Abteilung I

Binnenwasserstraßen und Binnenhäfen

(für gewerbliche und Freizeitschiffahrt)

Thema 1

Technische, wirtschaftliche und Sicherheitsaspekte der Verbesserung der bestehenden Binnenschiffahrtssysteme: Verbesserung und Erneuerung mit Hauptgewicht auf Planungskonzepten und -verfahren, Gestaltungs- und Konstruktionstechniken für größere Leistungsfähigkeit, Kostenwirksamkeit und harmonische Anpassung an die Umwelt; aus der Vergangenheit gelernte Lektionen

Thema des Berichts

Technische und Sicherheitsaspekte für die Verbesserung bestehender Binnenschiffahrtssysteme

A. in bautechnischer Hinsicht aufgezeigt am Beispiel des Mittellandkanals

B. in schiffahrtstechnischer Hinsicht dargestellt anhand von Versuchsergebnissen über die Wirkung von Querströmungen auf das fahrende Motorschiff in Modell- und Großausführung

Berichterstatter:

A. Abteilungspräsident Dipl.-Ing. H. Meyer
Wasser- und Schiffahrtsdirektion Mitte, Hannover

B. Dr.-Ing. E. Schäle
Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e.V., Duisburg

Zusammenfassung

A. Gestaltungs- und Konstruktionsprinzipien beim Ausbau des Mittellandkanals für die Wasserstraßenklasse IV unter Verkehr

Der Mittellandkanal stellt eine bedeutende künstliche Wasserstraße dar. Sie führt von Westen nach Osten und verbindet das Rhein-Ruhr-Gebiet mit der Weser und der Elbe und zugleich mit dem Elbeseitenkanal und darüber hinaus mit den mittel- und ostdeutschen Was-

serstraßen. Die Weststrecke des Mittellandkanals zwischen Dortmund-Ems-Kanal und Hannover wurde vor 7 Jahrzehnten, die Oststrecke zwischen Hannover und der Elbe vor 4 1/2 Jahrzehnten in Betrieb genommen. Der Verkehr nahm nach Fertigstellung des gesamten Kanals ein unerwartet hohes Ausmaß an und erreichte bereits nach dreijähriger Betriebszeit mit einem Aufkommen von rd. 12 Mio Tonnen das 2 1/2fache des der Planung zugrunde gelegten Verkehrsvolumens, welches dann nach dem zweiten Weltkrieg erst 1960 wieder erreicht wurde.

Die stetig fortgeschrittene Umstrukturierung in der Binnenschiffahrt nach dem zweiten Weltkrieg vom Schleppzug zum Gütermotorschiff, die inzwischen als abgeschlossen angesehen werden kann, hat bewirkt, daß die schnelleren und größeren Schiffe mit ihrem eigenen Antrieb infolge des damit erheblich angewachsenen Kräftespiels im Gewässer enorme Schäden am Kanalbett verursacht haben, die im Zuge der üblichen Unterhaltung des Kanalbettes nicht beseitigt werden können. Aufgrund der notwendigen Grundinstandsetzung und der Bedeutung des Verkehrsweges zeigt sich ein Ausbau nach der europäischen Wasserstraßenklasse IV als angebracht und wirtschaftlich.

Der Ausbau einer vorhandenen Wasserstraße, der ohne Trockenlegung des zu erweiternden und zu vertiefenden Bettes und bei laufendem Schiffsverkehr vorzunehmen ist, unterscheidet sich zwangsläufig in den Gestaltungs- und Konstruktionsprinzipien von dem Neubau einer künstlichen Wasserstraße. Die Wahl der Form des Ausbauquerschnittes — hier kommen mehrere Ausbauformen infrage — wird bestimmt durch die angrenzende Landschaft mit ihrer Höhenlage und ihren Besiedlungen und Anlagen. Die Auskleidungen des Kanalbettes — durchlässige und dichte — müssen unter Wasser eingebaut werden. Das erfordert anders geartete Baumethoden und sogar teilweise auch die Verwendung anderer Baustoffe, als dies bei einem neuen, im Trockenen hergerichteten Kanalbett der Fall ist.

Eine besondere Rolle spielt der Neubau von Querbauwerken. Über dem Fahrwasser sind Brücken neu zu errichten, unter dem Kanalbett sind im Zuge der Erweiterung und Vertiefung fast sämtliche Düker und Unterführungen von Verkehrswegen neu anzulegen.

Brücken werden vorwiegend als Fachwerkbrücken, als Stabbogenbrücken oder aber in Einschnittstrecken als Vollwandbrücken konzipiert. Die Überbauten werden in der Regel auf einer der zukünftigen Brückenrampen an Land hergestellt und auf einer Verschubbahn und mit Hilfe eines Einschwimmschiffes in wenigen Stunden über den Kanal gezogen und auf den neuen Widerlagern abgesetzt. Beim Bau kleiner bis mittelgroßer Düker kommen 2 Methoden zur Anwendung, und zwar die Einschwimmethode und die Vortriebmethode. Bei der Einschwimmethode wird ein an Land vorgefertigtes Dükerrohr schwimmend zur Einbaustelle gebracht und dort in die vorbereitete Querrinne abgesenkt und hernach das Kanalbett über dem Dükerrohr hergestellt. Bei der Vortriebmethode wird das Dükerrohr unter dem Kanalbett hindurchgepreßt. Große Unterführungsbauwerke, die sowohl der Unterführung von Wasserläufen als auch von Verkehrswegen dienen können, sind beim Ausbau des Mittellandkanals bisher in trockenen Baugruben seitlich des Kanals erstellt worden und nach Flutung der Baugruben und Durchstich zum Kanal hin schwimmend in den Kanal transportiert und in die vorbereitete Querrinne abgesenkt worden. Auf diese Weise sind Betonbauwerke mit einem Gewicht von bis zu 10 000 t zum Einbau gelangt.

Zum Stand der Bauarbeiten, zur Bauzeit und zu den Baukosten wird berichtet, daß das zu etwa 60 % fertiggestellte Bauvorhaben voraussichtlich um das Jahr 2000 zum Abschluß kommen wird und die Baukosten etwa 3 Milliarden DM betragen werden.

B. Untersuchung über die Wirkung erhöhter Querströmung neben Wehr- und Einlaufbauwerken auf das fahrende Binnenschiff — Ein gekürzter Beitrag zur Erarbeitung neuer Richtlinien für Auslegung und Betrieb

Die mit einer großen Zahl von Varianten ausgeführten Experimente im Natur- und Modellmaßstab ließen deutlich erkennen, daß es die Fahr- und Manövriereigenschaften heutiger Binnenmotorschiffe und Schubverbände erlauben, die Wassergeschwindigkeiten in Einlaufbauwerken an schiffbaren Strömen und Flüssen, ja selbst auch in sog. Stillwasserabschnitten erheblich höher anzusetzen, als vor Jahrzehnten angenommen.

Im diesbezüglichen Arbeitsausschuß eines nationalen Fachverbandes hatte der Bearbeiter dieser Forschungsarbeit folgende Richtwerte in Anlehnung an die Klasseneinteilung der europäischen Wasserstraßen und deren Verkehrsaufkommen am Einleitungsbauwerk vorgeschlagen:

Rhein und ähnliche Ströme:	2,0 m/s
Flüsse der Klasse V:	1,5 m/s
Stillwasserkanäle der Klasse IV:	0,6 m/s

Danach sollten Baulänge, Querschnitt und Energiewandler konstruktiv gestaltet werden.

A. Gestaltungs- und Konstruktionsprinzipien beim Ausbau des Mittellandkanals für die Wasserstraßenklasse IV unter Verkehr

von Abteilungspräsident Dipl.-Ing. H. Meyer
Wasser- und Schiffahrtsdirektion Mitte, Hannover

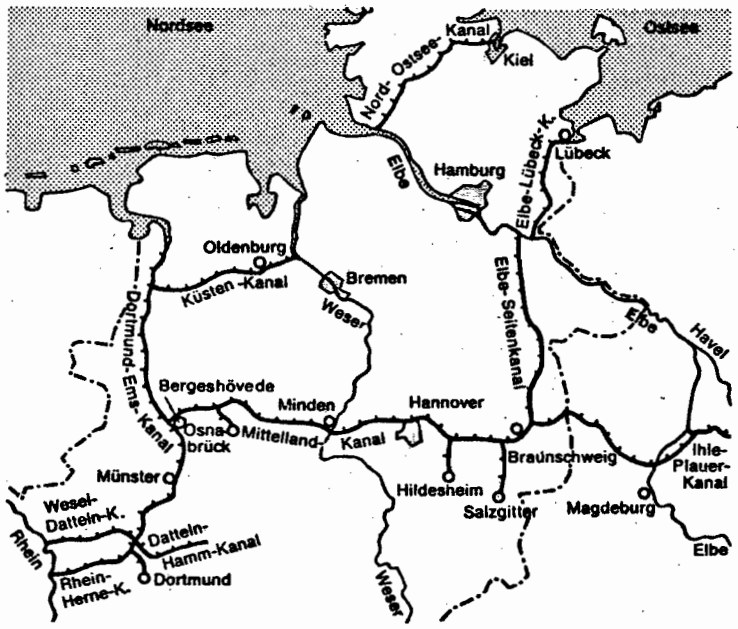
Inhalt

1.	Der Verkehrsweg Mittellandkanal und sein baulicher Zustand	4
2.	Umfang des Ausbauvorhabens, Einflüsse auf die Gestaltung	5
3.	Der Ausbau des Kanalbettes	6
3.1	Kanalquerschnitte	6
3.2	Die Auskleidung des erweiterten Kanalbettes	8
4.	Neubau der Brücken	11
5.	Querbauwerke unterhalb des Kanalbettes	12
5.1	Einschwimmrohrdüker	13
5.2	Vortriebdüker	14
5.3	Große Unterführungsbauwerke	16
6.	Stand der Bauarbeiten, Bauzeit und Baukosten	19

1. Der Verkehrsweg Mittellandkanal und sein baulicher Zustand

Der Wert einer vom Westen nach Osten führenden künstlichen Wasserstraße als Verbindung des Rheines und des Ruhrgebietes mit der Weser und der Elbe und darüber hinaus mit den mittel- und ostdeutschen Wasserstraßen wurde bereits Mitte des vorigen Jahrhunderts erkannt. Aber erst Anfang dieses Jahrhunderts wurde dies Vorhaben realisiert. Der Mittellandkanal zwischen Dortmund-Ems-Kanal und Hannover wurde 1916 fertiggestellt. Die Fortsetzung des Kanalbaues bis zur Elbe war erst später — nach Beendigung des ersten Weltkrieges und nach Überwindung der wirtschaftlich schwierigen Folgejahre — möglich. Als im Jahre 1938 der Anschluß an die Elbe hergestellt war, entwickelte sich ein alle Erwartungen übertreffender Schiffsverkehr. Das der Planung zugrunde gelegte Verkehrsaufkommen von 4,5 Millionen Gütertonnen wurde bereits im gleichen Jahr erreicht. Drei Jahre später war der Verkehr mit rd. 12 Millionen Gütertonnen auf das 2 1/2fache angestiegen. Dieses Verkehrsvolumen wurde dann nach dem mit dem zweiten Weltkrieg in Zusammenhang stehenden völligen Rückgang des Verkehrs im Jahre 1960 wieder erreicht, obwohl die neu geschaffene Grenze zur DDR mit allen Folgeerscheinungen ein erhebliches Hindernis für den Verkehr in Richtung Elbe und Berlin bildete.

Abb. 1: Nordwestdeutsches Wasserstraßennetz



Inzwischen hat durch den Elbe-Seitenkanal als von der Wasserführung der Elbe unabhängige Verbindung nach Hamburg der Mittellandkanal noch an Wert gewonnen.

Seit Jahren bewegt sich der Gesamtverkehr auf dem Mittellandkanal gleichbleibend um etwa 16 bis 17 Millionen Gütertonnen, davon entfallen etwa 12 Millionen Tonnen auf den Gebietsverkehr, d.h. auf den Verkehr der Mittellandkanalhäfen mit Wasserstraßengebieten, etwa 4 bis 5 Millionen Tonnen entfallen auf den Durchgangsverkehr.

Damit hat der Mittellandkanal, der in seinem jetzigen Zustand der europäischen Wasserstraßenklasse III zuzuordnen ist, wesentliche Bedeutung sowohl für den Austausch von Massengütern im engeren nordwestdeutschen Bereich als auch als Wasserstraße für den Durchgangsverkehr.

Während bei der Planung Anfang dieses Jahrhunderts das Bett des Mittellandkanals für langsam fahrende Schleppzüge konzipiert war, wird er nunmehr ausschließlich von weit schneller fahrenden und mit eigenem Antrieb versehenen größeren Gütermotorschiffen beansprucht. Gerade diese Wandlung in der Schiffahrt hat zu erheblichen Steigerungen der das Kanalbett angreifenden Kräfte geführt. Die Folge sind starke Zerstörungserscheinungen insbesondere im Böschungsbereich, denen mit normalen Unterhaltungsmitteln nicht mehr begegnet werden kann.

Aber nicht nur das Kanalbett weist starke Schäden auf, sondern auch Brücken, Düker und Kanalunterführungen, soweit in der Bauzeit des Kanals vor etwa 70 Jahren errichtet, sind teilweise von erheblichen Schäden betroffen.

2. Umfang des Ausbauvorhabens, Einflüsse auf die Gestaltung

Die Schäden am Kanalbett und an vielen Bauwerken allein zwingen zu einer Grundinstandsetzung. Die Bedeutung des Verkehrsweges im Gebiets- wie im Durchgangsverkehr erfordert eine Anpassung an das westdeutsche Wasserstraßennetz, welches nach der europäischen Wasserstraßenklasse IV ausgebaut ist bzw. wird, und an den nach Wasserstraßenklasse IV konzipierten Elbe-Seitenkanal. Unter Beachtung beider Erfordernisse wird nunmehr der Mittellandkanal mit seinen Stichkanälen auf einer Länge von rd. 315 km für das 1 350-t-Gütermotorschiff ausgebaut. Er muß verbreitert und vertieft werden. Entsprechend der Landschaftsstruktur wird das Kanalbett verschiedene Formen erhalten, worauf im folgenden noch einzugehen ist. Wesentlichen Einfluß auf die Profilgestaltung hat aber auch die Forderung, mit zweckmäßigen technischen Lösungen und Arten der Bauausführung nach den Grundsätzen der Wirtschaftlichkeit dafür Sorge zu tragen, daß die Aufrechterhaltung des Schiffsverkehrs während des Ausbaus grundsätzlich gewährleistet werden kann. Lediglich kurzfristige Sperrungen können in Kauf genommen werden. Je nachdem ob der Kanal in Einschnittstrekken liegt oder ob er in Dammkörpern und Überführungsbauwerken eingebettet ist, ob er Täler und Verkehrswege quert oder durch Städte führt, wo an das Kanalbett unmittelbar Besiedlungen angrenzen, oder ob er sich durch eine freie unbebaute Landschaft zieht, werden die Gestaltungs- und Konstruktionselemente und damit in Zusammenhang die Bauausführung sehr unterschiedlich sein. Sie dürften sich auch ganz generell von den Konstruktionsprinzipien unterscheiden, die bei einem Neubau einer künstlichen Wasserstraße, wie beispielsweise dem Main-Donau-Kanal, zur Anwendung gelangen.

Den erweiterten und damit veränderten Kanalquerschnitten sind die über den Kanal hinwegführenden Straßen- und Eisenbahnbrücken und die unter dem Kanalbett liegenden Straßenunterführungsbauwerke und Düker, mit denen kleinere, den Kanal kreuzende Wasserläufe unterführt werden, anzupassen. Die Brücken erhalten im allgemeinen nicht nur eine größere Spannweite, sie sind in den meisten Fällen auch höher zu legen, um für die Schiffahrt eine Mindestdurchfahrtshöhe von 5,25 m zu erhalten. Darüber hinaus werden in zahlreichen Fällen die neuen Brücken unter Kostenbeteiligung der zuständigen Straßenbauverwaltungen breiter gebaut, um sie dem gewachsenen Landverkehr anzupassen. Nur in einzelnen Fällen kann der vorhandene Brückenüberbau weiterhin verwandt werden.

Für die Düker genügt nur in wenigen Fällen eine Verlängerung. Meist wird infolge der erforderlichen Tieferlegung ein Neubau unumgänglich. Dies gilt auch für Unterführungsbauwerke von Verkehrswegen.

An Brücken sind 268 Straßen- und Wegebrücken und 40 Eisenbahnbrücken neu bzw. in einzelnen Fällen umzubauen, für 192 Düker und Unterführungen werden Ersatzbauwerke erforderlich bzw. wird in einzelnen Fällen eine Anpassung durch Verlängerung notwendig. Beim Neubau der Düker ist verschiedentlich die Zusammenfassung mehrerer alter Düker in einem neuen Bauwerk möglich.

3. Der Ausbau des Kanalbettes

3.1 Kanalquerschnitte

Der derzeitige Kanalquerschnitt ist mit einer Größe von etwa 80 m² zu erweitern auf eine solche von 167—168 m². Die Größe des erweiterten Querschnittes ergibt sich aus der Forderung, daß der Kanalquerschnitt gegenüber dem Querschnitt des voll eingetauchten Gütermotorschiffes mit 9,50 m Breite und 2,50 m Eintauchtiefe das 7fache betragen soll. Naturversuche am Nordostseekanal und am Main-Donau-Kanal bei Bamberg sowie Modellversuche bei verschiedenen Versuchsanstalten haben ergeben, daß bei Schiffsgeschwindigkeiten von max. 12 km/h das Verhältnis n = 7 in nautischer und wirtschaftlicher Hinsicht optimal ist. Die Verhältniszahl n = 7 wird damit als für die Größe des erweiterten Kanalquerschnittes maßgebend angenommen.

Für den Ausbau des Mittellandkanals sind drei Regelquerschnittsformen entwickelt worden.

Der Regelquerschnitt T (Trapezprofil) entspricht weitgehend dem Muldenprofil natürlicher Wasserläufe und stimmt im großen und ganzen mit der Querschnittsgestaltung neuer Kanäle wie Elbe-Seitenkanal und Main-Donau-Kanal überein. Seine Anwendung wird bevorzugt. Grundsätzlich wird der Regelquerschnitt T dort gewählt, wo es die umgebende Landschaft zuläßt. Dies ist dann der Fall, wenn die Geländehöhe nur unwesentlich von der Höhenlage des Kanalwasserspiegels abweicht und Besiedlungen oder Industrieanlagen nicht hinderlich sind. Dies Kanalprofil fügt sich am natürlichsten in die Landschaft ein und läßt eine Begrünung der Böschungen oberhalb der Wasserlinie zu. Gerade diese Möglichkeit wird in wachsendem Maße in ökologischer Hinsicht gefordert.

Demgegenüber gibt es viele Kanalstrecken, in denen die Anwendung des Regelquerschnittes T aus technischen oder aber auch aus wirtschaftlichen Gründen nicht sinnvoll ist. Hierunter fallen Dammstrecken, Bereiche, in welchen Siedlungen und industrielle Betriebe bis an den Kanal heranreichen oder aber auch tiefgelegene Einschnittstrecken.

In Dammstrecken kommt im allgemeinen der Regelquerschnitt R (Spundwandbauweise zweiseitig) oder aber auch Regelquerschnitt RT (Spundwandbauweise einseitig) zur Ausführung. Aus technischen Gründen wird es für notwendig erachtet, das erweiterte Kanalbett im vorhandenen konsolidierten Kanaldamm unterzubringen. Damit bleibt das Kanalbett von verschiedenartigen Setzungen, die sich im Zuge der notwendigen Dammverbreiterung ergeben, unberührt. Die ein- bzw. zweiseitigen Dammverstärkungen setzen sich wegen ihres größeren Auflockerungsfaktors in den ersten Jahren ihrer Anschüttung stärker als der alte Kanaldamm, dessen Setzungen im Laufe von 50—70 Jahren bereits abgeklungen sind. Ein

Regelquerschnitte

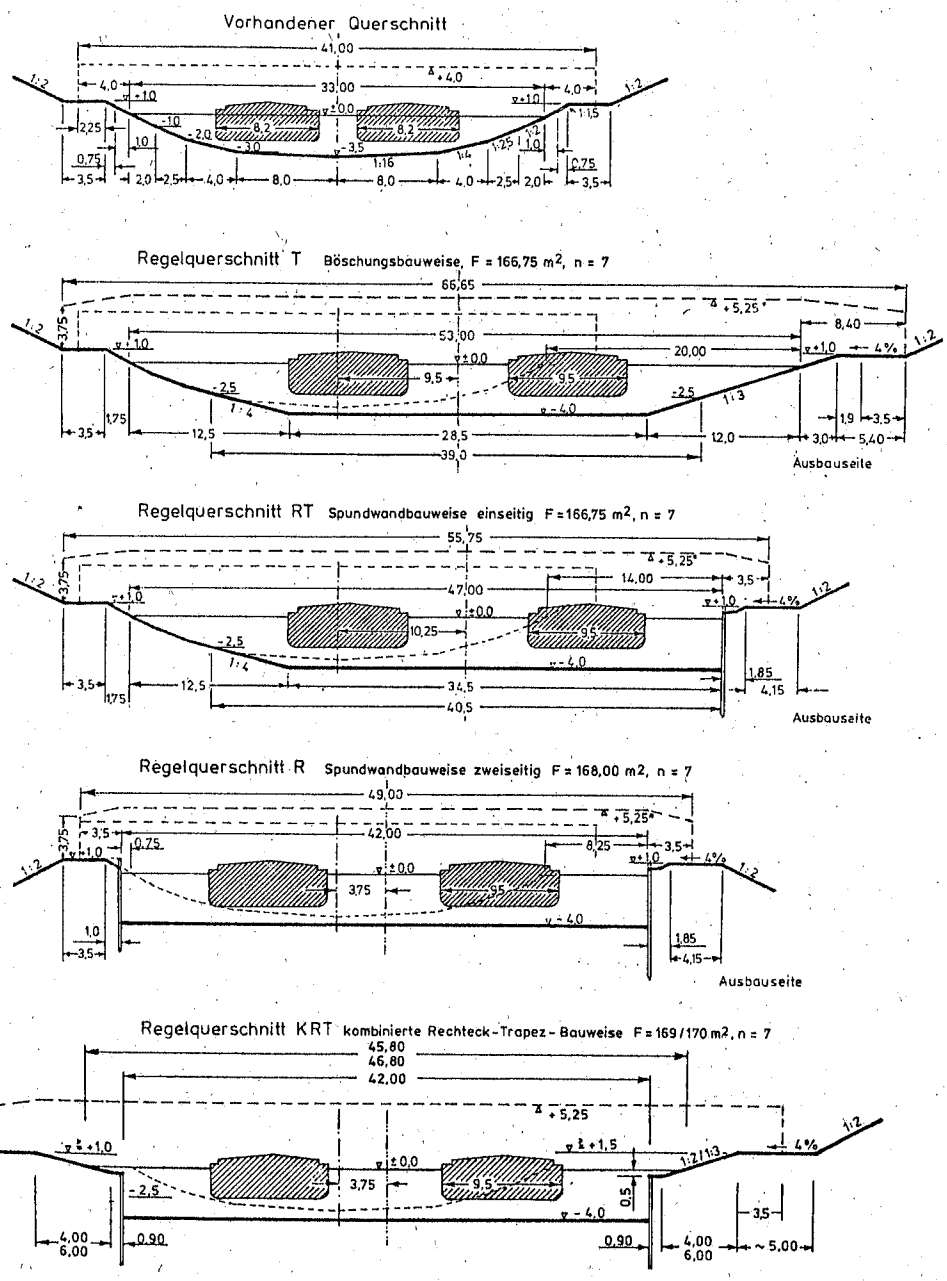


Abb. 2: Regelquerschnitte

teilweise im alten Damm und teilweise in der Anschüttung konzipiertes Kanalprofil würde die verschiedenartigen Setzungen im Sohlbereich aufnehmen müssen, und es würde zu Rissen in der notwendigen Kanalbettdichtung kommen.

Ein weiterer Faktor für die Profilwahl ist die Tatsache, daß während des Ausbaues und damit der Vertiefung und der Verbreiterung des Kanalprofils die alte vorhandene Dichtung in Dammstrecken entfernt werden muß und es zwangsläufig zu Durchfeuchtungen des gesamten Dammkörpers kommt, wobei auch der Grundwasserspiegel im angrenzenden Gelände angehoben werden kann. Hier gilt es, die neue Dichtung so einfach wie möglich zu gestalten und sie in ihrer Flächengröße möglichst klein zu halten. Beim Rechteckprofil bilden Spundwände, die bereits vor Inangriffnahme der Baggerarbeiten geschlagen werden, bereits fertige Seitendichtungen. Nach Beseitigung der Baggermassen zur Herstellung des neuen Profiles bedarf es dann nur noch der Einbringung einer neuen waagerechten Dichtung unter Wasser, was mit den zur Verfügung stehenden Methoden, auf die noch eingegangen wird, relativ einfach ist.

In städtischen Bereichen reichen Besiedlungen oder auch industrielle Anlagen in der Regel derart weit an die Kanalböschung heran, daß eine Erweiterungsmöglichkeit nur noch beschränkt gegeben ist. Es bietet sich hier aus technischen Gründen die Anwendung des Regelquerschnittes R an. Aber selbst dann, wenn hier und dort Erweiterungsmöglichkeiten gegeben sind, wird aus wirtschaftlichen und ökologischen Gründen auf eine wesentliche Erweiterung verzichtet; die Kosten für erforderlichen Grunderwerb dürften sich hier enorm hoch belaufen, und es würden wertvolle Grünzonen im Stadtgebiet zerstört werden.

In tiefen Einschnittstrecken zieht eine Erweiterung des Kanalprofils einen erheblichen Bodenabtrag über der Wasserlinie nach sich. Hier ist abzuwägen, ob dem Rechteckprofil R mit vermindertem oder völligem Fortfall von Bodenabtrag über der Wasserlinie der Vorzug zu geben ist, was in der Regel der Fall ist. Es bereitet Schwierigkeiten und ist unwirtschaftlich, größere Bodenmengen in der weiteren Kanalumgebung unterzubringen.

Inzwischen ist noch ein weiterer Regelquerschnitt entwickelt worden, das sog. KRT-Profil. Es stellt eine Kombination zwischen Rechteck- und Trapezprofil dar in der Art, daß das Rechteckprofil etwa 1/2 m unter der Wasserspiegellinie endet und sich weiter aufwärts Böschungen anschließen. Dies Profil hat den Vorteil, daß es gegenüber dem Trapezprofil flächensparend ist, im Wasserspiegelbereich aber die Vorteile desselben bietet. Während der Rechteckquerschnitt die Möglichkeit des Hinüberschwimmens von Tieren ausschließt und für diese zu einer sog. Falle werden kann und auch für den schwimmenden Menschen besondere Vorrichtungen zum Aussteigen erforderlich sind, bietet der abgewandelte Querschnitt im Wasserspiegelbereich ebenso wie der Trapezquerschnitt Tieren und Menschen Ausstiegsmöglichkeit. Weiter kann sich im Wasserspiegelbereich bei entsprechender Gestaltung der Böschungen Bewuchs ansiedeln. Nachteile für die Schiffahrt haben sich bisher nicht gezeigt.

3.2 Die Auskleidung des erweiterten Kanalbettes

Die Art der Auskleidung des Kanalbettes wird durch mehrere Fakten, in erster Linie durch die Höhenlage des Kanalwasserspiegels gegenüber dem angrenzenden Gelände und damit gegenüber dem natürlichen Grundwasserspiegel und durch die Struktur des Untergrundes bestimmt. Im allgemeinen werden Kanalstrecken mit einem gegenüber dem Grundwasserspiegel tiefer liegenden Wasserspiegel mit durchlässigen, bis zur Kanalsohle herabreichenden Böschungsbefestigungen versehen, wobei die Kanalsohle nicht besonders befestigt wird. Hingegen werden überall dort, wo der Wasserspiegel des Kanals höher liegt als das angrenzende

Gelände bzw. der natürliche Grundwasserspiegel, neben einer Abdichtung der Kanalsohle undurchlässige Böschungsbefestigungen eingebaut, sofern nicht eine Spundwand die Funktion der seitlichen Dichtung übernimmt. Das gesamte Kanalbett wird also abgedichtet.

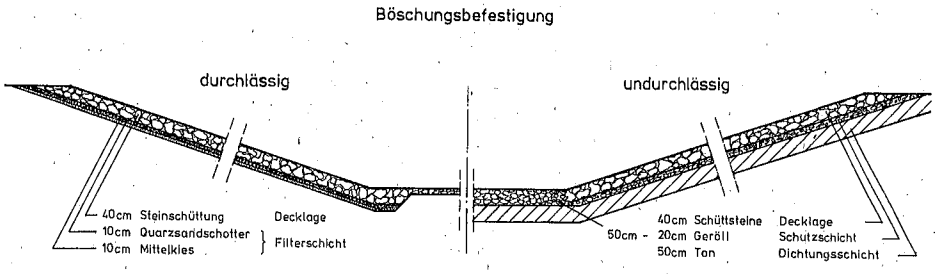


Abb. 3: Durchlässige und undurchlässige Böschungsbefestigung

Bestandteile einer durchlässigen Böschungsbefestigung sind Filterschicht und Decklage. Bestandteile einer undurchlässigen Böschungsbefestigung sind Dichtungsschicht, Schutzschicht und Decklage. Diese Elemente sind unter Wasser einzubauen, sie müssen voll wirksam sein und sollen nach Möglichkeit nur einer geringen Unterhaltung bedürfen. Diese Forderung zu erfüllen, ist naturgemäß schwierig. Die herkömmlichen Bauweisen, wie sie insbesondere im Trockenbau angewandt werden, sind beim Bauen unter Wasser entweder technisch nicht oder nur bedingt durchführbar, oder aber ihre Anwendung scheitert an der hier gegebenen Unwirtschaftlichkeit. So überrascht es kaum, daß beim Ausbau des Mittellandkanals laufend versucht wird, mit neuen Baumethoden und Baustoffen technisch befriedigende Lösungen, die gleichzeitig wirtschaftlich sein sollen, zu entwickeln.

Das Problem des Einbaues wirksamer durchlässiger Böschungsbefestigungen kann als gelöst angesehen werden. Während die Filterschicht im Trockenen auch heute noch häufig als gestufter Filter aus Sand, Kies und Splitt hergestellt wird, werden bereits seit Jahren im Mittellandkanalbereich beim

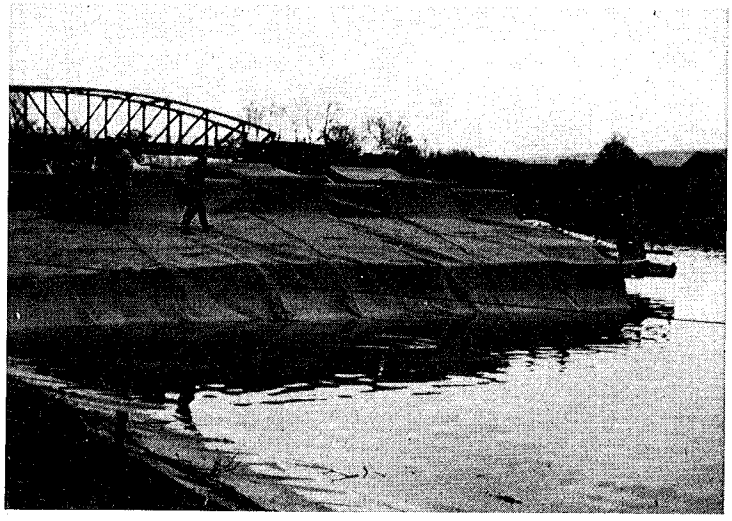


Bild 1: Einbau von Filtervliesmatten

Unterwassereinbau ausschließlich Filtervliesmatten eingebaut, die im Unterwasserbereich auf den Böschungen abgerollt werden können und voll die Funktion eines Filters übernehmen. Als Decklage kommen nach wie vor Schüttsteine, aber auch Betonformsteine infrage. In jedem Fall ist eine Verbundwirkung zwischen den einzelnen Steinen anzustreben. Dies ist bei Schüttsteinen mit einem Bitumenverguß oder auch Mörtelverguß möglich. Es sind inzwischen Betonformsteine entwickelt worden, deren Einbau ebenfalls unter Wasser durchführbar ist und deren Konstruktion einen gegenseitigen gelenkigen Verbund ermöglicht. Ein wesentlicher Vorteil dieses Systems liegt darin, daß eine hervorragende Begrünung der Böschungen im Wasserspiegelschwankungsbereich und darüber möglich ist, was den in der heutigen Zeit gestellten Forderungen an Landschaftsgestaltung sehr entgegen kommt.

Bild 2: Begrünte Böschung — Böschungsbefestigung aus Beton-Verbundsteinen (Terrafix-Deckwerksystem)

Auch undurchlässige Böschungsbefestigungen und Sohlendichtungen werden am Mittellandkanal mit Erfolg unter Wasser eingebaut. Hier haben bereits verschiedene Verfahren Anwendung gefunden. Um die Jahrhundertwende wurde bei den im Trockenen hergestellten Kanalstrecken fast ausschließlich Ton als Dichtungsschicht in 40 bis 50 cm Dicke eingebaut und mit einer etwa ebenso starken Schutzschicht und mit einer Steinabdeckung auf den Böschungen versehen. Die hervorragende Bewährung dieses Systems hat dazu geführt, Methoden zu erarbeiten, nach denen Ton auch unter Wasser eingebaut werden kann. Mehrere längere Dammstrecken im Mittellandkanal sind inzwischen im Zuge des Ausbaues mit einer neuen Tondichtung versehen worden.

Der Toneinbau erfolgt von U-förmig angeordneten Spezialpontons aus (Bild 3), die mittels ausfahrbarer Stempel auf dem Untergrund abgestützt werden, wobei die beiden Schenkel eine fahrbare Arbeitsbühne mit dem Einbaugerät aufnehmen. Das Einbaugerät ist innerhalb der Arbeitsbühne beweglich. Auf diese Weise kann der ganze Bereich zwischen den Schenkeln des Spezialpontons systematisch bestrichen werden. Das Einbaugerät selbst besteht aus einem Fülltrichter, in den der einzubauende unverarbeitete Ton geschüttet wird. Dieser wird dann als Preßton mittels einer Förderschnecke durch ein bis zum Einbauort reichendes Rohr mit Verteilerschuh gepreßt. Zwei Lagen von je 10 cm bis 15 cm Dicke ergeben sich eine nahtlose

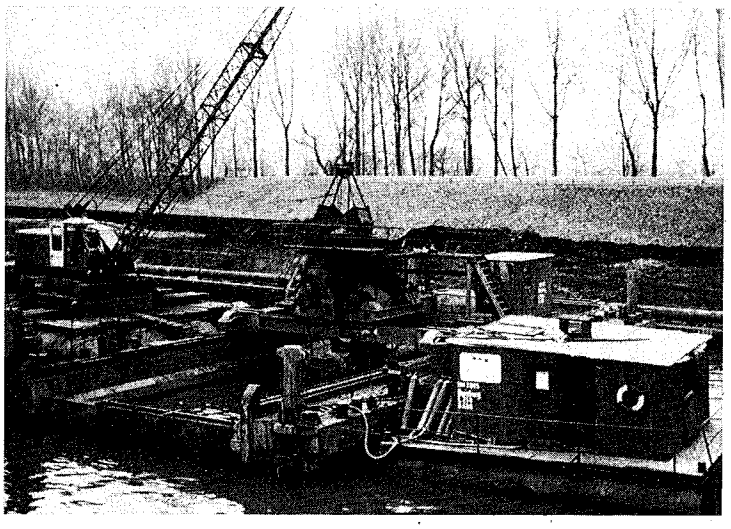


Bild 3: Toneinbaugerät

wirksame Dichtungsschicht, auf die dann im Bereich der Sohle eine mehrere Dezimeter dicke Geröllschutzschicht bzw. im Bereich der Böschung zusätzlich noch Schüttsteine aufgebracht werden können.

Neben dem Naturprodukt Ton finden aber auch Dichtungen aus Asphalt oder Beton Anwendung. Nach allen bisherigen Erfahrungen erscheint der Einbau von Ton oder aber auch der Einbau von Mischungen mit hydraulischem Binder, die Ton als Grundstoff enthalten, am praktikabelsten. Dies schon allein auch deswegen, weil Ton nachgiebig (plastisch) ist und sich Verformungen im Dammkörper anpaßt.

4. Neubau der Brücken

Die Konstruktionsmerkmale der neuen Brücken werden durch folgende Bedingungen bestimmt:

1. Stützenfreiheit im gesamten Lichtraumprofil,

2. Beschränkte Bauhöhe bei allen Brückenüberbauten, soweit deren Anschluß an die Verkehrswege Brückenrampen erforderlich macht, und

3. Montage ohne wesentliche Behinderung der Schiffahrt.

Diese Bedingungen haben dazu geführt, daß bisher vorwiegend Überbauten aus Stahl verwendet worden sind, und zwar als Fachwerkbrücken, als Stabbogenbrücken und — in Einschnittstrecken — als Vollwandträgerbrücken.

Für den Ausbau der alten und den Einbau der neuen Brücken bietet sich das gleiche Montageverfahren an. Mittels eines Montageschiffes werden die alten von ihren Auflagern zuvor abgehobenen Brücken über eine zu diesem Zweck angelegte Verschubbahn auf eine Brückenrampe gefahren und dort zur Demontage abgesetzt. Nach dem gleichen Verfahren werden die

neuen Überbauten von ihrer Montagerampe, einer der späteren Brückenrampen, aus eingebaut.

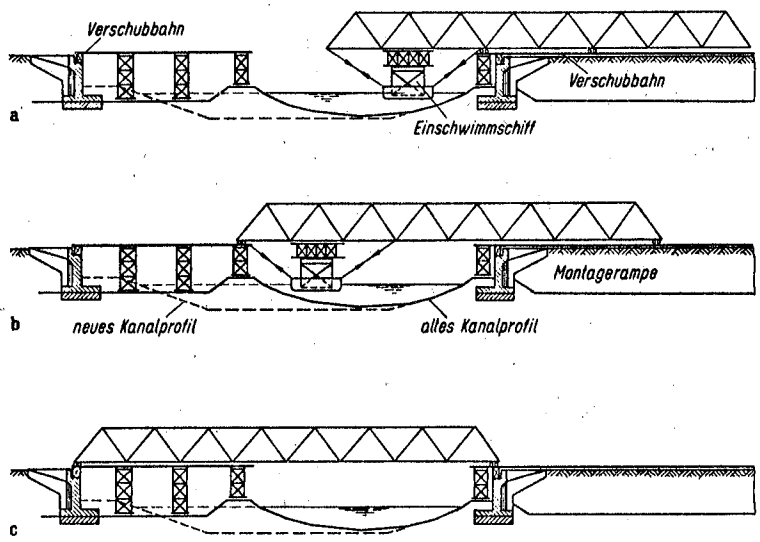


Abb. 4: Einschwimmvorgang einer Brücke

Der Einschwimmvorgang ist in Abb. 4 dargestellt. Das Aus- und Einschwimmen eines Brückenüberbaus erfolgt jeweils innerhalb weniger Stunden, so daß nur eine kurzfristige völlige Schiffahrtssperre erforderlich wird.

5. Querbauwerke unterhalb des Kanalbettes

Querbauwerke, die künstliche Wasserstraßen unterhalb des Gewässerbettes kreuzen, dienen entweder der Unterführung von Bächen und Vorflutern oder aber von Land- und Schienenverkehrswegen. Naturgemäß kreuzen sie die Wasserstraße vorwiegend in Dammstrecken, also in solchen Strecken, in denen der Wasserspiegel des künstlichen Gewässers höher liegt als das angrenzende Gelände. Derartige Querbauwerke stellen in dem weitgehend homogenen Aufbau eines Kanaldammes mit der Dichtung für das Kanalbett einen Störkörper dar; ihr Einbau muß mit äußerster Sorgfalt geplant und durchgeführt werden.

Es gibt zwei Arten von Unterführungsbauwerken, und zwar einmal Bauwerke, die unabhängig von der Kanalbettdichtung in tieferer Lage unterführt werden — dies sind meistens kleinere Düker und Durchlässe —, zum anderen Bauwerke, die so gestaltet sind, daß die dem Kanalbett völlig angepaßt sind und so dessen Funktionen in ihrem Bereich mit übernehmen, also gleichzeitig auch die Dichtung ersetzen.

Bei ersteren Bauwerken ist von wesentlicher Bedeutung, daß sich bei einer nicht 100%igen funktionsfähigen Dichtung gerade am Bauwerkskörper entlang wegen des größeren Hohlraumgefüges bevorzugte Sickerströmungen bilden können und dies schließlich zu einer rückschreitenden Erosion führen kann. Daher sind diese Bauwerke an ihren Kopfenden entweder mit besonders großen Dichtungsschürzen zu versehen, die den Sickerweg wesentlich verlän-

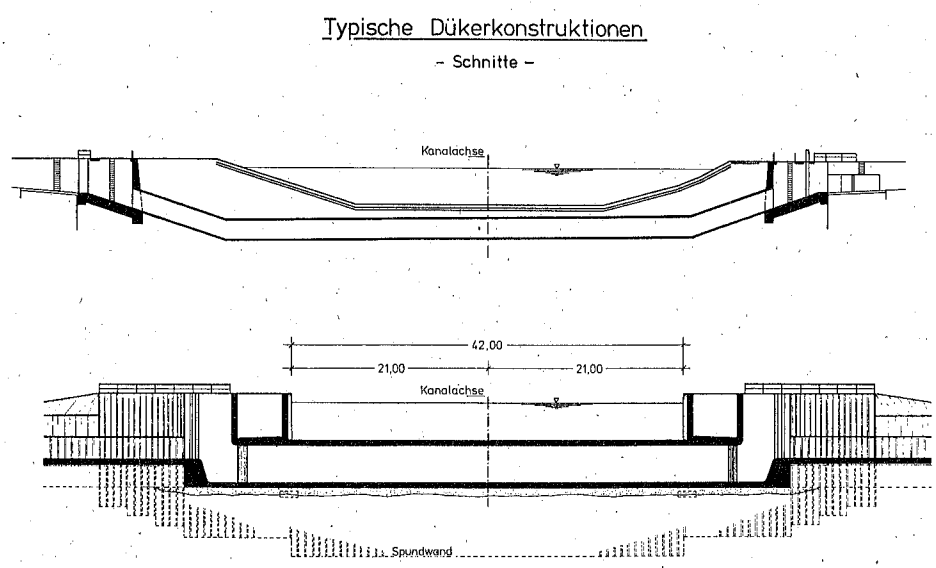


Abb. 5: Dükerschnitte

gern, oder aber es sind auf der Luftseite an den Kopfbauwerken filterwirksame Materialien einzubauen, die bei Austritt von Sickerwasser das Mitführen von Bodenbestandteilen verhindern. Bei letzterer Konstruktion — Bauwerk mit gleichzeitiger Funktion als Gewässerbett — sollte eine mehrfache Sicherung eingebaut werden in der Form, daß einmal eine möglichst plastische Dichtungsschicht — am besten Ton — bis an den Baukörper herangezogen und keilförmig ausgebildet wird, weiter aber die aus dem Kanalprofil herausragenden Kopfbauwerke mit weitreichenden und tief herunterragenden Spundwandschürzen zu versehen sind. Die Situation am Mittellandkanal — Einbau dieser Bauwerke unter Wasser bei laufendem Schiffsverkehr — zwingt häufig zu zusätzlichen Maßnahmen vom Bauvorgang her, wie beispielsweise Abspunden der zu baggernden Rinne quer durch das Kanalbett hindurch zur Aufnahme der Querbauwerke.

5.1 Einschwimmrohrdüker

Im Laufe der letzten Jahre sind viele Einschwimmrohrdüker eingebaut worden. Die Durchmesser dieser Einschwimmrohrdüker schwanken zwischen 1 m und 2 1/2 m, wobei auch verschiedentlich Doppeldüker mit verschiedenen Durchmessern zum Einbau gelangt sind. Der Bauvorgang für die Errichtung eines neuen Dükers nach der Einschwimmethode verläuft wie folgt:

Die an Land montierten Dükerrohre werden schwimmend zur Einbaustelle gebracht und mit ihren Enden während der Flutung des Dükerrohres in die zum Kanal hin zunächst offenen Baugruben für die Dükerhäupter eingeführt.

Für den Einbau des Dükerrohres im Bereich des Kanalbettes ist zuvor eine Querrinne in einer Tiefe in das Kanalbett zu baggern, welche das maßgerechte Verlegen des Dükerrohres zuläßt. Zu beachten ist, daß nach Verlegung die Verfüllung der Querrinne, insbesondere der Raum bis zur Rohroberkante, mit geeignetem Material (Kies-Sand-Gemisch) erfolgt und eine

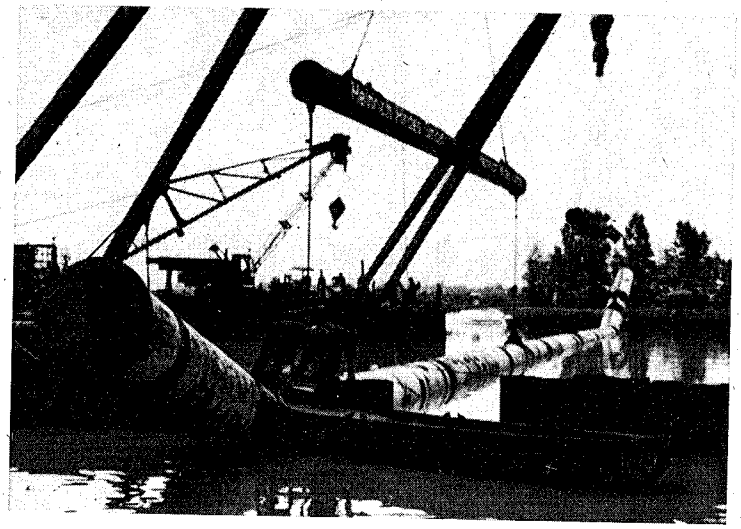


Bild 4: Absenken eines Rohrdükers

dichte Lagerung erreicht wird. Die wasserseitigen, das Dükerrohr umschließenden Spundwände der Dükerhäupter werden mit Taucherhilfe völlig geschlossen, so daß anschließend die Spundwandkästen, in denen die Dükerhäupter errichtet werden, leergepumpt werden können und der Bau des Einlauf- und des Auslaufbauwerks vorgenommen werden kann.

Die Spundwandkästen bilden stets in den Kanaldämmen einen kritischen Bereich. Vor allem ist die Gefahr eines Grundbruches in den leergepumpten Kästen gegeben.

5.2 Vortriebdüker

Eine weitere Baumethode stellt die des Vortreibens von Dükerrohren unter dem Kanalbett hindurch von außen her dar (Abb. 6). Der Vorteil dieses Verfahrens ist, daß sich die gesamte Baudurchführung

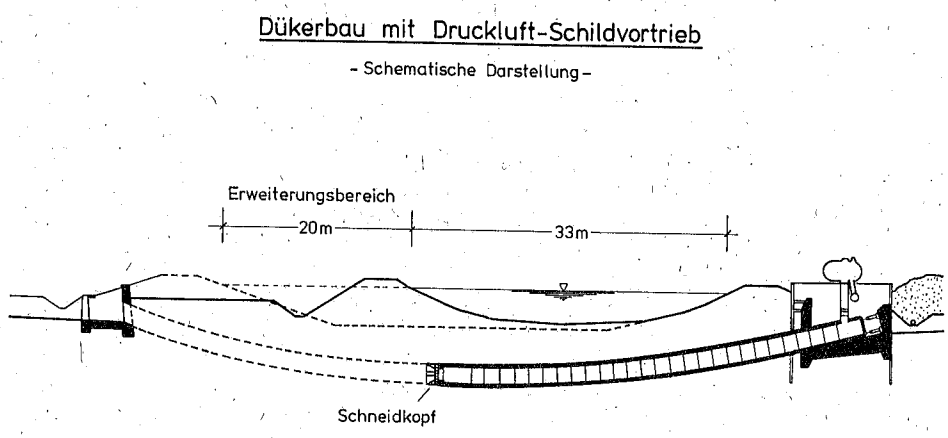


Abb. 6: Vortriebdüker

außerhalb des Kanalbettes abspielt, unbemerkt von der Schiffahrt. Technisch gesehen ist dies eine sehr elegante Lösung, sie birgt aber auch gewisse Gefahren in sich. Das Vorpressen von Rohrsegmenten von außen her und der Bodenabbau im Schild vor Ort kann nur unter zusätzlichem Luftdruck erfolgen, der so hoch zu bemessen ist, daß der Überdruck in den Rohrsegmenten der Wassersäule im Kanalbett das Gleichgewicht hält. Nach den vorliegenden Erfahrungen ist dies Verfahren nur dort anzuwenden, wo die Bodenüberdeckung des Rohres das 1 1/2fache des Rohrdurchmessers, mindestens aber 3 m, beträgt und der Boden von bindiger Konsistenz ist. Die Baugrube für das Vorpreßgerät, in der später das Einlaufbauwerk untergebracht wird, ist entsprechend hoch zu umspunden, damit bei einer Flutung des Vortriebsrohres mit der Folge der Flutung der Vorpreßgrube ein Auslaufen des Kanals verhindert wird. Mehrere derartige Vortriebsdüker sind am Mittellandkanal bereits gebaut worden mit Durchmessern bis zu 3 m.

Für den Rohrvortrieb wird zunächst der Schneidkopf in der Ausgangslage angesetzt und zusammen mit einem Rohrsegment in die vorgesehene Richtung vorgetrieben.

Der Vortrieb um je eine Rohrlänge erfolgt in der Weise, daß zwischen Vorpreßeinrichtung mit Endrohr ein neues Rohrsegment eingefügt wird (Bild 5)

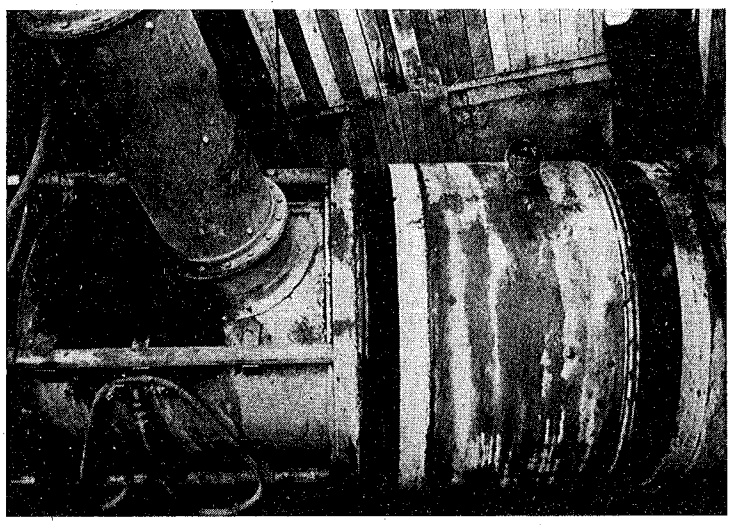


Bild 5: Einfügen eines neuen Rohrsegmentes

und in der nächsten Arbeitsphase das Rohrsegment mit dem schon vorgepreßten Dükerstrang um eine Rohrsegmentlänge weiter vorgepreßt wird. Die einzelnen Rohrstöße müssen besonders abgedichtet werden. Hierzu dient eine am Ende eines jeden Rohres angebrachte Stahlummantelung, die über das nächste Rohrsegment greift und in die Dichtungsringe hineingelegt werden.

Der vor Ort gewonnene Boden kann sowohl im Trockentransport als auch über eine Spülleitung im Spülverfahren beseitigt werden.

5.3 Große Unterführungsbauwerke

Neben den Dükern mit relativ kleinen Querschnitten sind aber am Mittellandkanal auch große Unterführungsbauwerke errichtet worden, die entweder als Düker konzipiert sind oder aber auch der Unterführung von Straßen- und Gleiskörpern dienen.

Ein entsprechendes Bauwerk stellt ein neu errichtetes Unterführungsbauwerk bei Minden dar, welches hier beschrieben werden soll.

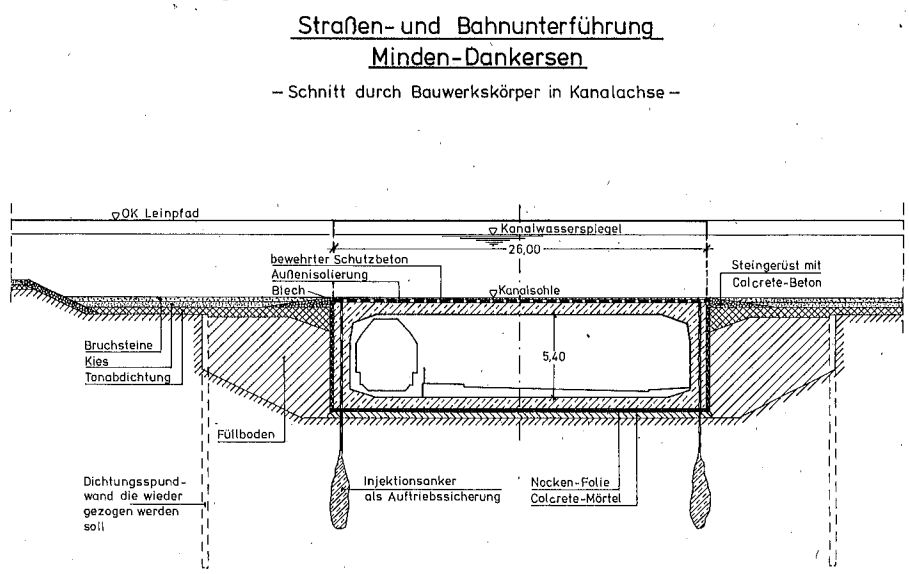


Abb. 7: Straßen- und Bahnunterführung Minden — Dankersen — Schnitt

Das Bauwerk ist eine Rahmenkonstruktion. Es hat eine Länge von 56 m, eine Breite von 26 m und eine Höhe im Dammbereich von 12,40 m und im Kanalbereich von 7,40 m. Die innere lichte Konstruktionshöhe beträgt 5,40 m bei einer lichten Breite von 24 m. Es nimmt einen 80 bis 90 cm hoch gelegenen Straßenkörper auf, der eine Fahrspurbreite von 12 m und auf jeder Seite Rad- und Gehweg von je 3,70 m Breite hat, weiter einen einspurigen Gleiskörper nach den Maßen des Bundesbahnregelprofils. Das gesamte Stahlbetonbauwerk ohne zusätzliche Einbauten hat ein Gewicht von annähernd 10 000 t unter Verwendung von rd. 300 t Stahl. Der Querschnitt ist ohne Unterbrechung von Vertikalstützen. Damit soll die Möglichkeit offengehalten werden, bei Verzicht auf den Gleisstrang den vollen Querschnitt für Straßenverkehr auszunutzen. Für eine Rahmenkonstruktion ist das Verhältnis der Breite zur Höhe sehr ungünstig, daher war die konstruktive Ausbildung insbesondere hinsichtlich der Bewehrung relativ schwierig.

In einer direkt neben dem Kanal liegenden Baugrube, die gleichzeitig in der Achse der Straßenunterführung lag, erfolgte die Herstellung des kompletten Bauwerks, allerdings ohne Einbau des Straßen- und Schienenkörpers. Die zeichnerische Darstellung

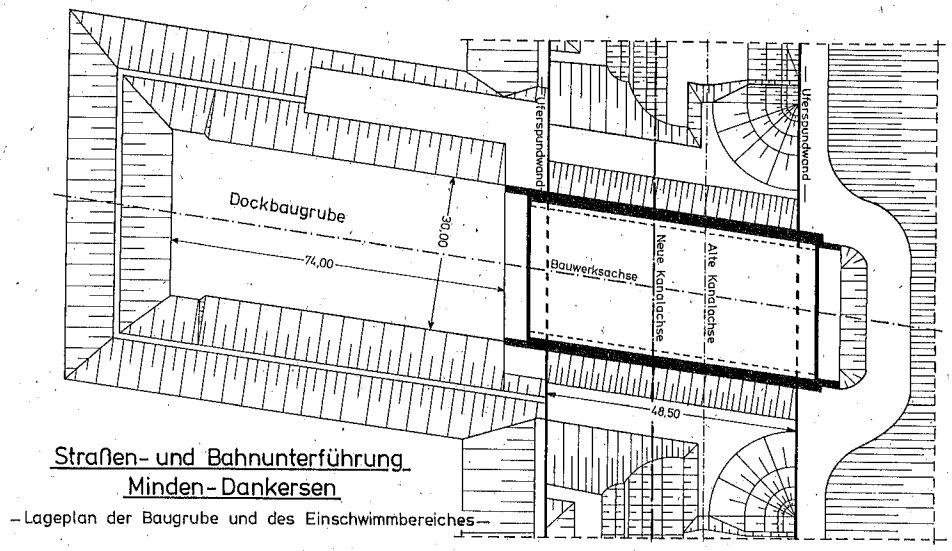


Abb. 8: Lageplan des Baubereiches

in Abb. 8 gibt die örtliche Situation wieder. Die Sohle der Baugrube war mit einer 20 cm dicken dichten Betonschicht und darüber mit einer 15 bis 20 cm dicken Porenbetonschicht versehen. Letztere war gewählt worden, um auf jeden Fall ein reibungsloses Aufschwimmen des Bauwerks zu gewährleisten.

Neben der Herstellung des eigentlichen Tunnelkörpers waren Rahmenbauwerke im nordseitigen und im südseitigen Damm zur Einbindung des Tunnelkörpers erforderlich. In diese Rahmen war der Tunnelkörper hineinzuschieben. Bild 6 gibt einen Überblick über die gesamte Baustelle wieder.

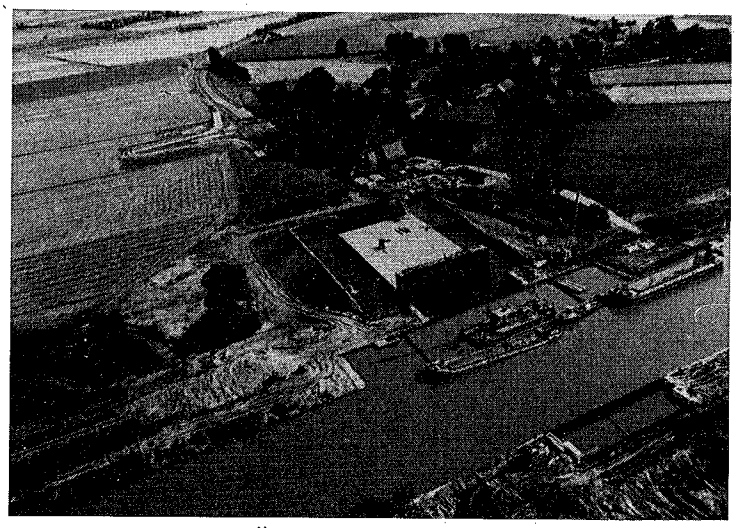


Bild 6: Übersicht über den Baubereich

Schließlich war aber noch eine Querrinne im Kanalbett herzustellen (Abb. 7), in die der Tunnelkörper schwimmend hineinbewegt werden mußte. Die Querrinne ist mit etwa 16 m langen Spundbohlen abgespundet. Sie reichen bis in eine undurchlässige Schicht und bilden zusammen mit den Spundwänden in den Kanaldämmen einen geschlossenen, annähernd wasserundurchlässigen Kasten. Auf diese Weise wurde während der Bauzeit ein Eindringen größerer Kanalwassermengen in den Untergrund verhindert. Zusätzlich waren an den 4 Ecken der Baugrube Pumpenanlagen installiert worden, um infiltriertes Wasser in den Kanal zurückpumpen zu können. Eine entsprechende Forderung beruhte darauf, daß eine Verunreinigung des Grundwassers im vorhandenen Wassergewinnungsgebiet durch stark chloridhaltiges Kanalwasser nicht stattfinden durfte.

Innerhalb von 2 Stunden wurde der Körper mit Hilfe von Winden schwimmend aus dem Dock heraus in die richtige Position vorgezogen zum späteren Absenken in die ausgebaggerte Rinne. Auf der Rückseite wurde er so festgehalten, daß er während des Schwimmvorganges nicht aus der Längsachse laufen konnte.

Das Absenken nahm einen ganzen Tag in Anspruch. Durch Ballastieren mit Wasser konnte dem Auftrieb mehr und mehr Gewicht entgegengesetzt werden, so daß sich der Schwimmkörper genau steuerbar absenken ließ. Der Innenraum des Tunnels war in 22 Flutkammern durch Holztrennwände aufgeteilt, um bei Schrägstellungen einen gefährlichen Wasserschlag in seiner Wirkung zu begrenzen.

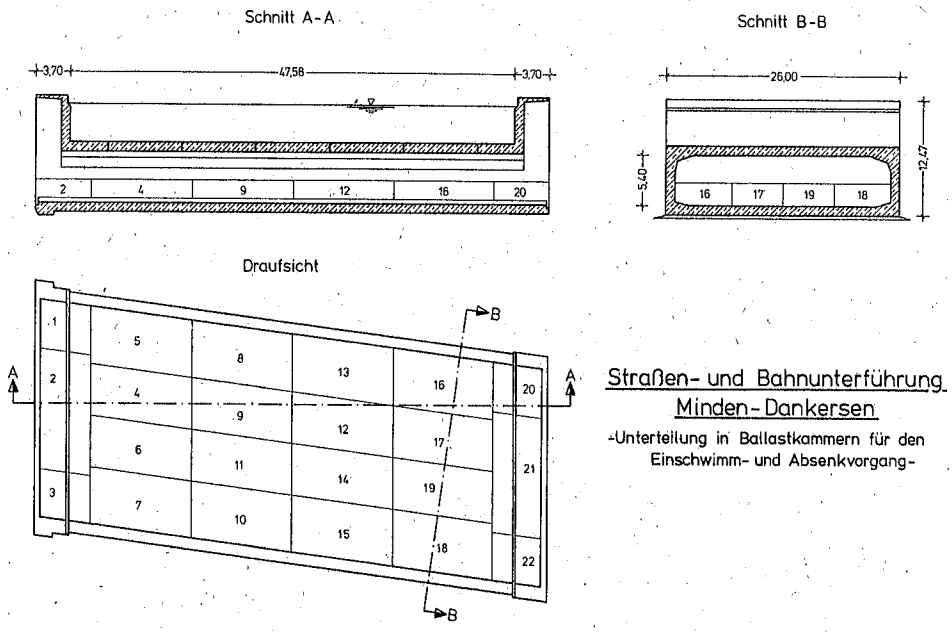


Abb. 9: Unterteilung des Tunnelkörpers in Ballastkammern

Das Füllen erfolgte über 4 Pumpen von je max. 150 m³/h, die zur Grundwasserabsenkung ohnehin vorhanden waren. Im Inneren waren vorsorglich 10 kleinere Pumpen installiert, mit

deren Hilfe bei Abweichungen von der horizontalen Schwimmlage des Körpers eine Korrektur durch Überpumpen zwischen den Flutkammern vorgenommen werden sollte. Von dieser Möglichkeit mußte vielfach Gebrauch gemacht werden. Insbesondere beim Eintauchen der Decke ergaben sich mehrfach leichte Drehungen um die Längsachse, die immer wieder durch Austrimmen der Flutkammern ausgeglichen werden mußten. In Längsrichtung ergaben sich beim Absenken keine Probleme, da der Auftrieb der Kopfbauwerke stabilisierend wirkte.

Beim Erreichen der Endlage setzte sich der Tunnelkörper mit geringer Teillast, die durch entsprechende Wasserfüllung gesteuert werden konnte, auf den unten liegenden Auflagerbänken der in die Kanaldämme eingebundenen Rahmenbauwerke ab. Die Querrinne im Kanalbett war unter dem Körper ca. 40 cm tiefer gebaggert worden.

Der dichte Anschluß des Tunnelkörpers an die Rahmenbauwerke stellte ein besonderes Problem dar.

Das dem Baudock gegenüberliegende Endkopfbauwerk war so konstruiert, daß nach Einschwimmen und Absenken des Tunnelkörpers eine in sich geschlossene rechteckige Grube entstand, die an ihren Längsseiten begrenzt wurde von der Stirnwand des Tunnelkörpers und der äußeren Einfassungsspundwand der Baugrube für das Kopfbauwerk. Durch Auspumpen dieser Grube entstand ein horizontaler Wasserüberdruck, der den Tunnelkörper gegen die Rahmenbauwerke drückte. Entsprechende Gummiwulstdichtungen sorgten für die dichte Einbindung des Tunnelkörpers in die Rahmenbauwerke. Später wurden noch durch Injektionen weitere Dichtungsanschlüsse geschaffen.

Der 40 cm hohe Raum zwischen der Sohle des Einschwimmgrabens und dem Tunnelkörper wurde zum Erreichen einer flächigen Auflagerung mit Zementmörtel verpreßt. Hierzu waren in der Sohle des Tunnelkörpers Verpreßstutzen einbetoniert worden. Gleichzeitig mit dem Verfüllen der Seitenräume neben dem Bauwerk konnten die 40 Injektionsanker zur Auftriebssicherung eingebaut werden. Der Anschluß der Tondichtung für die Kanalsohle wurde keilförmig verstärkt und zur Kolk- und Ankerwurfsicherung durch ein vermörteltes Steingerüst abgedeckt. Auf diese Weise wurde ein setzungsunempfindlicher Übergang geschaffen, da sich der plastische Ton an der glatten Bauwerkswand bewegen kann, ohne daß Hohlräume oder Risse entstehen. Nach Fertigstellung dieser Dichtungen stellte sich das Grundwasser auf seinen natürlichen Stand in Höhe der Tunnelsohle wieder ein. Damit ist die Gefahr eines späteren Auftriebes nicht vorhanden.

Nach Lenzen der Dockbaugrube und Ausbau der Verschlüsse an den Tunnelöffnungen konnte der Weg durch die als Rohbau fertiggestellte Unterführung freigegeben werden.

6. Stand der Bauarbeiten, Bauzeit und Baukosten

Annähernd zwei Jahrzehnte wird bereits an diesem großen Ausbauvorhaben gearbeitet; es ist zu 60 % fertiggestellt. Abbildung 10 gibt einen Überblick über die fertiggestellten und über die im Bau befindlichen Bereiche. In den fertiggestellten Strecken sind sowohl der Ausbau des Kanalbettes als auch die Errichtung aller kreuzenden Bauwerke durchgeführt.

Ursprünglich war vorgesehen, das Bauvorhaben noch in diesem Jahrzehnt abzuschließen. Jedoch zeichnete sich bereits vor Jahren — vorwiegend aus finanziellen Gründen — ab, daß der Ausbau des Mittellandkanals erst etwa um das Jahr 2000 wird abgeschlossen werden können.

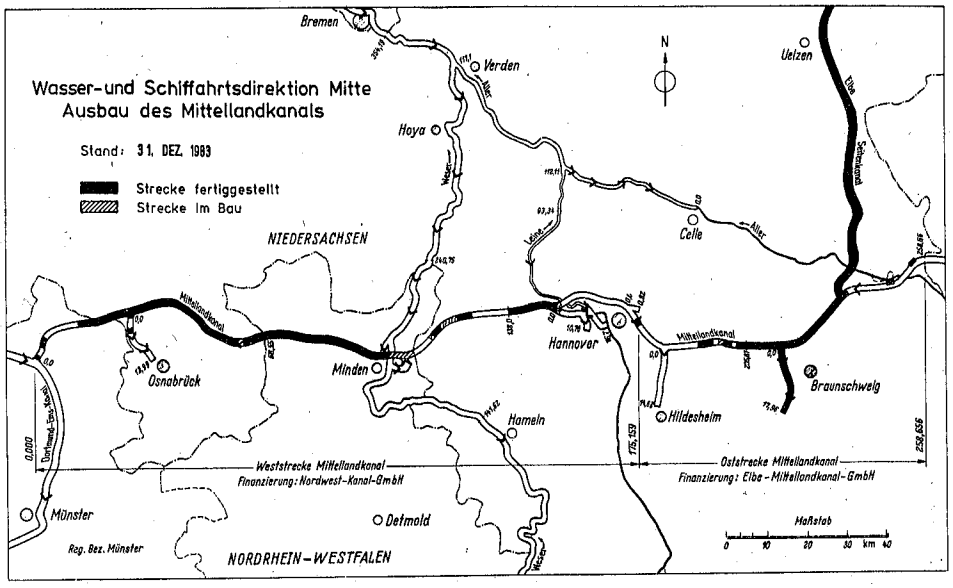


Abb. 10: Stand der Bauarbeiten

Die gesamten Kosten des Bauvorhabens belaufen sich nach dem jetzigen Kostenstand auf etwa 3 Milliarden Deutsche Mark.

Schrifttum

Schmidt, D.: Aus- und Einschwimmen von stählernen Brücken über den MLK. Der Stahlbau 11 (1971), Seiten 344—346.

Klimpel, P.M.: Straßentunnel unter dem Mittellandkanal in Minden-Dankersen. Tiefbau Ingenieurbau und Straßenbau 4/80, Seiten 261—266.

Meyer, H.: Der Ausbau des Mittellandkanals. Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft, 33. Band 1972/73, Seiten 18—30.

Meyer, H.: Kreuzungsbauwerke am Mittellandkanal. Mitteilungen des Franzius-Instituts für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover, Heft 54 (1982).