

## Abt. I Frage 3

**Verteilung der Geschiebeführung eines Wasserlaufes, der sich in mehrere natürliche oder künstliche Arme teilt.**

Fall c) Begradigung mittels Durchstichen.

Von Dipl.-Ing. Erich Leopold, Ministerialrat i. R., Berlin.

Um den Zusammenhang beurteilen zu können, der zwischen den Geschiebebewegungen eines Stromes und dem Ausbau von Durchstichen besteht, muß man von der Tatsache ausgehen, daß diese Geschiebebewegungen sich aus dem Zusammenwirken mehrerer Umstände ergeben. Die wichtigsten Einflüsse sind hierbei bedingt durch:

1. den Abflußvorgang,
2. den Längenschnitt,
3. die Beschaffenheit des Geschiebes, das stromabwärts feinkörniger wird,
4. die Querschnittsgestalt des Stromes,
5. die Widerstandsfähigkeit der Ufer und der Sohle (Beweglichkeit der Sohle),
6. die Grundrißgestalt des Stromes (Kurven, Verbreiterungen, gerade Strecken usw.),
7. die künstlichen Eingriffe in das Strombett (Baggerungen, Bühnen, Uferdeckungen, Sohlschwellen usw.) u. a.

In diesem Komplex von Einflüssen, die zum Teil gegenseitig von einander abhängen, kann die Rückwirkung von Durchstichen auf die Geschiebebewegung nicht immer hinreichend isoliert werden, um alleine die Folgen der Durchstiche beurteilen und voraussagen zu können. Man muß den Zusammenhang im ganzen berücksichtigen, der sich je nach den Bedingungen der besonderen Lage verschiedenartig äußern kann.

Allgemein wirken die Durchstiche auf die Geschiebebewegung durch die Tatsache, daß infolge der Laufverkürzung ein stärkeres Spiegelgefälle auf der gekürzten Flußstrecke auftritt. Dadurch erhöht sich die Schleppkraft von

$$S = 1000 T \cdot J \text{ auf } S' = 1000 T \cdot J',$$

hierin ist  $S$  die frühere,  $S'$  die neue Schleppkraft,  
 $J$  das frühere,  $J'$  das neue Gefälle und  
 $T$  die Tiefe.

Durch diesen Vorgang vermehrt sich die Geschiebemenge. Es tritt unterhalb des Durchstiches eine Verflachung der Sohle ein, die dort eine Verminderung des Gefälles herbeiführt. Der Fluß ist bestrebt, das alte Gefälle wiederherzustellen, und nimmt zu diesem Zweck eine erodierende Tätigkeit nach oben auf, die unter Umständen lange Zeit anhalten kann.

Der Einfluß der Durchstiche auf die Geschiebebewegung ist, wenn er im einzelnen auch nicht isoliert verfolgt werden kann, mittelbarer oder unmittelbarer Art. Ein mittelbarer Einfluß tritt in sofern auf, als die durch Durchstiche bedingte Veränderung im Gesamtsystem der Einflußfaktoren (insbesondere der Veränderung des Grundrisses, des Längenschnittes und des Gefälles) eine weitgehende Veränderung in seinem Geschiebetrieb herbeiführt. Unmittelbar ist der Einfluß des einzelnen Durchstiches insofern, als die aus diesem Durchstich

entstandenen neu in Bewegung gesetzten Bodenmassen in irgendeiner Form vom Geschiebetrieb des Flusses verarbeitet werden müssen.

### 1. Mittelbare Einflüsse der Durchstiche.

Eine Ausführung von Durchstichen in größerer Zahl auf längeren Stromstrecken wurde in Deutschland vor allem von der Preußischen Regierung im XVIII. und zu Beginn des IX. Jahrhunderts an der Oder bewirkt. Man erwartete von ihnen eine Reihe von Vorteilen sowohl für die Schifffahrt als auch für die Regulierung des Stromes im Vorflutinteresse.

Durch die Ausführung dieser Durchstiche sind in der Zeit von 1740 bis 1820 starke Verkürzungen des Oderlaufes entstanden, die für die einzelnen Strecken auf Abb. 1 in Prozentsätzen angegeben sind und an der unteren Oder bis zu 53,5%, also bis zu mehr als der Hälfte der früheren Stromlänge hinaufgingen. Dadurch wurden Verstärkungen des mittleren Spiegelgefälles veranlaßt, die sich im Durchschnitt wie folgt ergeben:

Obere Oder:	Obere Strecke von 1:	3800	auf	1:3100
	Untere	"	"	1:3400
Mittlere Oder:	Obere	"	"	1:3840
	Untere	"	"	1:3800
Untere Oder:		"	"	1:12400
				1:9320

Örtlich traten hiervon erhebliche Abweichungen auf. Doch haben sich die durchschnittlichen Gefällverstärkungen in Grenzen gehalten, wie sie für Ströme vom Charakter der Oder noch erträglich sind. Immerhin mußte die Oder besonders auf ihrem Mittellauf einer umfangreichen Regulierung durch zahlreiche eng aufeinanderfolgende Buhnsysteme unterworfen werden, die heute noch nicht beendet ist.

An der unteren Oder, die unter der Einwirkung des Rückstaus vom Meere her steht, hat mit besonderen Regulierungsmitteln ebenfalls eine Regulierung vorgenommen werden müssen, um die noch immer andauernden Rückwirkungen eines größeren im XVIII. Jahrhundert ausgeführten Durchstiches zu überwinden (vgl. Abb. 1).

Im allgemeinen kann man nach den Erfahrungen an der Oder feststellen, daß die Folgen starker Stromverkürzungen über längere Zeiträume andauern. Dabei ist bisher eine genaue Voraussage der im Flußbett auftretenden Folgeerscheinungen nicht möglich gewesen, insbesondere nicht, soweit es sich etwa um quantitative Voraussagen über Umfang, Lage und Gestalt der Ablagerungen handelt. Man begnügte sich in der Regel damit, ein ungefähres Urteil über die allgemeine Tendenz der Entwicklung zu gewinnen und durch wasserbautechnische Maßnahmen eine ungünstige Entwicklung der Geschiebebewegung möglichst einzuschränken.

Man suchte also die unerwünschten Folgen der Stromverkürzungen und Gefällvermehrungen mit Hilfe von Stromregulierungen aufzufangen in elastischer Anpassung an das Verhalten des Stromes. Dabei bediente man sich der normalen Methoden der Stromregulierung, d. h. es wurde ein bestimmtes, den örtlichen Bedingungen angepaßtes Normalprofil ausgebaut, das in dem Maße, wie die normalen Wasser- und Geschiebemassen aufzunehmen und abzuführen, und das durch die übrigen Strombauten (Buhnen, Leitwerke, Grundswellen und ähnliches) gesichert wurde unter ständiger Beobachtung der Bettbildungsvorgänge im Strom.

Unter diesen Umständen konnte der Einfluß der Durchstiche auf die Geschiebebewegung weitgehend gemildert werden, wenn er auch abgesehen von seiner allgemeinen Tendenz in einzelnen nicht immer zahlenmäßig vorausgesagt werden konnte.

Ähnliche Erfahrungen wie an der Oder wurden bei der im XIX. Jahrhundert am Oberrhein ausgeführten Mittelwasserkorrektur gemacht, die die Oberrheinebene gegen schwere Hochwassergefahren schützen sollte. Hier mußte ein

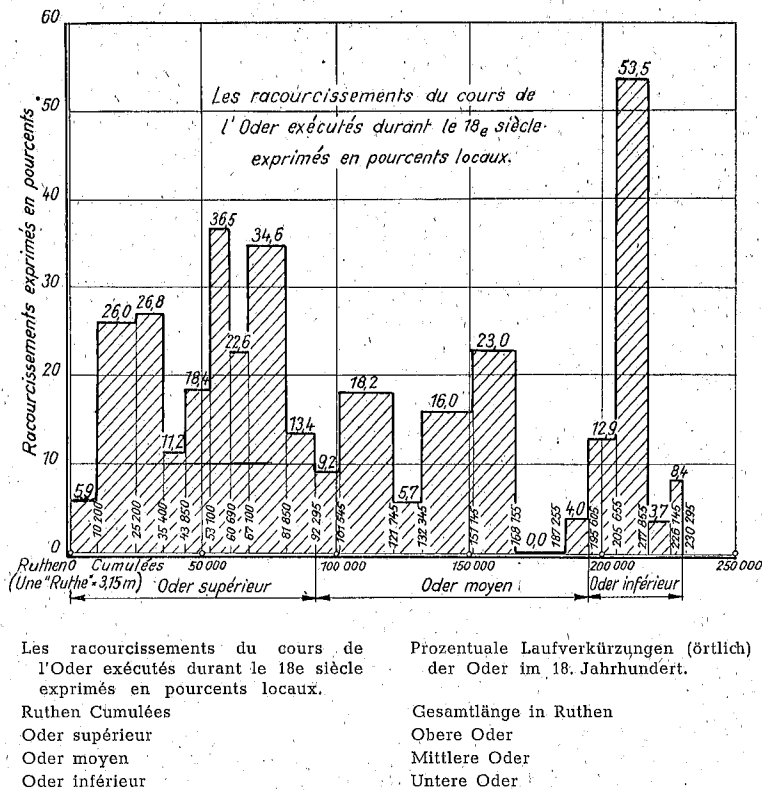


Abb. 1.

festes Mittelwasserbett mit großem Abflußvermögen geschaffen werden, das auch mittlere Hochwasser ohne Ausuferung aufnehmen und schnell zum Abfluß bringen konnte. Dafür bedurfte es starker Laufverkürzungen und dementsprechend zahlreicher Durchstiche.

Die Strecke, auf der diese Regulierung bis gegen Ende des XIX. Jahrhunderts durchgeführt wurde, hatte

- vor der Regulierung eine Länge von 348,1 km,
- nach der Regulierung eine Länge von 266,7 km.

Die Laufverkürzung belief sich somit auf 81,4 km, also auf rd. 23 v. H. der ursprünglichen Länge. Damit wurde das Durchschnittsgefälle

$$1 : 2220 \text{ auf } 1 : 1710$$

erhöht, das jedoch auf den einzelnen Teilstrecken sehr verschiedene und hiervon stark abweichende Werte annimmt, da auch die Laufverkürzungen sich sehr verschieden auf die einzelnen Strecken verteilen.

Die Korrektur des Oberrheins hat verschiedenartige Folgen gehabt, von denen hier nur folgende genannt seien:

- a) Die Schifffahrt ist von der Korrektur, die ja nur im Vorflutinteresse ausgeführt wurde, nicht gefördert worden. Sie mußte erst später durch eine besondere Niedrigwasserregulierung gesichert werden, die auf der Grundlage der vorausgegangenen Mittelwasserkorrektur hat ausgeführt werden müssen.
- b) Der angestrebte Hochwasserschutz ist in großem Umfang erreicht worden, da nur noch größere Hochwasser ausufernd und von den bestehenden Hochwasserdeichen leicht abgefangen werden können.
- c) Die sehr radikale Zusammenfassung des Abflusses in einem etwa 200 bis 300 m breitem Bett, das auch mittlere Hochwasser aufnimmt, hat zu einer Steigerung der an sich schon starken Räumungskraft des Stromes und damit zu erheblichen Sohlensenkungen geführt. Der Prozeß ist noch ununterbrochen im Gange.
- d) Es kann nicht mit Sicherheit darauf gerechnet werden, daß eine genaue zahlenmäßige Feststellung des Einflusses der Durchstiche auf die Geschiebebewegung in langen Stromstrecken mit zahlreichen Durchstichen möglich ist. Lediglich die allgemeine Tendenz im Verhalten der Flüsse unter diesem Einfluß kann annähernd beurteilt werden. Es ist daher notwendig, auf diesen Strecken die Bettbildungsvorgänge einer ständigen genauen Beobachtung zu unterwerfen, für die mehrere geeignete Methoden entwickelt sind\*).

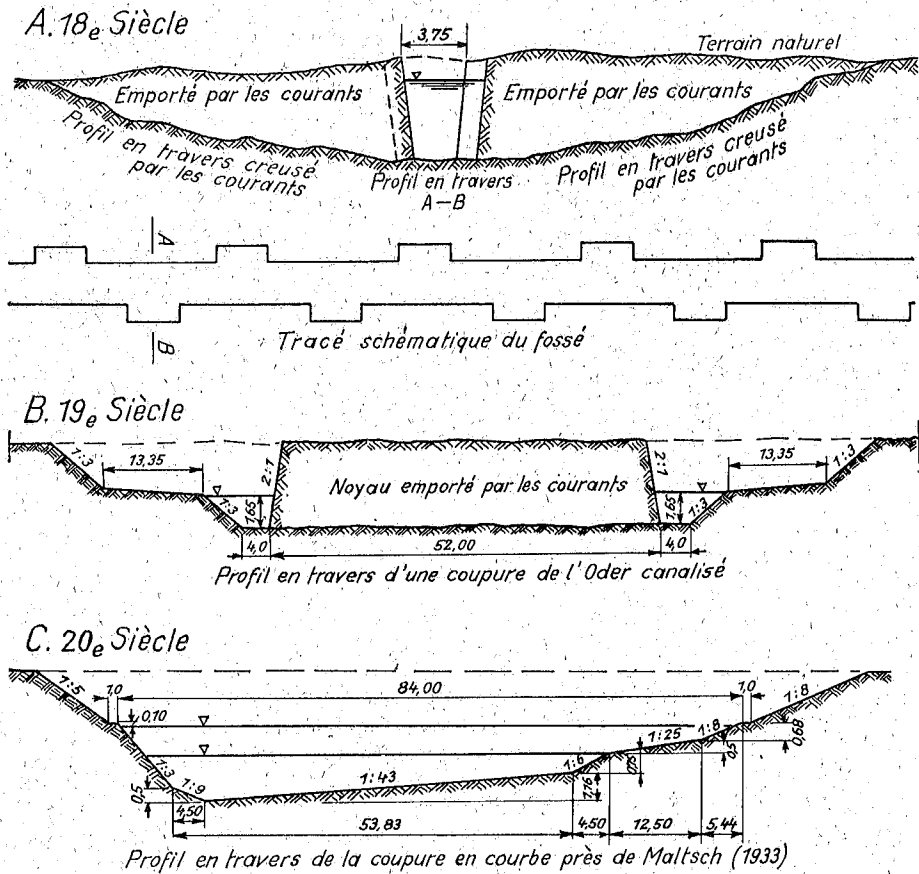
## 2. Unmittelbarer Einfluß der Durchstiche.

Die unmittelbare Einwirkung der Durchstiche auf den Geschiebetrieb hängt hauptsächlich von dem Verfahren ab, das bei der Herstellung des Durchstichs angewandt wird. Ursprünglich — besonders im XVIII. Jahrhundert an der Oder — beruhte das Verfahren darauf, daß man dem Strom die Hauptarbeit bei der Beseitigung der Bodenmassen überließ. Zwischen den beiden Endpunkten des Durchstichs wurde eine schmale Rinne gegraben mit möglichst steilen Böschungswänden und sogenannten Zickzacks, d. h. Grabenverbreiterungen, die abwechselnd an jeder Seite des Grabens angebracht wurden (siehe Abb. 2). Sobald dem Fluß bei höheren Wasserständen der Durchfluß durch den Graben freigegeben war, konnte die im Zickzack fließende Strömung die steilen Ufer zum Einsturz und ihre Bodenmassen zum Abschwemmen bringen. Der Vorteil dieser Methode lag neben der anfänglichen Billigkeit lediglich in der verhältnismäßig schnellen Auswaschung des neuen Bettes. Dagegen traten erhebliche Nachteile auf, die dazu führten, daß man diese Methode im XIX. Jahrhundert ganz aufgeben mußte. Diese Nachteile waren:

1. Unsicherheit über die endgültige Gestaltung des neuen Querschnittes, dessen Begrenzung durch neue Uferlinien nicht von vornherein übersehen und damit festgelegt werden konnte.

\*) Düll, Die Bestimmung von Flußbettveränderungen, Zeitschrift »Die Bautechnik« 1926, S. 697, 721, 764.

Méthodes de construction des coupures



Méthodes de construction des coupures	Baumethoden der Durchstiche
18 <sup>e</sup> Siècle	18. Jahrhundert
Emporté par les courants	Durch Strom abgetrieben
Terrain naturel	Gelände
Profil en travers creusé par les courants	Erodierter Querschnitt
Profil en travers A-B	Querschnitt A-B
Tracé schématique du fossé	Schematische Linienführung des Grabens
Noyau emporté par les courants	Kern durch Strom abgetrieben
Profil en travers d'une coupure de l'Oder canalisée	Querschnitt eines Durchstichs der Oderkanalisierung
Profil en travers de la coupure en courbe près de Maltsh (1933)	Querschnitt des gekrümmten Durchstichs bei Maltsh (1933)

Abb. 2.

2. Abschwemmung starker Sand-, Kies- und Geschiebmassen, die das Schleppkraftvermögen des Stromes auf den unterhalb gelegenen Strecken vielfach überstiegen, vom Strom nicht weiter mitgeführt werden konnten, teilweise liegenblieben und damit Anlaß zur Verwilderung dieser Strecken gaben.

3. Durchführung der Durchstiche geschah ohne Rücksicht auf die geologischen Verhältnisse, wodurch oft feste Eisenerz- oder Lettebänke von den Erosionen angeschnitten wurden. In solchen Fällen wurde eine Erosion nach der Tiefe verhindert und der Strom zur Breitenerosion gezwungen, die nicht dem angestrebten Regulierungsziel entsprach.
4. Durch die vielfach zu großen Überbreiten, die gleichzeitig zu einer Verflachung des Fahrwassers führten, entstanden für die Schifffahrt Schwierigkeiten. Derartige Durchstiche mußten häufig einer späteren Nachregulierung mit Hilfe von Buhnen unterworfen werden. Zu ähnlichen Nachregulierungen zwangen die unterhalb der Durchstiche eingetretenen Versandungen.

Im XIX. Jahrhundert ging man dazu über, das neu zu schaffende Querprofil des Durchstichs von vornherein durch besondere Uferdeckung so zu sichern, daß die seitliche Begrenzung gegen die aufwühlende Kraft des Stromes geschützt war und nur ein mittlerer Kern der Abtreibung durch den Strom überlassen blieb. Damit konnte der Durchstich selbst gegen die Entstehung ungewünschter Überbreiten weitgehend gesichert werden. Die abtreibenden Massen der Mitte waren jedoch noch immer groß genug, um im Strombett unterhalb Ablagerungen und Verwilderungen hervorzurufen (siehe Abb. 2). Schließlich verzichtete man bei neuen Durchstichen im XX. Jahrhundert überhaupt auf die Mitwirkung des Stromes und baute den Querschnitt des Durchstichs in vollem Umfang mit Hilfe von künstlichen Baggerungen aus, wobei ihm von vornherein die gewünschte und durch Befestigungen gesicherte Form gegeben werden konnte. Die dabei gewonnenen Bodenmassen wurden nach einem von vornherein bestimmten Verteilungsplan definitiv oder provisorisch verteilt (siehe Abb. 3), so daß sie auf den unteren Strecken keinen unmittelbaren Anlaß zu unerwünschten Geschiebewebewegungen und Verwilderungen des Strombettes mehr geben konnten.

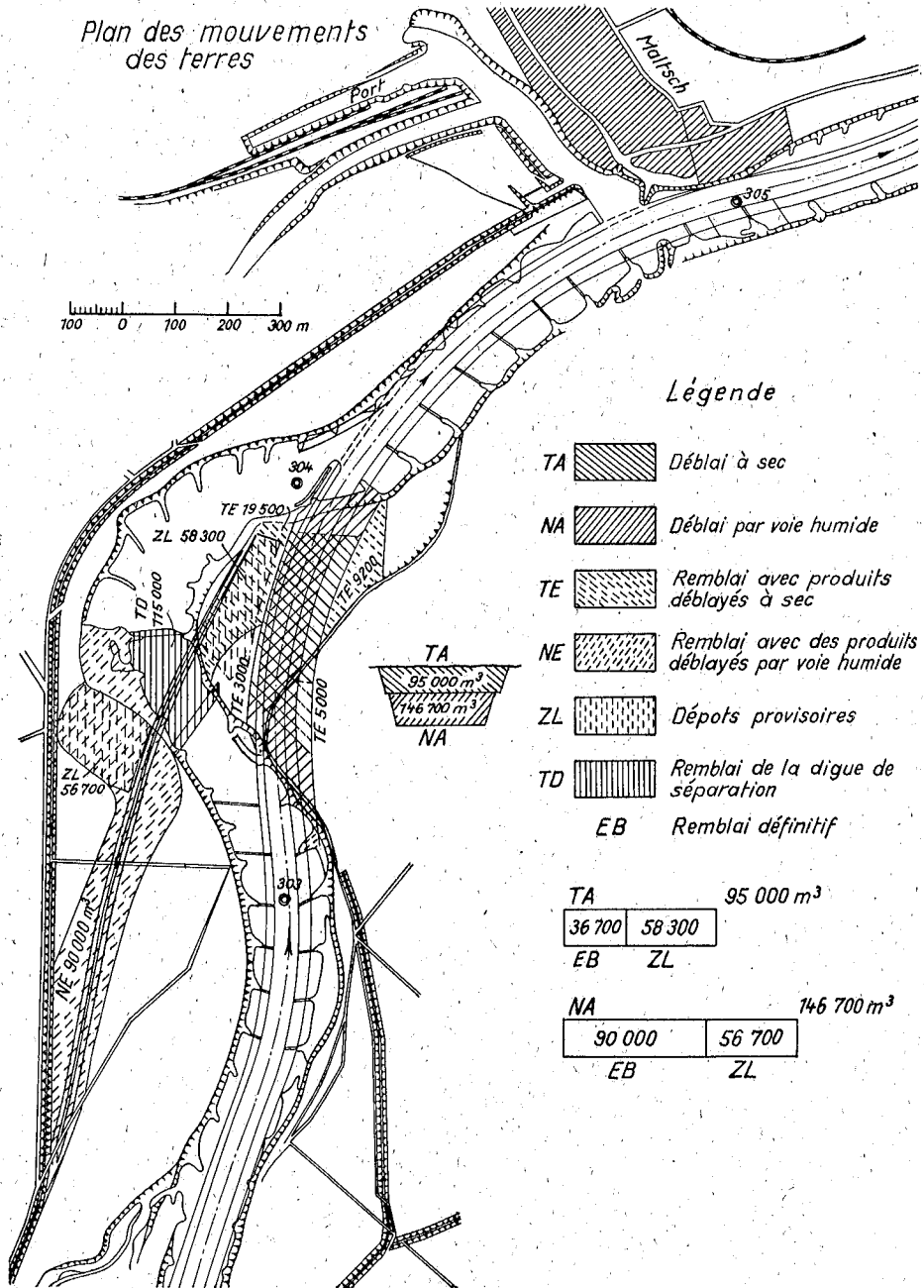
Ähnlich wie an der Oder wurde auch am Oberrhein die Herstellung des Durchstichs durch den Strom selbst angestrebt. Zu diesem Zwecke wurde ein schmaler Graben mit steilen Böschungen im Zuge des geplanten Durchstichs hergestellt, der der Erosion des Flusses den Weg öffnete. In der Linie der geplanten neuen Ufer mußten Verteidigungsbauten zum Schutz gegen die Entstehung von Überbreiten vorbereitet sein, die allerdings nicht immer verhindern konnten, daß der Abbruch zu weit ging.

Sowohl bei der Regulierung der Oder im XVIII. Jahrhundert wie bei der Korrektur des Oberrheins im XIX. Jahrhundert haben die Durchstiche als wesentliche Mittel der Regulierung, die noch dazu in ziemlich dichter räumlicher Aufeinanderfolge ausgeführt wurden, im ganzen zu unerwünschten Nachwirkungen geführt, die man nicht mehr in unbegrenzter Folge sich fortsetzen lassen konnte. Man schränkte daher die Anwendung von Durchstichen in zunehmendem Maße ein und begnügte sich damit, sie nur in Einzelfällen anzuwenden, wenn eine zwingende Notwendigkeit dafür vorlag. Beim Entwurf der letzten Niedrigwasserregulierung der Elbe hat man die Anwendung von Durchstichen überhaupt vermeiden können.

Außer der zahlenmäßigen Einschränkung der Durchstiche ging man auch dazu über, ihre Grundrißgestalt und ihre konstruktive Ausbildung zu verbessern. Man hat die radikale Begradigung allmählich aufgegeben zugunsten einer mehr oder weniger schwachen Krümmung, so daß sie in der Regel einen dadurch bedingten unsymmetrischen Querschnitt erhielt (siehe Abb. 2). Die Befestigung der Durchstiche geschieht meist in der Form, daß das einbuchtende Ufer von ähnlichen

*Coupure près de Maltzsch km 302 - 305 de l'Oder*

*Plan des mouvements des terres*



Coupure près de Maltzsch  
 Plan des mouvements des terres  
 Port  
 Légende  
 Déblai à sec  
 Déblai par voie humide  
 Remblai avec produits déblayés à sec  
 Remblai avec des produits déblayés par voie humide  
 Dépôts provisoires  
 Remblai de la digue de séparation  
 Remblai définitif

Durchstich bei Maltzsch  
 Plan der Erdmassenbewegung  
 Hafen  
 Zeichenerklärung  
 Trockenaushub  
 Naßaushub  
 Anschüttung des Trockenaushubs  
 Anschüttung des Naßaushubs  
 Zwischenlagerung  
 Anschüttung des Trenndamms  
 Endgültige Lagerung

Abb. 3.

Deckwerken geschützt wird, wie sie auch sonst an der regulierten Strecke eines Stromes üblich sind. Am flachen Ufer des unsymmetrischen Querschnittes im Durchstich wurde früher von einer besonderen Uferbefestigung abgesehen. Doch hat sich neuerdings gezeigt, daß hier die Gefahr einer Abtreibung vom Geschiebe entstand. Sie war darin begründet, daß dem Strom in einem Durchstich bei ausuferndem Wasserstand die größere Breite fehlt, die ihm in einer mit Bühnen regulierten Flußstrecke über den Bühnenkronen in der Regel zur Verfügung steht. Dadurch entsteht bei solchen Wasserständen eine starke Räumungskraft und auch ein entsprechender stärkerer Angriff auf Sohle und Ufer des Stromes. In solchen Fällen haben auch die neueren Durchstiche unter Umständen für die unterhalb anschließenden Strecken vorübergehend eine verstärkte Sandwanderung zur Folge gehabt, ähnlich wie es unterhalb der Mündung von sandführenden Nebenflüssen der Fall ist. Man hat unter diesen Umständen vielfach auch das flache geneigte ausbuchtende Ufer gekrümmter Durchstiche gegen Abbruch schützen und hierfür besondere Deckwerke (bis zur Neigung von 1:10) entwickeln müssen.

Es sei hier noch hervorgehoben, daß die Schifffahrt in den Durchstichen häufig dadurch erschwert wird, daß den Durchstichen die Bühnenfelder des geregelten Flußbettes fehlen, die bei schmalen Fahrwasser ein Ausweichen der von der Schifffahrt verdrängten Wassermassen gestatten und damit besonders die Bergschifffahrt erleichtern.

Zusammenfassend kann die Frage der Durchstiche und ihres Einflusses auf die Geschiebebewegung etwa wie folgt beurteilt werden:

1. Die Anwendung von Durchstichen in größerer Zahl unter radikaler Begradigung der Strecken hat sich im allgemeinen nicht bewährt. Ihr Einfluß auf die Geschiebebewegung kann zwar in ihrer allgemeinen Tendenz, nicht aber im einzelnen in ihrer zahlenmäßigen Einwirkung auf die Bettbildung vorausgesagt werden.
2. Um einen ungünstigen Einfluß auf die Geschiebebewegung zu verhindern, ist erforderlich,
  - a) daß die Verkürzung des Stromlaufes und die Erhöhung des Spiegelgefälles nicht ein Maß überschreitet, das den Verhältnissen des Stromes noch angemessen ist,
  - b) daß beim Bau des Durchstiches die beseitigten Bodenmassen genau unter Kontrolle gehalten werden, am besten durch planmäßige Baggerung und planmäßige Wiederunterbringung an vorgesehenen Stellen,
  - c) daß im Durchstich selbst die Ufer und gegebenenfalls auch die Sohle genügend geschützt werden, um ein Abtreiben bei höheren Wasserständen zu verhindern,
  - d) daß die Durchstiche in leicht gekrümmter Form mit unsymmetrischem Querschnitt angelegt werden, wobei die Krümmungshalbmesser, Zwischengraden und Übergangskurven den Verhältnissen des Flusses anzupassen sind,
  - e) daß die von den Durchstichen beeinflussten Stromstrecken ständig bezüglich der Bettbildungsvorgänge beobachtet werden und ihr Querprofil mit den normalen Mitteln des Strombaues in Größe und Gestalt so erhalten wird, wie es für die Abführung der Wassermassen und der Sandwanderung notwendig ist.



3. Durchstiche in stark geschiebeführenden Wasserläufen sollen nur bei zwingender Notwendigkeit und in möglichst geringer Zahl angelegt werden. Zur Ablflachung starker Krümmungen empfiehlt es sich, anstatt der Verwendung von Durchstichen im Rahmen der Stromregulierung die Uferlinie des einbuchtenden Ufers vorzuverlegen, gegebenenfalls unter Uferabgrabungen am gegenüberliegenden ausbuchtenden Ufer.

## Abt. I Mitteilungen

### Mitteilung 1

#### **Untersuchung der Beziehungen zwischen einerseits der Querschnittsgestalt, der Bodenbeschaffenheit, der Art der Auskleidung und der Verteilung der Strömungsgeschwindigkeiten in einem Wasserlauf, und andererseits dem Fahrwiderstand, dem Wirkungsgrad der Schrauben und den zulässigen Geschwindigkeiten der Schiffe in bezug auf die Unterhaltungskosten des Wasserlaufes.**

Von Kurt Helm, Obering. bei der Hamburgischen Schiffbauversuchsanstalt und Otto Wöltinger, Oberregierungsrat in Kiel.

Zusammenfassung. I. Nach den Erfahrungen bei stark befahrenen Kanälen soll im Interesse der Sicherheit der Schifffahrt die nutzbare Breite möglichst  $3,5 \times$  Schiffsbreite sein. Bei Überholung und Begegnung ist dann ein Passierabstand von 6 m vorhanden und eine Annäherung an die Böschung nur bis zu 3,5 m notwendig.

Das Querschnittsverhältnis Kanal zu Schiff sollte möglichst bei 6 liegen, damit der Schiffswiderstand gering und die Fahrgeschwindigkeit groß ist.

Je nach Größe und Form des Querschnitts sowie der Form der Schiffe verändert sich die Stärke des Angriffs auf die Böschungen und die Sohle. Die Erfahrungen zeigen, daß die Neigung des befestigten Ufers mindestens 1:3 sein und die Befestigung bis zur Sohle herabgeführt werden sollte. Ein Kriterium für die zu erwartenden Angriffe auf die Sohle bietet die Rückstromgeschwindigkeit. Je nach Bodenbeschaffenheit muß sie durch Festlegung der höchsten Fahrgeschwindigkeit begrenzt werden. Für die vorliegende Untersuchung wird eine Rückstromgeschwindigkeit von 1 m/s festgelegt.

II. Mit 7 nach Größe, Tiefe und Form verschiedenen Kanalprofilen wurden Modellversuche angestellt. Die Profile teilen sich in 2 Gruppen: ein Trapezprofil wurde durch Vertiefung in 3 Stufen zum Muldenprofil umgewandelt. Mit dessen Querschnitt wurde alsdann ein Trapez-, Rechteck- und ein Rechteck/Trapezprofil untersucht. Die Ergebnisse sind folgende:

1. Der Schiffswiderstand und damit der Leistungsbedarf, ist um so geringer, je kleiner die Wasserspiegelbreite des Kanals ist.

Bei gleichem Leistungsbedarf (100 EPS) ist bei gleichem Wasserquerschnitt das Muldenprofil dem Trapezprofil um 1,5% in der erreichbaren Fahrgeschwindigkeit überlegen. Im gleich großen Rechteckprofil wird eine um 6,5% höhere Geschwindigkeit als im Trapezprofil und eine um 5% höhere als im Muldenprofil erreicht.

Die Schiffsgeschwindigkeit in einem Kanal ist abhängig von der Stauwellengeschwindigkeit  $v_{Kr} = \sqrt{g \cdot H_e / U}$  (worin der Einfluß der Kanalform durch den hydraulischen Radius  $F_e / U$  erfaßt wird) und vom Querschnittsverhältnis  $n = F_k / F_e$ .

Dieser letztere Einfluß wird bedeutungslos, wenn  $n > 6,5$  ist.

2. Trimm und Absenkung des Schiffes ergeben für die untersuchten Profile bei Fahrt in Kanalmitte selbst bei voller Ausnutzung der Antriebsleistung keine Gefahr der Grundberührung.