Ankerplatz Aschaffenburg erreicht. Die Fortsetzung der Bergfahrt an den folgenden Tagen verlief, da der Gegenverkehr gesperrt war, ohne besondere Verkomnisse, man kann sagen: wie auf der Mosel. Dagegen zeigte sich bei Dunkelheit von besonderem Nachteil, daß zu wenig Fahrwasserbojen ausliegen und die wenigen nur vereinzelt Radarreflektoren tragen.

### 3.2. Die Talfahrt

Die Talfahrt mit völlig leeren Leichtern unterliegt auf dem Main denselben unangenehmen betrieblichen Bedingungen wie auf Rhein und Mosel:

- zu geringer Tiefgang leerer Leichter, demzufolge sehr kleiner Lateralplan, jedoch große Windangriffsfläche,
- sehr großer toter Winkel im Bereich des Bugs, infolgedessen schwierige Ansteuerung der Schleusen vor allem dann, wenn sie keine trichterförmigen Leitwerke besitzen,
- nur geringe Wirkung bei einfachen Bugsteuerorganen, weil relativ zu kleine Geschwindigkeit (rd. 10 km/h).

Diese wenig glücklichen Bedingungen lassen den Nachteil des Verkehrs bei Leerfahrt erkennen, der nur durch zusätzliche Installation höherer motorischer Leistung gemindert werden kann. Die oft vorgeschlagene Anbringung von Bugstrahlrudern erfordert erhebliche Mehrkosten auf den Leichtern, also gerade dort, wo die Gesamtkosten minimal bleiben sol-

len. Weniger fällt eine Erhöhung der Schubboot-Antriebsleistung ins Gewicht sowie Mehrkosten für die Installation wirkungsvollerer Ruderanlagen. Bei höherer Propellerleistung und noch besseren Ruderanlagen der Schubboote läßt sich „praktisch mit Gewalt“ ein Kurs erzwingen, der weniger den genannten Störungen ausgesetzt ist. Auch die Ansteuerung der Schleusen wird dadurch erleichtert, daß der Verband bei Näherung auf wenigen Metern zum Stehen gebracht und die Achslagen korrigiert werden können.

Wenn die Versuchsfahrt mit diesem großen Verband trotzdem noch recht zufriedenstellend verlief, ist dies der großen Erfahrung des Kapitäns Millemann und seiner Besatzung, der zuverlässigen Beratung durch die ortskundigen Schiffsführer der Wasser- und Schifffahrtsämter sowie dem an kritischen Stellen unterbundenen Gegenverkehr zu danken.

Es gibt jedoch — nach den Erfahrungen an der Mosel zu urteilen — noch eine Maßnahme, die die Talfahrt schlagartig löst, sie liegt allerdings auf dem organisatorischen Sektor: wenn nämlich der 2. Schubleichter Ladung erhält, die ihm einen Tiefgang von ca. 1,7 m verleiht; dann verdreifacht sich der Lateralplan, und der taktische Drehpunkt wandert in der Nähe des achterlichen Drehtelpunktes. Dann übt der vordere Leichter kaum noch einen wesentlichen Einfluß aus, und darüberhinaus ist die beanspruchte Fahrbahn erheblich schmaler. (Diese Fahrmethode soll bei dem 3. Versuchsvorhaben im September 1971 überprüft werden, bei dem der Verband diejenigen Abmessungen erhält, die in Zukunft erlauben werden, auch Massengüter wirtschaftlich zur Donau bzw. von der Donau zum Rhein zu befördern.)

### 4. Untersuchungen auf dem Main-Donau-Kanal

Etwa ab Mainkilometer 384 beginnt ausbaumäßig der Main-Donau-Kanal, obwohl das sog. Stillwasserprofil erst bei km 6,85 in Bamberg aus der bis dahin regulierten Regnitz sichtbar austritt. Aus den Untersuchungen 1967 [8] ist bekannt, daß der gerade oder mit sehr großen Radien versehene Kanal auch von Schubverbänden mit dem Leichtertyp „Europa II“ befahren werden kann. Das besondere Interesse galt deshalb der Fahrt durch den Hirschaider Bogen,  $R = 1000$  m, dem Stoppverhalten in diesem Bogen sowie den Schleusungszeiten und dem Verhalten des Verbands während des Hubes.

#### 4.1. Fahrt durch den Hirschaider Bogen

Da im Gegensatz zu 1967 jetzt nur ein Schubverband zur Verfügung stand, wurde die gekrümmte Kanalstrecke mehrmals allein durchfahren, und zwar auf der Kanalmittelachse und auf der Achse des zweischiffigen Verkehrs, letzteres, um eine Begegnung innerhalb der Krümmung zu simulieren. Natürlich fehlte dabei die gegenseitige Beeinflussung zweier sich begegnender Schiffe. Es ist jedoch ebenfalls seit 1967 bekannt, daß die außerordentlich kursstetigen Schubverbände relativ geringere Wechselkräfte erzeugen, die den Partnern kaum gefährlich werden können. Abb. 13 zeigt eine solche Fahrt durch die Krümmungstrecke mit den dazugehörigen quantitativen Aussagen.

#### 4.2. Stoppversuche im Hirschaider Bogen

Unvorhergesehenen Situationen muß durch schnelles Abstoppen der Fahrt auch im Kanal begegnet werden können. Da eine Krümmung die ungünstigsten Bedingungen bietet, wurde während der Rückfahrt durch den Hirschaider Bogen aus voller Geschwindigkeit heraus ein für die Besatzung unvorbereitetes Stoppmanöver ausgeführt (Abb. 14).

#### 4.3. Schleusenstudien

Quantitativ wurden die Zeiten gestoppt und nach folgenden Orten in einem Diagramm (Abb. 15) dargestellt:

- der Leichterbug durchfährt die Torebene,
- das Schubboot-Heck durchfährt die Torebene,
- der Verband erreicht „Stillstand“,
- das Einfahrtor ist geschlossen — (Hub- oder Senkung beendet),

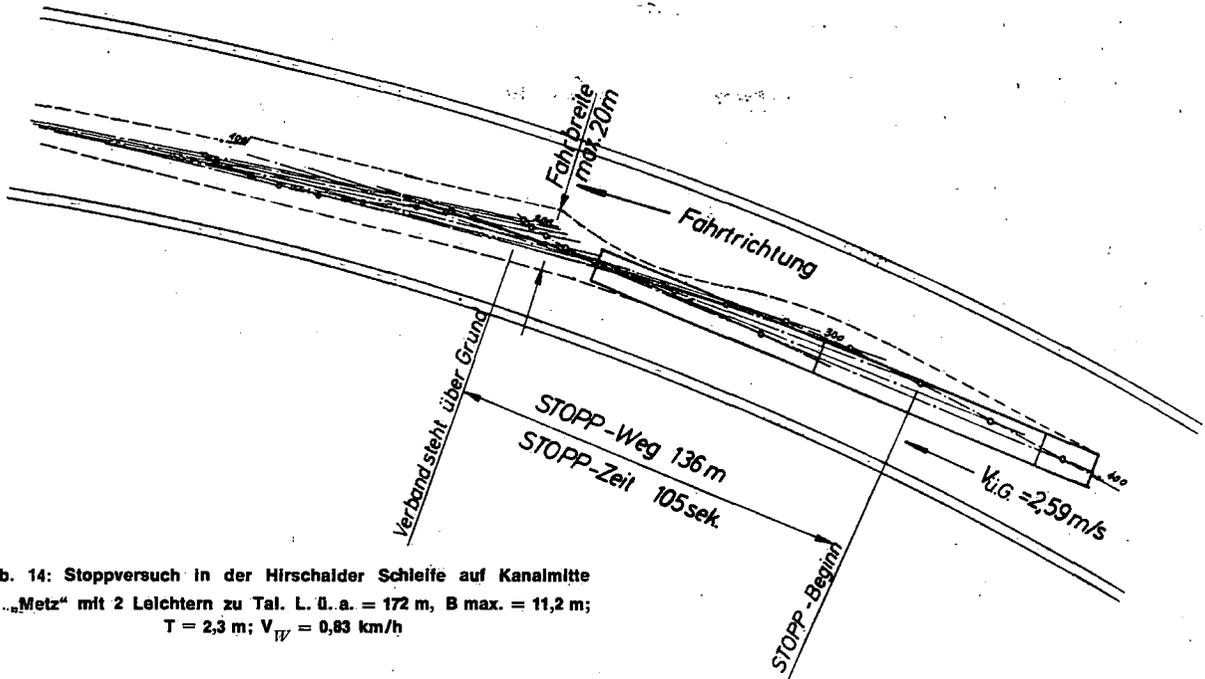


Abb. 14: Stoppversuch in der Hirschfelder Schleife auf Kanalmitte  
 SB „Metz“ mit 2 Leichtern zu Tal. L. ü. a. = 172 m, B max. = 11,2 m;  
 T = 2,3 m;  $V_W = 0,83$  km/h

- e) das Ausfahrort öffnet sich — (Hub- oder Senkung endet),
- f) der Leichterbug durchfährt die Torebene,
- g) das Schubboot-Heck durchfährt die Torebene.

Direkt vergleichbar sind die Sparschleusen Strullendorf und Hausen. Die Zeitdifferenzen resultieren aus den Höhenunterschieden. Die Schleuse Buckenhofen ist eine klassische Flußschleuse mit Torumlaufkanälen. Die Kammer füllt sich langsamer. Da die Hubhöhe jedoch geringer ist, bleibt die Gesamtzeit zu Strullendorf (und zur Schleuse Bamberg) annähernd konstant.

Qualitativ ist besonders hervorzuheben, daß der Verband, bedingt durch die große Wasserspiegelbreite und die symmetrisch angeordneten Leitwerke, schnell und auf geradem Kurs ein- und ausfahren konnte und aufgrund der besonderen Anordnung der Füllkanäle nicht festgemacht zu werden brauchte. Es wurde über die gesamte Hubzeit ein Versatz von maximal 0,7 m gemessen! Dieses Ergebnis ist bedeutsam, so daß darauf besonders hingewiesen werden muß.

#### 5. Zusammenfassende Beurteilung der Untersuchungen

Die Fahrt eines starren Zwei-Leichter-Schubverbandes von 172 m Länge und 11,2 m Breite ist auf dem Main in durchgehender, betriebsüblicher Weise noch nicht möglich. Nur einige gut ausgebauten Streckenabschnitte zeigen Parallelen zur Mosel.

Dazu gehören:

- a) der Abschnitt Mündung — Offenbach,
- b) der Abschnitt Krotzenburg — Oberau und
- c) die Oberwasserstrecken aller Stufen bis etwa zum unteren Drittelpunkt der Gesamtlänge.

Besonders ungünstig ist — wie seit Jahrzehnten bekannt — der im Erstausbauzustand befindliche Abschnitt Offenbach — Krotzenburg. Hier sind es vor allem die viel zu engen Schleusenkanäle, d. h. die fehlenden Vorhäfen sowie der Bogen bei Steinheim.

Da der Gegenverkehr gesperrt war, kann diese Meinung auf ihre Richtigkeit hin natürlich nicht exakt bewiesen werden, aber die schon mehrfach angedeutete Ähnlichkeit vor allem zur Mosel oberhalb Trier's, auf der der Verkehr mit Großleichterschubverbänden unter oft sehr ungünstigen Witterungs- und Strömungsbedingungen mit nur geringfügigen Störungen abläuft, gibt der Behauptung schon einen gewissen Rückhalt.

Interessant ist dabei außerdem noch, daß kaum ein Verband bei dem Pendel zwischen Koblenz und Tyonville, vor allem talwärts, völlig ohne Grundberührung oder auch ohne

Kurskorrekturen auszuführen — die die vollen Manövrierkräfte der Schubboote verlangen — das jeweilige Ziel erreicht.

Diese Betriebserfahrungen waren mit maßgebend für die beträchtliche Erhöhung der Antriebsleistung in den neuen Mosel-Schubbooten, die der Berichtersteller gern als „Rhein-Main-Mosel-Schubboot“ bezeichnet. Es sind diejenigen modernen Schubboote, die später einmal mit zwei Großleichtern die gesamten Wasserstraßen der Klasse IV und V innerhalb Europas befahren sollen. Ihre Hauptstrecke wird gerade die neue Rhein-Main-Donau-Wasserstraße sein müssen.

Infolgedessen ist es dringend notwendig, die Studien fortzusetzen und bei dem dritten Versuchsvorhaben weitgehend betriebsähnliche Verhältnisse anzubieten.

Von der Schleuse Viereth an, insbesondere aber im Stillwasser-Kanalprofil zwischen Bamberg und Erlangen, verlief die Fahrt ohne jede Beanstandung. Auch die kurzen Flußstrecken zwischen Neuses und Hausen mit geringfügiger Strömung fielen nicht nachteilig auf.

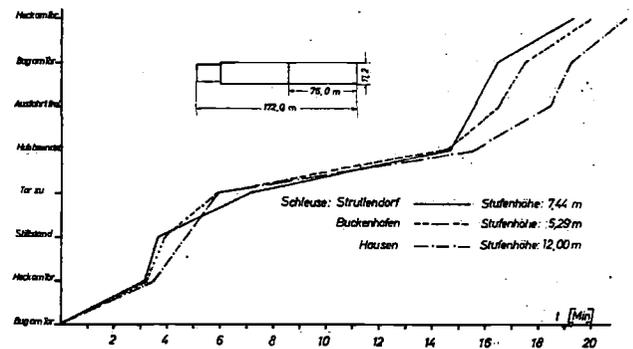


Abb. 15: Zeitstudien von Schleusungen auf dem Main-Donau-Kanal  
 Schiffstyp: SV „Metz“ mit 2 beladenen Leichtern

Wie beschrieben, machte sich lediglich bei der Talfahrt mit leeren Leichtern das Fehlen von Fahrwasserbezeichnungen und Kennzeichnungen der Schleusenachsen sehr nachteilig bemerkbar.

Es wird empfohlen:

- a) die Oberwasserleitwerke einheitlich und vollsymmetrisch zu gestalten und etwas zu erhöhen.

- b) sämtliche Tore und Schleusenüberbauten, auch Brücken, mit einer weit sichtbaren Mittelmarkierung zu versehen, die sogar als Deckpeilung dienen kann,
- c) eine weit größere Zahl von Fahrwasserbezeichnungen ausulegen und diese mit Radarreflektoren zu versehen.

Zum Schluß möchten wir unseren Dank nicht nur den Herren der Abteilungen Binnenschifffahrt und Wasserstraßen des Bundesverkehrsministeriums, sondern vor allem den Mitarbeitern der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Würzburg aussprechen, ohne deren großzügige und tatkräftige Hilfe auch diese Untersuchung nicht hätte durchgeführt werden können.

Für die mühevollen grafischen Auswertarbeiten dankt der Verfasser Herrn Ing. (grad.) Schydlo sowie Herrn Hänsgc, VBD.

#### Literaturangaben

- [1] Heuser, Schäle: Modell und Großversuche mit dem Kleinschubboot „Fritz Hartung“, 76. Mitteilung der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau, Duisburg, Schiff und Hafen, Heft 7/1965.
- [2] Schäle: Propulsionsversuche in einem Stillwasserkanal trapezartigen Querschnitts, 95. Mitteilung der VBD, Schiff und Hafen, Heft 4/1968.
- [3] Schäle: Naturgroße Versuche mit Schubverbänden auf dem Rhein, 69. Mitteilung der VBD, Schiff und Hafen, Heft 11/1964.
- [4] Schellenberger: Ein neues Schubboot von Haniel, Reedereimitteilungen, Zeitschrift für Binnenschifffahrt 1969, Binnenschifffahrtsnachrichten 1969.
- [5] Heuser, Lange: Rheinschubboot „Leverkusen“, ein neuer Erfolg der Zusammenarbeit von Forschung und Praxis. Hansa, Heft 13/1969.
- [6] Beyen, v. d. Stein: 3000-PS-Dreischraubenschubboot „Oranje 1“ für einen 11 000-t-Schubverband auf dem Niederrhein, Schiff und Hafen, Heft 3/1971.
- [7] Schäle: Einige Studien über das Verhalten von Schubverbänden auf dem Main im Berg- und Talverkehr, 98. Mitteilung der VBD, Schiff und Hafen, Heft 7/1968.
- [8] Schäle: Manövrierversuche auf gerader und gekrümmter Strecke des neuen Main-Donau-Kanals, 97. Mitteilung der VBD, Schiff und Hafen, Heft 6/1968.
- [9] Kuhn: Die Schleusen des Main-Donau-Kanals, Bauingenieur, Heft 5/1971.

#### Literaturangaben zum Aufsatz „Wellen- und Strömungsbilder im Main-Donau-Kanal“ (Schäle) Seite 13

##### Literatur

- [1] Schäle: Strömungsversuche in einem Stillwasserkanal trapezförmigen Querschnitts, ausgeführt mit dem Schiffstyp „Johann Welker“ und mehreren Schubverbänden in der Haltung Bamberg des neuen Main-Donau-Kanals. 96. Mitteilung der VBD, Schiff und Hafen, Heft 5/1968.
- [2] Westhaus: Der Strukturwandel in der Binnenschifffahrt und sein Einfluß auf den Ausbau der Binnenschifffahrtskanäle. Dissertation an der Universität Stuttgart, eingereicht am 21. 5. 1969.
- [3] Kuhn: Dichtung und Deckwerk von Binnenschifffahrtskanälen. Bauingenieur Heft 9/1969.
- [4] Kuhn: Erprobung von Deckwerken durch Schifffahrtsversuche. Schiff und Hafen, Heft 3/1970.
- [5] Graff/Müller: Untersuchung der Verformung der Wasseroberfläche durch die Verdrängungsströmung bei Fahrt eines Schiffes auf seitlich beschränktem flachen Wasser. 83. Mitteilung der VBD, NRW-Forschungsbericht Nr. 1725.