

Erfahrungen an einem Tidemodell mit beweglicher Sohle und Vergleich
zwischen Modell- und Naturmessungen

Von Ernst Vollmer +)

Während seiner Tätigkeit in Kanada hatte der Verfasser Gelegenheit, an einem der größten wasserbaulichen Modelle Amerikas mitzuarbeiten. Es handelte sich um das Modell des Mündungsgebietes des Fraser-Flusses, der an der Grenze von Kanada und den USA in den Pazifik mündet; es ist der Hauptstrom von British Columbia mit einer Länge von 1 360 km und einem Hochwasserabfluß von 15 000 m³/s. (Länge des Rheins 1 300 km, Hochwasserabfluß 12 000 m³/s an der holländischen Grenze).

1. Einführung

Mehrere Baumaßnahmen, die in der Zeit von 1900 - 1950 zur Verbesserung der Schifffahrtsrinne des Fraser-Flusses durchgeführt wurden, erreichten ihr Ausbauziel nicht. Das ist in der Hauptsache darauf zurückzuführen, daß die Erfahrungen, die an anderen Tideflußmündungen mit dem Bau von Buhnen und Leitwerken gemacht wurden, nicht genügten, um die Auswirkungen dieser Maßnahmen zu beurteilen. Diese Mißerfolge und die Erkenntnis, daß jeder Fluß seinen eigenen Gesetzen gehorcht, die durch seine Morphologie und Hydrologie bestimmt sind, und die durch Rechnung nicht erfaßt werden können, waren entscheidend für den Beschluß, die wasserbaulichen Probleme des Fraser-Flusses an der Universität von British-Columbia (Kanada) an einem Modell mit beweglicher Sohle zu untersuchen.

Dieser Bericht behandelt die Modellversuche für Baumaßnahmen am Fraser-Fluß und die Auswirkungen einer Reihe von baulichen Maßnahmen, die aufgrund der Modellergebnisse in der Natur durchgeführt wurden. Ein solcher Vergleich ist bisher nur in wenigen Fällen gemacht worden, obwohl nur der Beweis dafür gibt, in welchem Umfang mit Hilfe von Modellversuchen eine zuverlässige Aussage über Zweckmäßigkeit und Wirtschaftlichkeit wasserbaulicher Maßnahmen möglich ist.

+))

Herr V o l l m e r war vor und nach seinem Aufenthalt in Kanada bei der Bundesanstalt für Wasserbau tätig. Wir bringen den Bericht über seine Mitarbeit am Modell des Fraser-Flusses, weil es ein bemerkenswertes Beispiel ist. Es beweist, daß die Anlage eines großräumigen Modells, die Untersuchung aller baulichen Maßnahmen, im Zusammenhang des ganzen Flußsystems und der ständige Vergleich zwischen Natur und Modell während und nach der Ausführung der Baumaßnahmen, die beste Voraussetzung geben, um technische Fehlleistungen zu vermeiden und größte Wirtschaftlichkeit zu erreichen.

Bei der Beurteilung der Vergleichsergebnisse sind die versuchstechnischen Schwierigkeiten eines verzerrten Modelles und die noch ungenügenden Kenntnisse über die Gesetzmäßigkeiten im Verhalten des Modellgeschiebes gegenüber dem Naturgeschiebe zu berücksichtigen.

2. Das Modell

Um den Einfluß des Tideablaufes im Modell nachbilden zu können, mußte die Mündungsstrecke des Flusses bis zur Tidegrenze (96 km) dargestellt werden. Gewählt wurde ein Längenmaßstab 1:600, dabei ergab sich eine Gesamtflußlänge im Modell von 160 m. Um das Modell auf der zur Verfügung stehenden Fläche unterbringen zu können, war es notwendig, den Oberlauf spiegelbildlich anzuordnen; das bleibt ohne Einfluß auf die Modellergebnisse.

Der Höhenmaßstab mußte auf die erforderliche Mindestwassertiefe im Modell abgestimmt werden, ~~hier~~ wurde 1:70 gewählt, entsprechend einer 8,5-fachen Verzerrung. Als Modellgeschiebe wurde Flußsand mit einem in der Versuchsrinne ermittelten mittleren Korndurchmesser $d_{50} = 0,2$ mm verwendet.

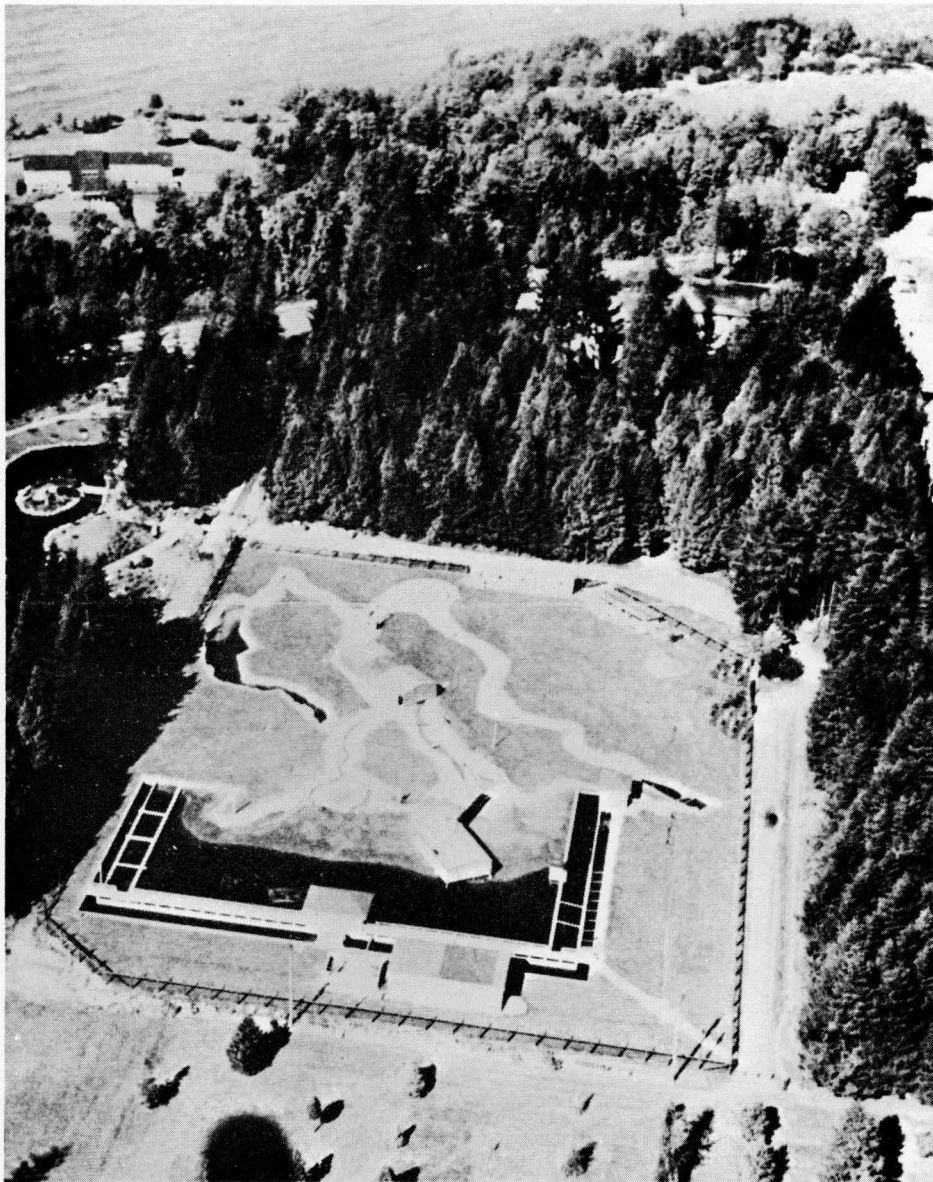
Bei der Untersuchung der einzelnen Bauprojekte wurde die Naturähnlichkeit jeweils nur für den erforderlichen Modellabschnitt hergestellt und die Randbedingungen, wie der Tideeinfluß, Abflußmenge und Geschiebemenge festgelegt.

Das Modell wurde zwischen 1947 und 1950 auf dem Gelände der Universität von British Columbia als Freimodell gebaut und war neben dem Mississippi-Modell das zweitgrößte Modell auf dem nordamerikanischen Kontinent.

3. Über die Wirtschaftlichkeit des Modells

Während der mit diesem Bericht erfaßten 10-jährigen Betriebsdauer des Modells von 1950 bis 1960 wurden 16 Bauvorschläge mit einer Gesamtbausumme von 36,6 Mio Dollar untersucht. Von diesen wurden 13 Projekte mit einem Gesamtaufwand von 26 Mio Dollar inzwischen ausgeführt.

Die Kosten für den Betrieb des Modells einschließlich Löhnen und Gehältern betragen ungefähr 1,2% der Gesamtkosten der 16 bearbeiteten Projekte; darin eingeschlossen waren die Naturmessungen zur Nachbildung der Naturähnlichkeit des Modells, wie z.B.: Entnahme von Geschiebeprobe, Wasserspiegelmessungen, Studium des Tideverlaufes und Ermittlung des Tidevolumens, Wassermengenermittlung und ihre Verteilung, Studium der Strömungsverhältnisse.



An aerial view of the Fraser River Model on the campus of the University of British Columbia.
Courtesy, Dept. of Extension, U.B.C.

Abb.1 Luftbild des Fraser-Modells

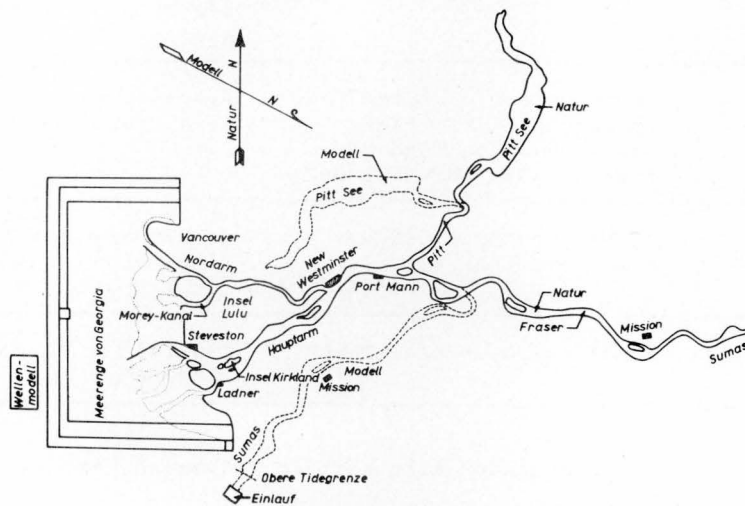


Abb.2 Lageplan des Fraser-Modells

4. Vergleich zwischen Modell- und Naturmessungen

Als Ergebnis kann vorausgenommen werden, daß jeder der im Modellversuch ermittelten Bauvorschläge nach der Ausführung in der Natur seinen Zweck erfüllt hat, wenn auch in manchen Fällen nur als Teillösung des Problems.

Im folgenden werden für die in der Tabelle zusammengestellten größeren Projekte die Untersuchungsergebnisse am Modell mit Naturergebnissen der ausgeführten Baumaßnahmen verglichen.

Tabelle I

Nr. ⁺	Gegenstand der Untersuchung	Zweck der Untersuchung
5.1	Leitdamm Steveston - Süd	Erhaltung der Fahrrinne
5.2	Steveston Hafemole und Damm	Schaffung eines Fischereihafens mit Schutz gegen Wellengang
5.3	Abflußverhältnisse an der Spitze der Insel Kirkland	Festlegung der Inselspitze und Erhaltung der Wassermengenverteilung im Hauptarm
5.4	Damm mit Brücke zur Insel Annacis	Ermittlung des Einflusses auf die Wasserstände
5.5	Abschluß des Steveston-Cannery-Kanals	Einfluß auf den Salzgehalt und Prüfung, ob eine Spülung erforderlich ist
5.6	Bau eines Anlegers für eine Eisenbahnfähre	Ermittlung der günstigsten Lage und Frage der Erhaltung der erforderlichen Wassertiefen
5.7	Verbesserung der Schiffahrtsrinne des Fraser und Ausbau des Binnenhafens bei New Westminster	Abstimmung verschiedener Planungen aufeinander
5.8	Ausbau der Flußmündung bei Steveston	Schaffung einer Schiffahrtsrinne mit 9,0 m Tiefe und 305 m Breite (1000 Fuß)
5.9	Autotunnel zur Insel Deas	Einfluß des Tunnels auf die Wassertiefen

⁺ siehe entsprechenden Abschnitt im folgenden Text.

5. Modellversuche

5.1 Einfluß des Leitdammes Steveston-Süd (Versuch Nr.1)

5.11 Aufgabe

Zur Erhaltung einer Fahrrinne von 7,0 m Tiefe im Fraser-Hauptarm vor Steveston waren jährliche Baggerungen von 1,5 Mio m³ erforderlich. Um diese Baggermengen herabzusetzen, wurde im Jahr 1950 mit dem Bau des Steveston-Leitdamm-Süd begonnen. Das geplante Leitwerk hatte eine Gesamtlänge von 4,3 km, von diesem war bis zur Inbetriebnahme des Modells der erste und zweite Abschnitt mit zusammen 3,2 km Länge fertiggestellt.

5.12 Modellversuche

Die Modellversuche zeigten, daß der Leitdamm keinen nennenswerten Einfluß auf die Abflußverhältnisse in der Schiffahrtsrinne hatte und eine Abnahme der erforderlichen Baggermengen nicht zu erwarten war. Auf den Bau des 3. Abschnittes des Leitdammes von 1,1 km Länge wurde daher verzichtet und dadurch eine Bausumme von 750 000 Dollar eingespart.

5.13 Vergleich mit der Natur

Die Richtigkeit der Modellvorhersage wurde durch die 1959 aufgenommene Flußkarte bestätigt (Abb.3). Nebeneiner geringen Verbreiterung der Schiffahrtsrinne zwischen den 30 Fuß (9,15 m) Tiefenlinien von Querschnitt J-18 bis Querschnitt J-21 war keine Verbesserung der Schiffahrtsrinne festzustellen, auch die jährliche Baggermenge hatte sich nicht geändert. Die Verbreiterung der Schiffahrtsrinne zwischen den 20 Fuß (6,10 m) Tiefenlinien zwischen Querschnitt S-6 und S-10 war auf die Wirkung der Hafensemole (Steveston-Mole) und dem 1. Abschnitt des Steveston-Leitdammes-Süd Nr. 2 zurückzuführen, die zusammen den Flußquerschnitt auf die Hälfte seiner früheren Breite einschnürten.

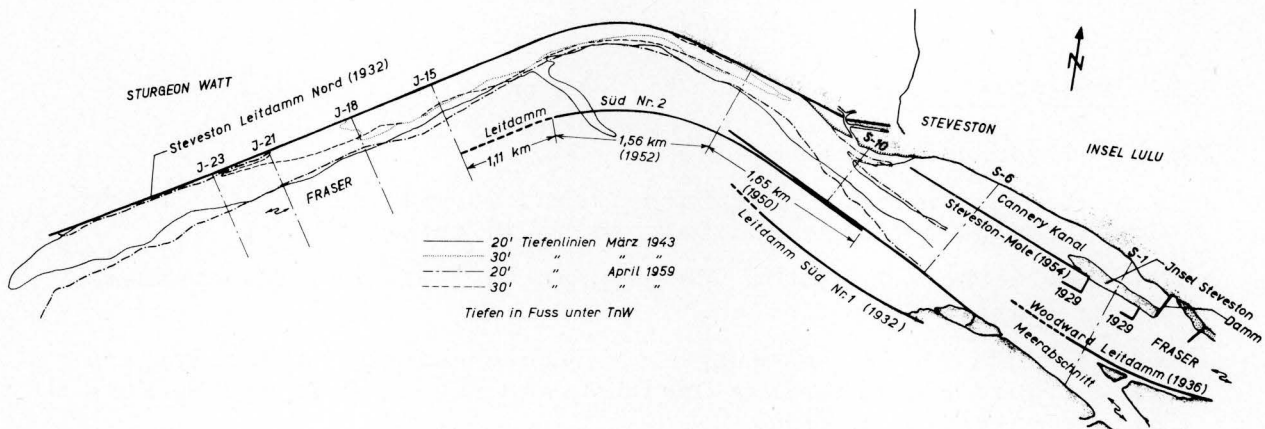


Abb.3 Fraser-Mündung bei Steveston mit Tiefenlinien 1943 und 1959

5.2 Steveston Hafenmole und Damm (Versuch Nr. 2)

5.21 Aufgabe

Um die Entwicklung einer konkurrenzfähigen Fischindustrie im Westen Kanadas zu fördern, wurde in der Nähe der Frasermündung ein Hafen geplant, der Fischereifahrzeugen Ankerplätze und den nötigen Schutz gegen Wellenschlag bieten sollte. Durch eine Längsmole und einen Verbindungsdamm zum Land (Abb. 3 u. 4) sollte ein seitlich des Flusses angeschlossenes Hafenbecken (Cannery-Kanal) gebildet werden. Der Einfluß der Mole und des Dammes auf die Fahrwasserrinne war am Fraser-Modell zu untersuchen.



Abb.4 Luftbild der Frasermündung

Die Mole und der Damm sollten den so geschaffenen Fischereihafen vorden vom Pazifischen Ozean her einlaufenden Wellen schützen. Ferner erwartete man durch den Bau der Mole und des Dammes eine Verbesserung der Schifffahrtsrinne im Hauptarm (Steveston Cut) und somit eine Verminderung des Baggerns in diesem Abschnitt.

5.22 Modellversuche

Die Modellversuche ergaben, daß

- a) eine Verminderung der Baggerarbeiten in der Fahrrinne des Fraser durch Einbau von Mole und Damm nicht zu erwarten war,
- b) die Möglichkeit bestand, die gewünschte Tiefe des Hafenbeckens durch Baggern herzustellen,
- c) eine wesentliche Veränderung der Hafenbeckensohle, abgesehen von der Bildung einer kleinen Sandbank am unteren Ende des Beckens nicht eintreten würde,
- d) ein ausreichender Schutz des Hafens vor einlaufenden Wellen erreicht wird,
- e) die Mole bei der Erhaltung des Fahrwassers im Hauptarm mitwirkt, wenn gleichzeitig Einbauten am linken Ufer angeordnet werden (siehe Versuch Nr. 8).

5.23 Vergleich mit der Natur

Nach dem Bau der Mole und des Dammes wurden die Modellvorhersagen bestätigt.

Die jährliche Baggermenge wurde nicht verändert und der erforderliche Schutz gegen Wellenangriffe im Hafen wurde erreicht. Abb.5 zeigt den Abschnitt nach der Fertigstellung der Mole und des Dammes.

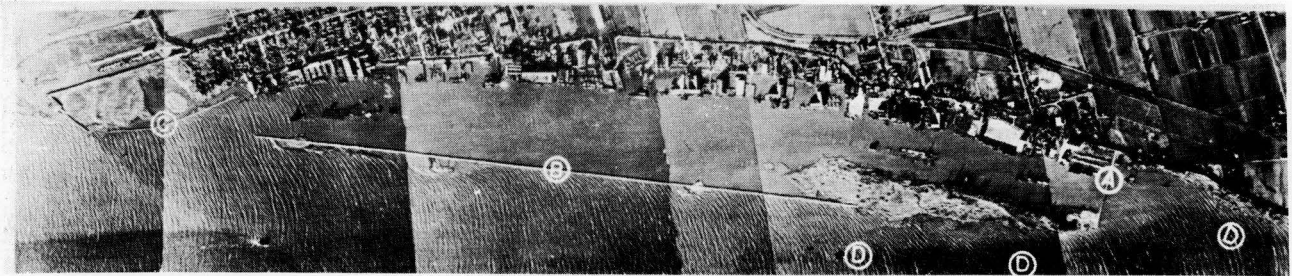


Abb.5 Luftbild Cannery-Kanal nach dem Bau der Mole und des Dammes

5.3 Verbesserung der Abflußverhältnisse an der Spitze der Insel Kirkland (Versuch Nr.3)

5.31 Aufgabe

Die stromaufwärts gerichtete Spitze der Insel Kirkland ist besonders starken Stromangriffen ausgesetzt. Während eines extremen Hochwassers im Jahre 1948 mit 560 000 c.f/s. = 15 864 m³/s wurde die Steinbefestigung an der Spitze der Insel zerstört und eine Bucht ausgespült.

Um zu verhindern, daß sich der Nebenarm zum Hauptarm entwickelte, wurde die Spitze der Insel als Notmaßnahme mit Holzpfählen in früherer Form gesichert.

Das Hochwasser von 1950, das etwas geringer war als das extreme Hochwasser von 1948, nämlich 439 000 cfs = 12 440 m³/s, verursachte an zwei Stellen der Spitze so tiefe Kolke, daß die Pfahlwand unterspült und eingedrückt wurde.

5.32 Modellversuche und Naturvergleich

Modellversuche zur Ermittlung der zweckmäßigsten Befestigung der Spitze führten dann zum Entwurf eines Leitdammes aus Stein. Dieser Leitdamm wurde im Frühjahr 1955 fertiggestellt und war noch im selben Jahr einem verhältnismäßig starken Hochwasser von 406 000 cfs = 11 500 m³/s ausgesetzt, ohne Schaden zu leiden. Ein Vergleich der Flußkarten vom April 1955 und November 1955, das ist vor und nachdem Hochwasser, zeigte, daß der tiefe Kolk, der sich nach dem Einbau der Pfahlwand gebildet hatte, zum Teil schon eingefüllt war, wie das nach den Ergebnissen der Modellversuche zu erwarten war.

Einen Vergleich der Kolktiefen im Modell und in der Natur zeigt Abb. 6a und 6b.

Die Wassermengenverteilung ergab sich in der Natur in Übereinstimmung mit dem Modell gleichbleibend für verschiedene Wasserstände zu 79% für den Hauptarm und 21% für den Nebenarm.

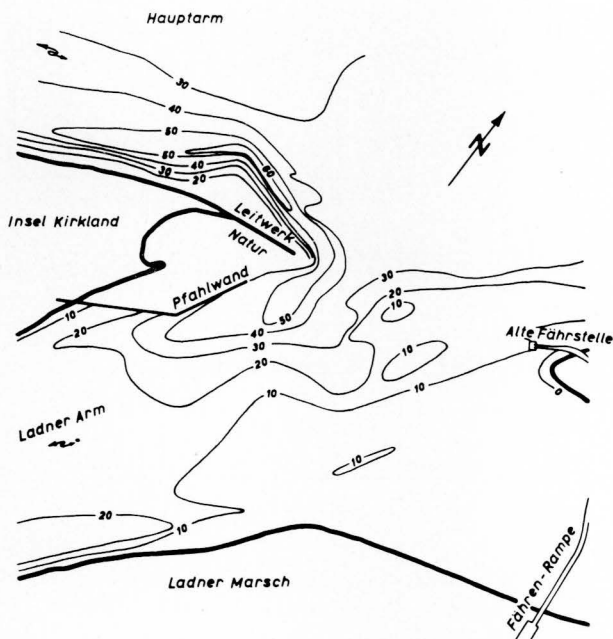


Abb. 6b

Spitze der Insel Kirkland (Natur)

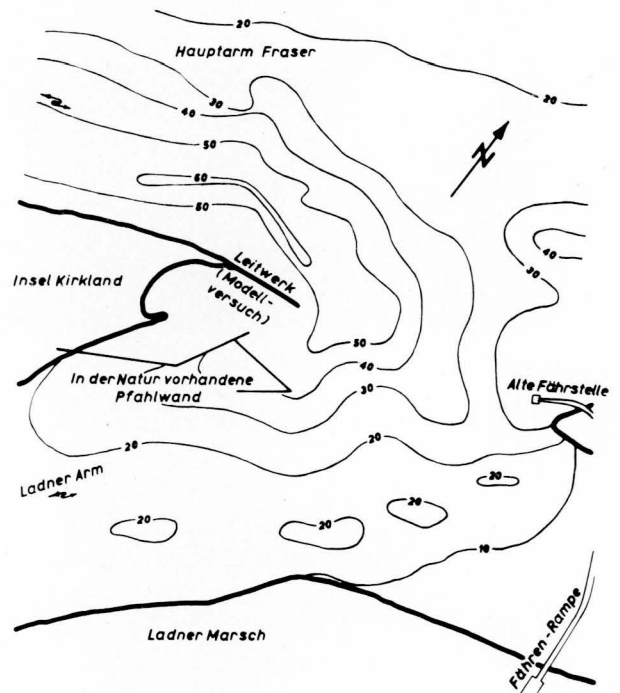


Abb. 6a

Spitze der Insel Kirkland (Modell)

Es kann daher angenommen werden, daß die Wassermengenverteilung durch den Leitdamm festgelegt ist und daß die Wassertiefen im Hauptarm erhalten bleiben.

5.4 Damm mit Brücke zur Insel Annacis (Versuch Nr. 4)

5.41 Aufgabe

Um die Ansiedlung von Industrie auf der Insel Annacis zu fördern, wurde eine feste Verbindung zwischen der Stadt New Westminster und der Insel notwendig (Abb. 7).

Für die Überquerung des Nebenarmes des Fraser lagen zwei Vorschläge vor:

- a) ein geschlossener Damm mit der Dammkrone über dem höchsten Hochwasser,
- b) ein Damm mit einer Öffnung (Brücke).

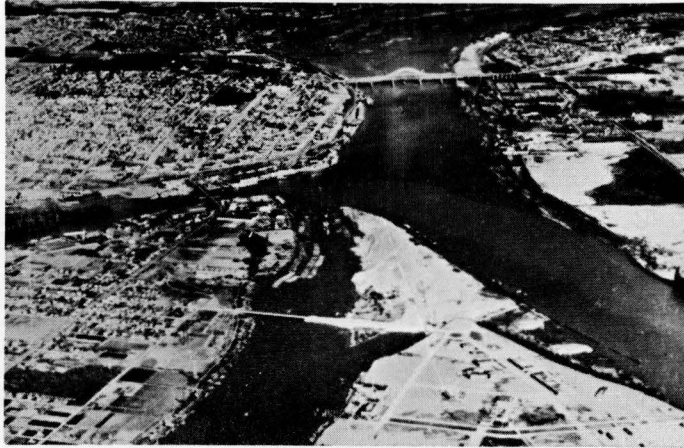


Abb.7 Luftbild des Hafens New Westminster

Die dem Modell gestellte Aufgabe war es, die durch den vollkommenen oder teilweisen Abschluß des Kanals entstehende Erhöhung des Wasserspiegels zu ermitteln und Angaben über zu erwartende Kolktiefen an der Brücke zu machen.

5.42 Modellversuche

Im Modell ergab sich eine Erhöhung des Wasserspiegels von 15 cm bei vollkommenem Abschluß durch einen Damm. Bei einem teilweisen Abschluß des Kanals wurde keine meßbare Erhöhung des Wasserspiegels festgestellt. Da bei dem Hochwasser 1948 beträchtliche Schäden an Bürobauten und Lagerhäusern im Hafen von Westminster entstanden waren, konnte ein völliger Abschluß nicht verantwortet werden, deshalb wurde der Abschluß des Kanals durch einen Damm mit Brücke vorgeschlagen.

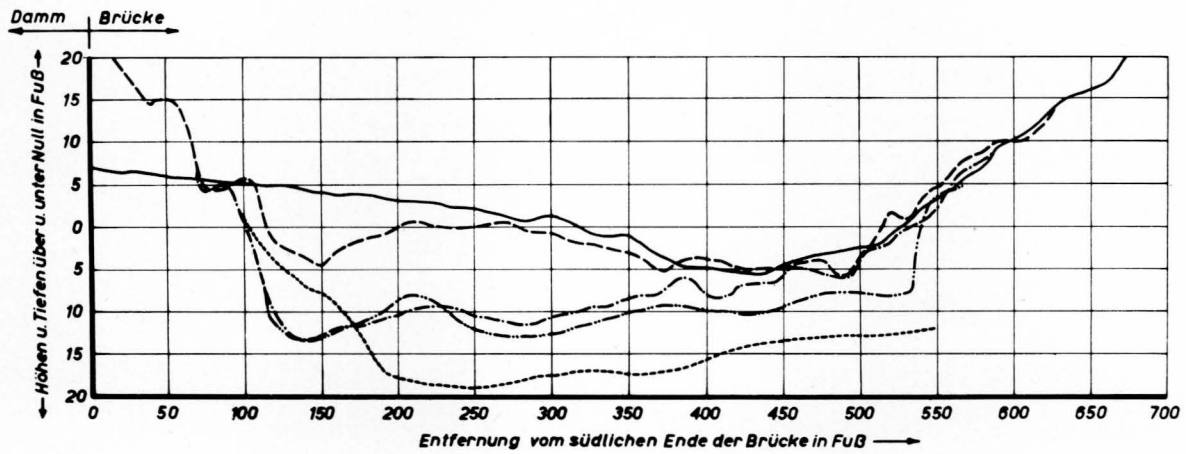
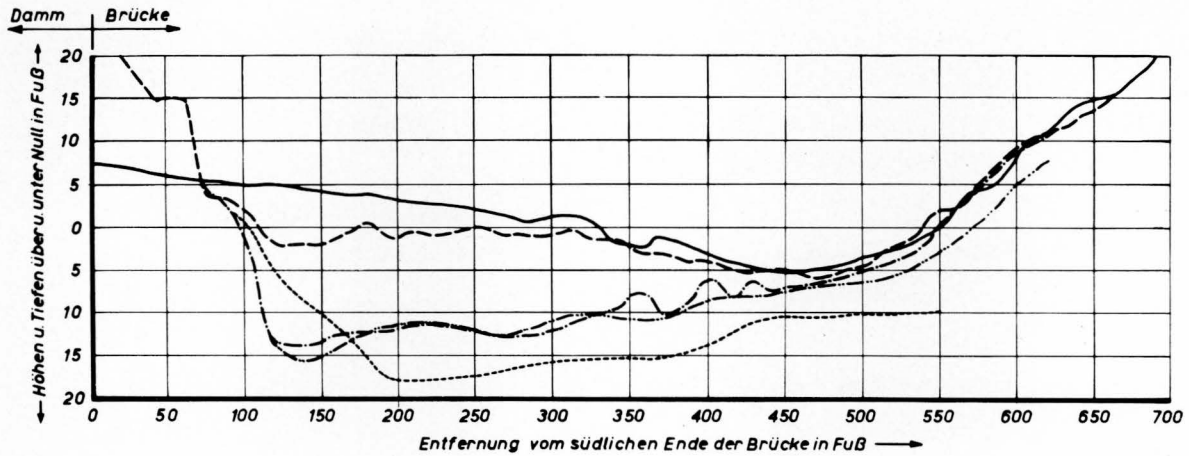
Die Kolke an der Brücke und besonders am Dammkopf zeigten im Modell eine maximale Tiefe von 5,5 bzw. 5,8 m unmittelbar oberhalb und unmittelbar unterhalb des Dammkopfes.

Die Kolktiefe 30 m oberhalb und 30 m unterhalb der Spitze des Dammes betrug 4,6 bzw. 6,1 bis 7,9 m (Abb. 7a und 7b).

Im Modellbericht wurde betont, daß die Kolktiefen in einem Modell mit starker Verzerrung etwas größer sind, als sie in der Natur zu erwarten seien, und daß damit der Fehler, der auf die Modellverzerrung zurückzuführen ist, den Sicherheitsfaktor in der Natur erhöht.

5.43 Vergleich mit der Natur

Der Abschluß des Seitenarmes mit Damm und Brücke wurde im Mai 1955 fertiggestellt. Im gleichen Sommer wurde eine Hochwassermenge gemessen, die etwa gleich den Modell-Hochwassermengen war. Abb. 7a und 7b zeigt Modell- und Flußquerschnitte vor und nach dem Bau des Dammes und der Brücke.



— Juni 1954 (vor dem Bau)
- - - Mai 1955 (kurz nach dem Bau)
- · - Juli 1956
· · · September 1960
····· Modell

Abb. 7a u. 7b

Querprofile oberhalb und unterhalb der Brücke

Wie aus den Naturquerschnitten aus den Jahren 1956 und 1960 zu ersehen ist, betrug die Kolktiefe 16 bzw. 13 Fuß (4,9 bzw. 4,0 m) unmittelbar oberhalb und unterhalb der Brücke. Messungen im Verlaufe eines Hochwassers haben gezeigt, daß der Kolk bei zunehmender Wassermenge kurz nach der Hochwasserspitze sein Maximum erreichte. Beim Übergang zu abnehmendem Wasser füllt sich der Kolk leicht auf, sodaß die Kolktiefe am Ende des Hochwassers meistens geringer ist, als die maximale Kolktiefe. Diese Feststellung muß hier beim Vergleich zwischen Modell und Natur berücksichtigt werden.

Gemessen an der Gesamtkolktiefe ist der Unterschied zwischen Modell und Natur als gering zu bezeichnen. Die Angaben des Modells wurden somit in der Natur bestätigt.

5.5 Verbesserung des Steveston-Cannery-Kanals (Versuch Nr. 5)

5.51 Aufgabe

Nachdem die Steveston-Hafenmole und der Damm (Abb. 5, 5.2) gebaut waren, wurden durch Zuschriften an das Gesundheitsamt von British Columbia folgende Fragen zur Diskussion gestellt:

1. Wird der Salzgehalt im Werfthafen durch die Baumaßnahmen so anreichert, daß der Teredo (Holzzerstörer) Lebensmöglichkeiten erhält und dadurch die hölzernen Anlagen im Hafen zerstört werden?
2. Ist eine Spülung des Hafens zur Reinhaltung von Abwässern der Fischfabriken notwendig und durch welche baulichen Maßnahmen kann eine solche Spülung erzielt werden?

5.52 Gutachten und Modellversuch

Zu 1: Das Versuchsinstitut für Ozeanographie von Nanaimo B.C. wurde beauftragt, den Salzgehalt des Wassers im Hafen zu ermitteln. Die Untersuchung ergab, daß der Salzgehalt im Hafen bis zu einer Tiefe von 4,6 m für die Existenz des Teredos nicht ausreicht. Da aber nahezu keine Werftanlagen bis in größere Tiefen reichen, bestand für sie keine Gefahr der Zerstörung. Für den offenen Fluß ergaben sich etwa die gleichen Verhältnisse.

Zu 2: Zur Beantwortung dieser Frage waren Modellversuche notwendig, durch die die Wassergeschwindigkeit im Hafen vor und nach dem Einbau des Dammes zu ermitteln war, um festzustellen, ob eine Erhöhung der Geschwindigkeiten zum Durchspülen des Hafenbeckens noch zulässig ist, d.h. ob die Geschwindigkeiten des Ebbestromes die kritische Geschwindigkeit für das Geschiebe im Hafenbecken schon erreicht oder überschreitet.

Unter kritischer Geschwindigkeit wird hier die Geschwindigkeit verstanden, bei der das Geschiebe gerade noch nicht durch die Strömung bewegt wird. Als kritische Geschwindigkeit für ein Geschiebe mit einem mittleren Korndurchmesser $d_{50} = 0,25$ mm war nach Angaben von R.C. Kennedy und Fortier-Stobey (1) eine Geschwindigkeit von 0,44 m/s anzusehen. Zum Spülen des Hafenbeckens wurde 1,8 m über Null eine 114 m breite (375 Fuß) Öffnung im Damm oberhalb des Beckens (siehe Abb. 3) angeordnet. Im Modell wurde bei Ebbe eine maximale Geschwindigkeit von 0,439 m/s im Hafen bei einem Oberwasser von 439 000 cfs = 12 440 m³/s gemessen. Diese Wassermenge wurde im Jahre 1950 am Fraser-Fluß gemessen und in den letzten 20 Jahren nur 1 oder 2 mal überschritten. Um eine gleichmäßige Geschwindigkeit über die ganze Länge des Hafenbeckens zu erhalten, wurde das Becken im Modell mit einem gleichbleibenden Querschnitt hergestellt, der auch für die Ausführung in der Natur empfohlen wurde.

5.53 Ergebnisse in der Natur

Die Bauarbeiten wurden nach dem Modellvorschlag im Jahre 1958 ausgeführt. Eine erste Naturmessung bei einem Oberwasser von 211 000 cfs = 5 910 m³/s ergab eine maximale Ebbegeschwindigkeit im Hafenbecken von 1,44 ft/sec (0,44 m/s). Bei einer zweiten Messung bei einem Oberwasser von 291 000 cfs = 8 240 m³/s wurde eine maximale Ebbegeschwindigkeit von 1,35 ft/sec (0,41 m/s) gemessen.

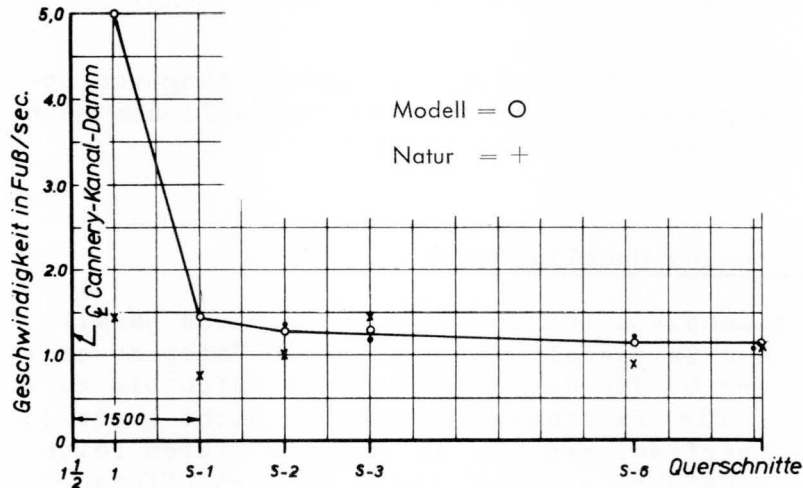


Abb.8 Geschwindigkeiten im Cannery Kanal (Modell u. Natur)

Der Vergleich zwischen Modell- und Naturmessungen zeigt trotz verschiedener Wassermengen und Tiden gute Übereinstimmung. Die Längsprofilaufnahmen der Hafenbeckensohle vor und nach den Verbesserungsarbeiten zeigten, daß sich die Sohle nicht verändert hat. Der durch die Abwässer aus den Fischfabriken verursachte Geruch wurde fast völlig beseitigt.

5.6 Vorschlag für den Bau eines Anlegers für eine Eisenbahnfähre mit Modellversuchen (Versuch Nr. 6)

5.61 Aufgabe

Am Südufer des Fraser sollte ein Anleger für eine Eisenbahnfähre gebaut werden. Die Fährschiffe von 97 m Länge, 15,8 m Breite, 4,9 m Tiefgang und einer Geschwindigkeit von 11 Knoten sollten eine 50 km entfernte Insel mit dem Festland verbinden. Für den Bau eines Anlegers waren folgende Fragen zu klären:

1. die günstigste Anlegestelle für die Fähre am Südufer des Fraser bei der Insel Tilbury,
2. der Abstand des Anlegers vom Ufer,
3. der Anschlußwinkel des Anlegers an das Flußufer,
4. die Kolkgefahr an den Fundamenten der Hebetürme und Stützen,

5. die Frage der Verlandung der Anlegestelle und die zur Erhaltung einer Mindestwassertiefe von 6,1 m etwa erforderliche Baggermenge,
6. der Kolkschutz für die Fundamente.

5.62 Versuche

Vor der Beantwortung der Fragen 1 bis 6 mußte zunächst die Auswirkung einer neuen chemischen Fabrik 1 800 m oberhalb der Fährstelle mit Damm, Werft und Pumpenhaus am Fraser-Modell untersucht werden.

Die Versuche zur Ermittlung der Verlandung und des notwendigen Kolkschutzes wurden an einem Teilmodell im Maßstab 1:300 für die Längen und 1:75 für die Höhen durchgeführt. Zur Beurteilung der erforderlichen Maßnahmen dienten Längsprofile der Modellsohle entlang der Achse der Fähre. Die Strömungsverhältnisse an der Oberfläche, in halber Tiefe und in Sohlennähe wurden mit Hilfe von Konfetti, Farbstoff und Gilsonit⁺) sichtbar gemacht und fotografisch erfaßt.

Das Gesamtergebnis der Ermittlungen und Versuche war folgendes (Abb. 9):

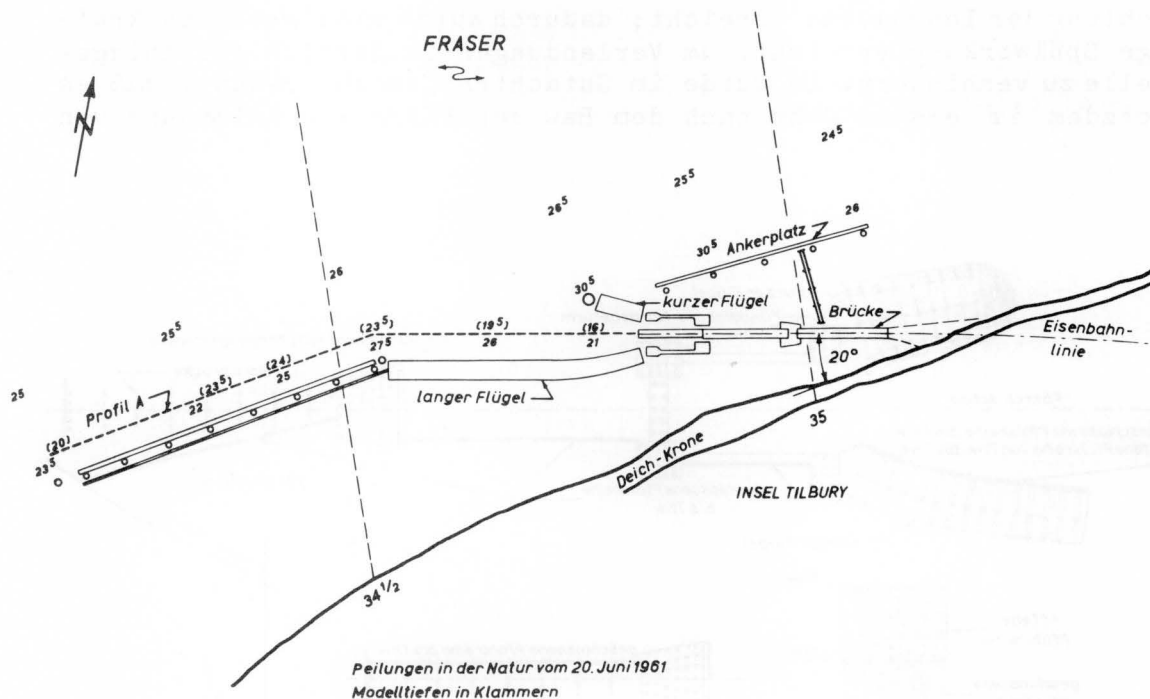


Abb.9 Anlegestelle der Eisenbahnfähre

Die vorgesehene Anlegestelle liegt in einem Abschnitt, in dem sich die Sohle relativ wenig ändert, dabei ist in einer Entfernung von ca. 45 m vom Ufer dauernd eine Mindestwassertiefe von 5,0 bis 6,1 m vorhanden.

⁺) Naturasphalt in Kornform als Modellgeschiebe verwendet; Spezifisches Gewicht 1,03 bis 1,06

Die Anlagen der chemischen Fabrik oberhalb der Fährstelle verursachten keinen ungünstigen Einfluß auf die Strömungs- und Sohlenverhältnisse an der Fährstelle.

Der Anschlußwinkel des Anlegers an das Flußufer wurde zu 20° gewählt, dadurch sollten unerwünschte Ablösungen entlang der Leitwände verhindert werden.

Die mit Hilfe des Teilmodells durchgeführten Geschiebeversuche zeigten, daß an den Fundamenten für die Hebetürme und Stützen Kolke entstanden und daß ein Kolkschutz notwendig war.

Es ergab sich weiterhin eine Schrägdurchströmung durch die Öffnungen zwischen den Hebetürmen und Stützen und durch die offenen Leitwände des Bauwerkes zum Ufer hin, die vom Ufer reflektiert wurde und eine Tendenz zu einer Verlandung am oberen Ende der Fähre. Dies könnte ein alljährliches Baggern nach dem Hochwasser notwendig machen.

Der Entwurf der Fähre wurde daraufhin abgeändert. Dabei wurde die Schrägdurchströmung des Bauwerkes dadurch verhindert, daß geschlossene Pfahlwände vom Anschlußufer über die Stützen und Hebetürme bis zum stromabwärtigen Ende der langen Leitwand angeordnet wurden (Abb. 10). Damit wurde eine Durchströmung des Bauwerkes in Richtung der Längsachse erreicht; dadurch wurde eine genügend kräftige Spülwirkung erreicht, um Verlandungen im Bereich der Anlegestelle zu verhindern. Es wurde im Gutachten jedoch erwähnt, daß es trotzdem im ersten Jahr nach dem Bau der Fähre zur Anlandung von

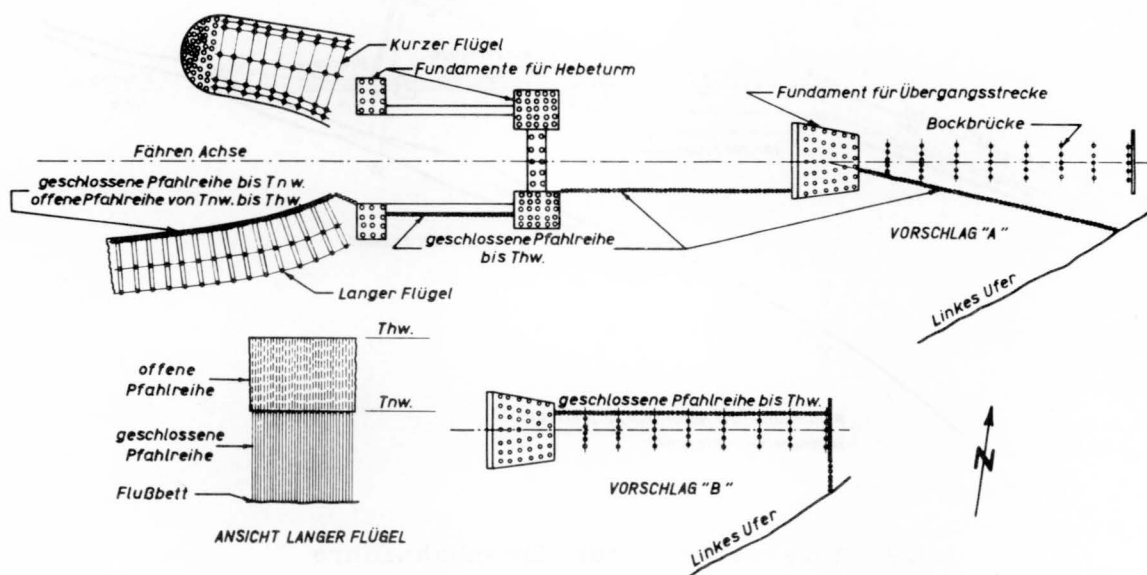


Abb.10 Ausführung der Eisenbahnfähre

Geschiebe in der Anlegegabel (oberes Ende der Fähre) kommen könne, und zwar hervorgerufen durch örtliche Kolke entlang der geschlossenen Pfahlwände und Stützen. Sobald aber diese Kolke ihre maximale Tiefe erreicht hätten, würde ebensoviel Geschiebmaterial aus dem Bereich des Bauwerkes abgeführt, wie von oberhalb diesem Bereich zugeführt würde. Es würde sich ein Gleichgewicht einstellen und dann keine Anlandungen in der Anlegegabel mehr erfolgen.

Die Steingröße zur Befestigung der Sohle an den Fundamenten und Stützen wurde entsprechend den ermittelten Höchstgeschwindigkeiten von 5,0 m/s mit einem Durchmesser von 54 cm oder einem Gewicht von 225 kg angegeben.

5.63 Ergebnisse in der Natur

Der Anleger für die Eisenbahnfähre wurde nach den Vorschlägen der Modellversuche im Frühjahr 1961 fertiggestellt (Abb.10). Flußprofilaufnahmen entlang der Längsachse des Bauwerkes vor der Errichtung und nach der Fertigstellung sind in Abb. 11 wiedergegeben. Ein Vergleich mit dem Modellprofil zeigt, daß die geschlossenen Pfahlwände auch in der Natur den erwünschten Erfolg brachten. Die unmittelbar vor dem Bau der Anlegestelle vorhandene Wassertiefe von 5,0 bis 7,3 wurde nicht nur erhalten sondern in den meisten Fällen um 0,6 bis 1,2 m vergrößert.

Weiterhin zeigt Abb.11 am oberen Ende auch eine leichte Auflandung wie im Modell. Die Flußpeilungen wurden etwa 4 Monate nach Fertigstellung des Bauwerkes und während des Hochwassers gemacht. Zu einer endgültigen Aussage über das Verhalten der Flußsohle müßte diese noch für längere Zeit beobachtet werden. Durch die Modellversuche konnten somit sehr verlässliche Vorhersagen gemacht werden und das Modell war eine wertvolle Hilfe zur Lösung des Problems.

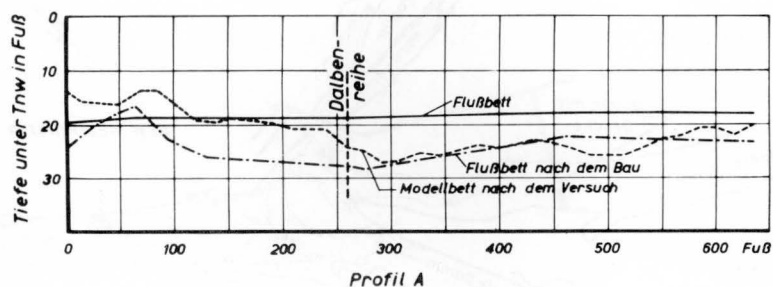


Abb.11 Längsprofile der Eisenbahnfähre (Flußbett)

5.7 Verbesserung der Schifffahrtsrinne des Fraser-Stromes durch Regulierung und Ausbau des Binnenhafens bei New Westminster (Versuch Nr. 7)

5.71 Planung am Modell

Das Fraser-Modell hatte neben seiner Aufgabe der Überprüfung der Auswirkung von Baumaßnahmen noch den Zweck, an ihm die Gesamtplanungen im Fraser-Estuarium zu studieren und mit seiner Hilfe Vorschläge für seinen Ausbau zu machen.

Eine solche Aufgabe war die Verbesserung der Schifffahrtsrinne des Fraser vor New Westminster und der Ausbau des Binnenhafens von New Westminster, dem als eisfreier Hafen mit einem jährlichen Umschlag von 2 Mio Tonnen für die Entwicklung des Landes eine besondere Bedeutung zukommt. Die jährlich notwendigen Baggerungen in der Schifffahrtsrinne betragen ca. 530 000 m³.

Das Modell ermöglichte es, alle an der Planung interessierten Kreise wie Hochsee- und Binnenschifffahrt, Wasserstraßenverwaltung, Hochwasserschutz, Hafenverwaltung, Industrie- und Handelskammer, Fischindustrie, Flößerei, Anlieger sowie Sportverbände und die Landesplanung am Modell über die Pläne zu unterrichten, das Interesse der einzelnen Gruppen zu wecken und aufeinander abzustimmen. Die Bemühungen führten zu einem Ausbauvorschlag, der neben den Vorteilen für die Gesamtbeteiligten zu einer Herabsetzung der Baggermengen um 85 % führte.

Abb.12 zeigt das Flußbett bei New Westminster nach dem Hochwasser von 1954 ohne Einbauten und Abb.13 den Einfluß der Einbauten im Modell. Danach konnte durch die Einbauten die geforderte Mindesttiefe von 9,0 m auf eine Breite von 182 m im wesentlichen erreicht werden.

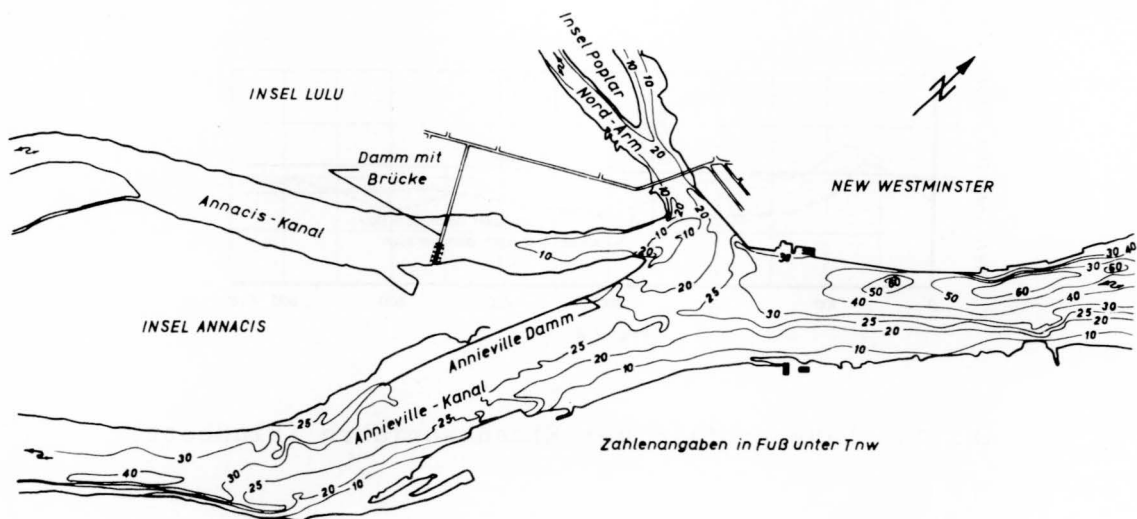


Abb.12 Flußbett im New Westminsters Hafen (1954 Natur)

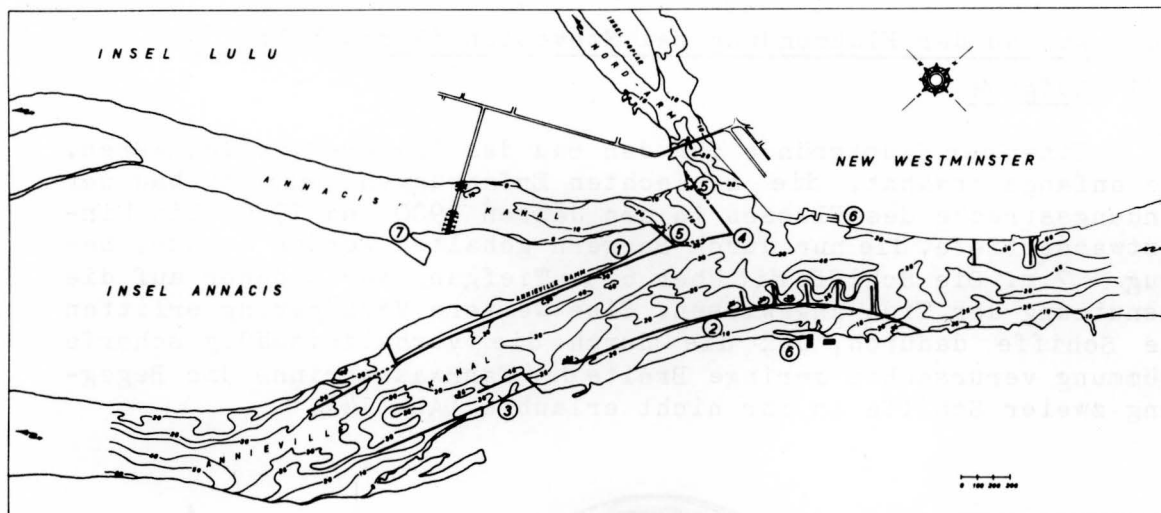


Abb.13 Flußbett im New Westminsters Hafen (Modell mit Einbauten)

Die Höhe aller Einbauten wurde dabei so gewählt, daß keine Wasserspiegelerhöhung bei HW eintritt. Gleichzeitig mit dem Fluß - ausbau wurden folgende Vorteile erzielt:

1. Die Schaffung zusätzlicher Liegeplätze am Annieville Leitdamm (1) und
2. eines neuen Hafenbeckens am linken Ufer, das nach dem Ausbaggern für Seeschiffe geeignet ist (2),
3. die Bereitstellung neuer Liegeplätze (3),
4. das V-förmige Leitwerk am Eingang zum Nordarm verhindert, daß die Abflußverhältnisse im "Nord-Arm" geändert werden (4),
5. Öffnungen in den Leitdämmen erhalten die Bewegungsfreiheit für Flöße und Binnenschiffe, sie verhindern eine Unterbrechung der Lachswanderung (5),
6. der Wert des Baulandes für Industierzwecke wurde durch Schaffung größerer Wassertiefen am Ufer erheblich erhöht (6),
7. für den Wassersport wurden geschützte Liegeplätze geschaffen (7).

(Die Anlagen sind auf Abb.13 durch vorstehende Zahlen angegeben).

5.72 Auswirkungen

Der Ausbau der Flußstrecke ist bereits in Angriff genommen. Ein Vergleich zwischen Modell und Natur lag aber noch nicht vor; trotzdem wird dieser Modellversuch in diesem Rahmen gebracht, um zu zeigen, wie vielen verschiedenen Belangen ein solcher Versuch dienen kann.

5.8 Ausbau der Flußmündung bei Steveston (Versuch Nr. 8)

5.81 Aufgabe

Einer der Hauptgründe für den Bau des Fraser-Modelles waren, wie anfangs erwähnt, die schlechten Erfahrungen beim Ausbau der Mündungsstrecke des Flusses in den Jahren 1900 und 1950. Die Mindestwassertiefe, die nur durch Baggern gehalten werden konnte, betrug 7 m. Die Schiffe mit über 6,5 m Tiefgang waren daher auf die Ausnutzung der Tide angewiesen. Eine weitere Verzögerung erlitten die Schiffe dadurch, daß die durch die verhältnismäßig scharfe Krümmung verursachte geringe Breite der Fahrwasserrinne die Begegnung zweier Schiffe in ihr nicht erlaubte (Abb.14).

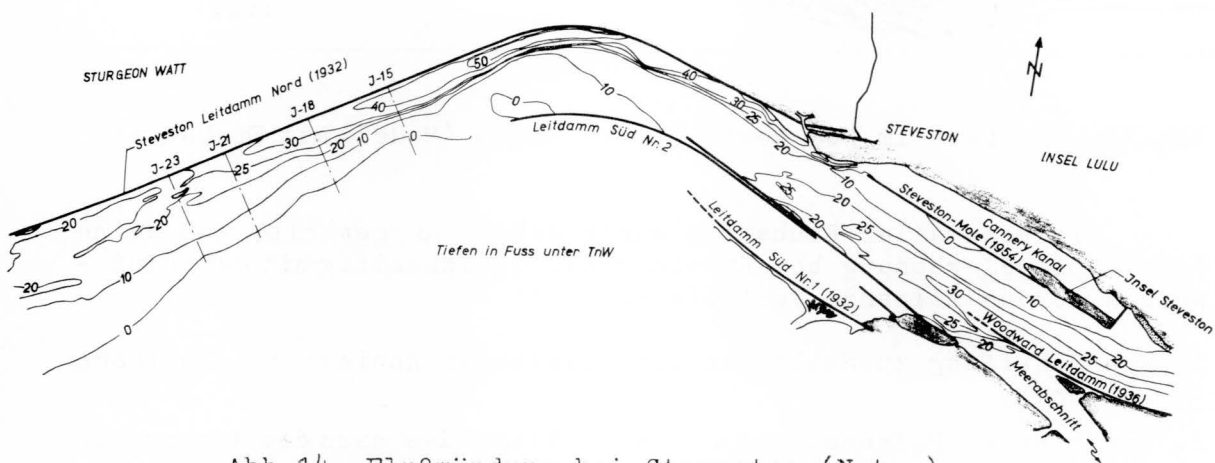


Abb.14 Flußmündung bei Steveston (Natur)

Eine Untersuchung der zukünftigen Entwicklung und der Bedürfnisse der internationalen Seeschifffahrt ergab, daß in Zukunft mit einem 13 000 t - Schiff gerechnet werden muß, das eine Länge von 141 m, eine Breite von 23,0 m und einen Tiefgang von 9,0 m aufweist. Deshalb wurde das Ausbauziel für die Frasermündung wie folgt festgelegt: Breite der Schifffahrtsrinne in der Mündung und in den Krümmungen 305 m, in den Übergangsstrecken 182 m, Wassertiefe 9,1 m, Krümmungsradius 3 050 bis 3 660 m (10 000 bis 12 000 Fuß).

5.82 Modellversuch

Mit Hilfe des Modells war es möglich, den nach den obigen Richtlinien ausgearbeiteten Entwurf auf seine Ausbaumöglichkeit hin zu überprüfen und eine unter den gegebenen Verhältnissen mögliche Lösung zu finden (Abb.15). Da die Wassertiefe in der Mündung und dadurch die Schifffahrt im Fluß 2/3 des Jahres von der Tide abhängig ist (in der übrigen Zeit wird die Wassertiefe durch das Oberwasser bestimmt), durfte die einströmende Tidewassermenge durch einen Verbau des Mündungsquerschnittes nicht verringert werden. Die Einbauten mußten ferner so gewählt werden, daß sie ein natürliches Ausweichen der Ebbeströmung in südwestlicher Richtung verhindern, und daß dabei die Möglichkeit nachträglich notwendiger Korrekturen an den Einbauten gegeben blieb. Um im Entwurf wirtschaftlich zu sein,

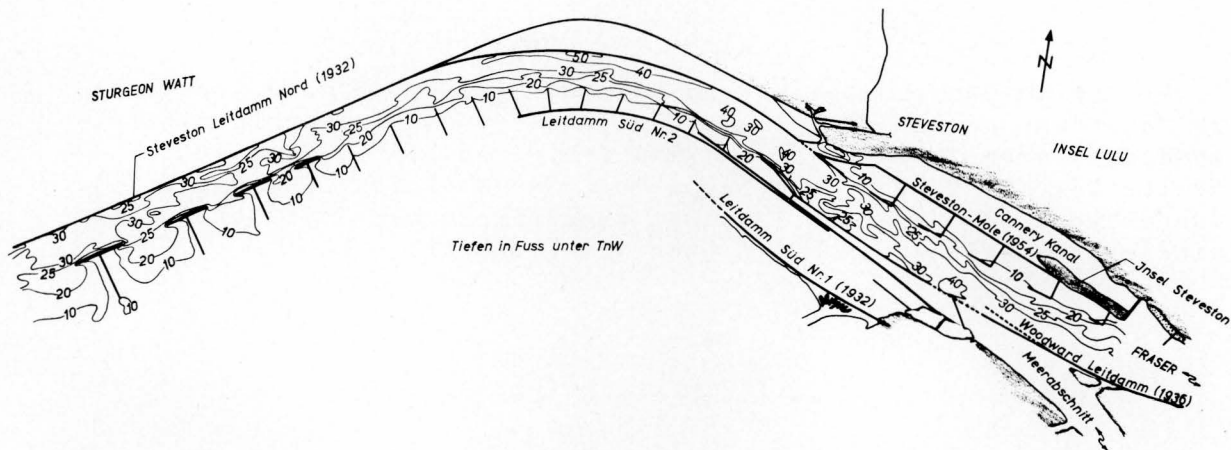


Abb.15 Flußmündung bei Steveston (Modell mit Einbauten)

mußten die in der Natur vorhandenen Einbauten nach Möglichkeit mit in die Lösung einbezogen werden. Dies galt insbesondere für den Steveston Leitdamm - Süd Nr.2 und Steveston Leitdamm-Nord. Außerdem dürfen die Wanderfische (Lachse) durch die Einbauten nicht behindert werden.

5.83 Ergebnisse

Abb.14 zeigt die Flußsohle in der Natur und Abb.15 die im Modell durch Einbautenerzielte Verbesserung. Zwar waren noch zusätzliche Versuche für den endgültigen Entwurf zu machen, für die aber die notwendigen Naturmessungen noch fehlten. Trotzdem kann gesagt werden, daß die bisherigen Modellversuche schon jetzt erfolgversprechende Ergebnisse gebracht haben. Mit Ausnahme des Abschnittes zwischen Querschnitt J-19 und J-23 wurde im Modell eine Mindestwassertiefe von 9,0 m bei einer Breite der Schiffahrtsrinne von 228 m in der Krümmung und zwischen 228 und 366 m oberhalb und unterhalb der Krümmung erreicht. In Zahlen ausgedrückt, würde der Ausbau der Mündung eine Reduzierung des Baggerns um mehr als 500 000 m³ pro Jahr bedeuten.

5.9 Autotunnel zur Insel Deas (Versuch Nr. 9)

5.91 Aufgabe

Der Tunnel sollte den Fraser zwischen New Westminster und der Flußmündung durchqueren. Da sich die Beteiligten über den Einfluß des Tunnels auf das Flußbett und die Schifffahrt nicht einigen konnten, wurde die Leitung des Fraser-Modells aufgefordert, in einem Gutachten zu der Planung Stellung zu nehmen.

5.92 Gutachten

Das Gutachten brachte das Ergebnis, daß der Tunnel in der geplanten Art keine nachteiligen Veränderungen des Flußbettes hervorrufen und keine Nachteile für die Schifffahrt haben werde, sofern die

Sicherung des Tunnels selbst und die der Flußufer durch entsprechende Maßnahmen gewährleistet sei. Der Tunnel wurde daraufhin mit folgenden äußeren Abmessungen zum Bau freigegeben: Breite 23,8 m, Höhe 7,16 m (Abb. 16), Gesamtlänge 720 m (Abb. 18), Tunnelkrone 12,75 m unter TnW. Das ergab für einen Teil des Tunnels eine maximale Höhe von 6,1 m über dem Flußbett.

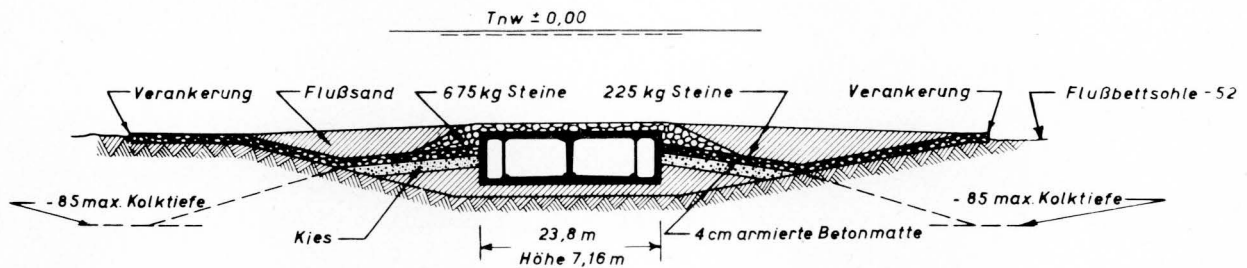


Abb.16 Insel Deas Tunnel-Querschnitt

Ein teilweise über das Flußbett herausragender Tunnel bei Flußdurchquerungen war bisher nicht bekannt. Besondere Verhältnisse lagen noch dadurch vor, daß das Geschiebe auf seinem Weg zur Flußmündung nicht behindert werden durfte, da sich sonst für die Schifffahrt hinderliche Anlandungen oberhalb des Tunnels bilden könnten. Ebenso wichtig erschien die Erhaltung der Wassermengenverteilung zwischen Haupt- und Nebenarm des Fraser unterhalb des Tunnels und die Sicherung des Leitdammes an der stromaufwärtigen Spitze der Insel Kirkland (Abb.17).



Abb.17 Luftbild im Abschnitt Insel Deas mit Tunnel-Achse

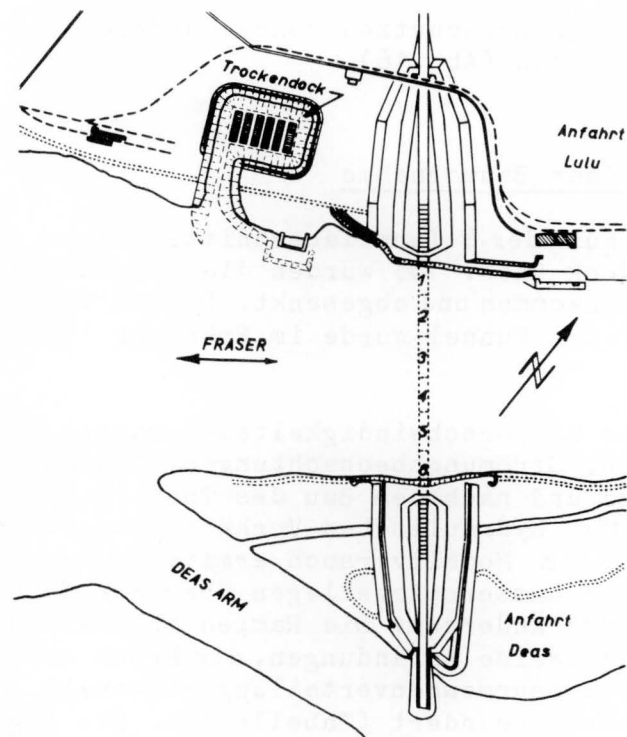


Abb.18 Tunnelelemente im Trockendock

Das Gleichgewicht in diesem Stromabschnitt mußte auf jeden Fall erhalten bleiben.

5.93 Modellversuche

Zur Nachprüfung der Aussagen des Gutachtens über Flußbettgestaltung, Wassermengenverteilung und Strömungs- und Geschwindigkeitsverhältnisse wurden Modellversuche im Fraser-Modell und in einer Glasrinne ausgeführt. In der Glasrinne wurde ein Ausschnitt des Tunnels im Maßstab 1:50 untersucht. Mit diesen Teil-Untersuchungen, zusammen mit den Untersuchungen am Fraser-Modell sollte weiterhin die hydraulisch und wirtschaftlich günstigste Länge der Uferbefestigung und des Tunnelschutzes gegen Unterspülung ermittelt werden.

Bei den Versuchen am Fraser-Modell wurde festgestellt, daß der Wechsel des Talweges auf die tiefer liegenden Mittelabschnitte des Tunnels beschränkt bleiben dürfte. Dadurch wird die Gefahr der Änderung der Wassermengenverteilung bei der Insel Kirkland gemindert.

Bei den Versuchen am Teilmodell wurden die notwendigen Steingrößen für die Steinschüttung und die Steinpackung über der Tunnelkrone sowie das Gefälle und die Länge der An- und Ablauframpen ermittelt. Dabei wurde festgestellt, daß die vorgesehene Steingröße von 0,50 m \emptyset (225 kg je Stück) über der Tunnelkrone nicht ausreichend war und auf 0,75 m \emptyset (675 kg) erhöht werden mußte. Durch eine

mögliche Kürzung des Tunnelschutzes konnte andererseits aber eine Einsparung erzielt werden (Abb.16).

5.94 Vergleich mit der Baumaßnahme

Nach Vorfertigung der 6 Tunnelabschnitte (Länge je Abschnitt 120 m) im Trockendock (Abb. 18) wurden die Abschnitte einzeln im Frühjahr 1958 eingeschwommen und abgesenkt. Danach wurde der Tunnel Schutz eingebracht. Der Tunnel wurde im Frühjahr 1959 dem Verkehr übergeben.

Naturmessungen wie Geschwindigkeitsmessungen, Wassermengenverteilungsmessungen, Strömungsbeobachtungen, Flußquer- und längsprofile, die während und nach dem Bau des Tunnels gemacht wurden, zeigten, daß sich die hydraulischen Verhältnisse in der Natur so einstellten, wie sie im Modellversuch ermittelt wurden. Für die Geschwindigkeiten und Wasserspiegellagen über der Tunnelkrone ergab sich keine meßbare Änderung. Die Rampen oberhalb und unterhalb der Krone zeigten teilweise Anlandungen, die Krone selbst war aber jederzeit frei. Die Wassermengenverteilung unterhalb des Tunnels hatte sich nicht meßbar geändert (Tabelle II). Die Lage des Talweges unterstrom des Tunnels hatte sich so ausgebildet, daß seine Verlängerung noch sicher innerhalb des Hauptarmes lag und damit die Hauptströmung im Hauptarm verblieb. Die armierte Betonmatte mit Steinschüttung und Steinpackung zeigte wie im Modell, am oberen und unteren Ende eine durch Kolkbildung verursachte Absenkung, erlitt jedoch keine konstruktive Veränderung und blieb als eine wirksame Einheit erhalten. Mit Ausnahme eines örtlichen Kolkes in der Mitte des Flußbettes unterhalb des Tunnels hatte sich das Flußbett nicht nachteilig verändert. Abb.19 zeigt das Flußbett vor dem Einbau und Abb.20 nach dem Einbau des Tunnels.

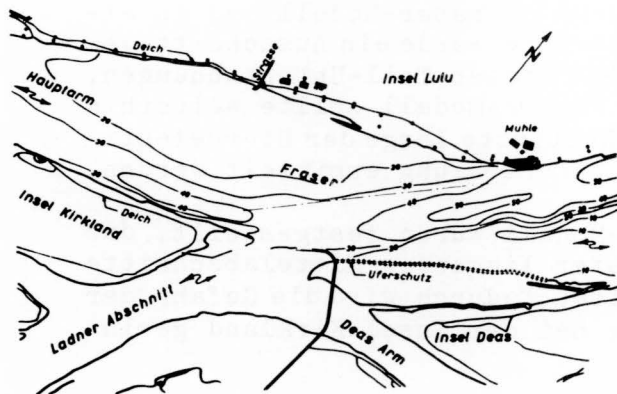


Abb.19 Flußbett vor dem Bau des Tunnels

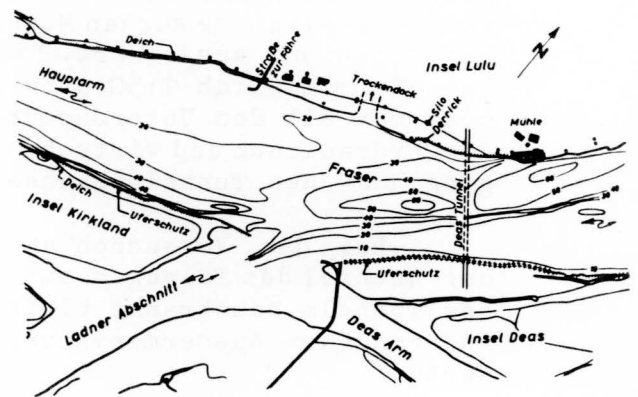


Abb.20 Flußbett nach dem Bau des Tunnels

In einer Denkschrift zum Bau des Tunnels war folgender Satz zu lesen. "Naturmessungen nach dem Bau des Tunnels haben gezeigt, daß gründlich durchgeführte Modellversuche einen zuverlässlichen Entwurf eines Tunnelschutzes ermöglichen". [2]

Tabelle II

Wassermengenverteilung in der Ladner Stromspaltung
in Modell und Natur (m^3/s)

Versuch Nr.	Oberwasser- menge	Querschnitt Nebenarm	Querschnitt Hauptarm	Gesamtwassermenge Haupt- u. Nebenarm	Bemerkungen
<u>Modell ohne Tunnel</u>					
F-19-T	5 410	1 535 (21,5%)	5 575 (78,5%)	7 110 (100%)	Mittl. Hochwasser (kurz vor Tnw)
F-32-T	19 800	3 280 (21,0%)	12 300 (79,0%)	15 580 (100%)	1000 jähriges Mittel (kurz vor Tnw)
<u>Modell mit Tunnel</u>					
F-26-T	5 410	1 625 (21,6%)	5 870 (78,4%)	7 435 (100%)	Mittl. Hochwasser (kurz vor Tnw)
F-30-T	19 800	3 950 (22,9%)	13 250 (77,1%)	17 200 (100%)	1000 jähriges Mittel (kurz vor Tnw)
<u>Natur mit Tunnel</u>					
Naturmessung I	5 410	1 690 (20,8%)	6 440 (79,2%)	8 330 (100%)	Mittl. Hochwasser (kurz vor Tnw)
Naturmessung II	5 410	1 635 (20,5%)	6 270 (79,5%)	7 905 (100%)	Mittl. Hochwasser (kurz vor Tnw)

5. Zusammenfassung und Schlußwort

Wie aus der Begründung für den Bau des Modells hervorging, wurde nach den Erfahrungen für den Ausbau des Frasers der Modellversuch für alle geplanten Maßnahmen als die einzige Möglichkeit angesehen, das Risiko für den Ausbau herabzusetzen. Die aufgrund der Modellversuche in der Natur bisher erzielten Ergebnisse haben dies bestätigt.

Der Verfasser weist darauf hin, daß die in diesem Bericht aufgezeigten Lösungen andere Lösungen nicht ausschließen. In den Fällen aber, in denen für den Modellversuch Annahmen gemacht wurden, die theoretisch noch nicht bewiesen sind, z.B. bei der Regulierung des Tideflusses oder, wenn ein in der Natur dreidimensionales Problem im Modell nur zweidimensional untersucht wurde, wie z.B. beim Teilmodell Tunnel, wurden solche Lösungen gewählt, die während des Baues oder nach entsprechender Beobachtungszeit in der Natur erwünschte oder notwendige Korrekturen zuließen.

Die Wirtschaftlichkeit des Modellversuchs läßt sich nur in den Fällen beweisen, wo sich Einsparungen durch Zahlen ausdrücken lassen. Sehr wichtig sind aber auch die beim Studium am Modell erworbenen Erkenntnisse über das gesamte Flußregime, da sie die Grundlage für weitere Planungen bilden. Der Vergleich zwischen Modell- und Naturmessungen hat gezeigt, daß es mit Hilfe des Modells möglich ist, die Lücken im Wissen um die Naturvorgänge in einem Fluß zu überbrücken, bis die Möglichkeit besteht, diese Vorgänge rechnerisch zu erfassen. Es bleibt aber fraglich, ob einmal die Versuche vollkommen durch die Rechnung ersetzt werden können. In diesem Sinne sei die Feststellung des XIX. Kongresses für Internationale Schifffahrt (London 1957) wiederholt: "Die Notwendigkeit von Modellversuchen für alle größeren Projekte ist generell so anerkannt, daß hierzu kein Kommentar mehr nötig ist".

6. Schrifttum

- 1 Handbook of Applied Hydraulics,
Calvin Victor Davis, Editor in Chief, Second Edition.
- 2 Deas Island Tunnel,
Reprinted from "The Journal of the Engineering Institute
of Canada", April issue 1959.