

Abteilung I — Binnenschifffahrt

Mitteilung 2

Dichtung des Bettes und der Dämme der schiffbaren Kanäle und Flüsse.

Von Dr.-Ing. Arthur R ö h n i s c h , Oberregierungsbaurat bei der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Münster,

Fritz F u h s e , Regierungsbaurat a. D., Passau.

Zusammenfassung:

Im Rahmen des Ausbaues des Dortmund-Ems-Kanals konnten bei der Abdichtung der im Auftrag liegenden Kanalstrecken recht vielseitige Erfahrungen mit zahlreichen Dichtungsstoffen und verschiedenartigen Einbaumethoden gemacht werden. Besondere Schwierigkeiten entstehen beim Einbau der Dichtungsschale im Trockenen in den Fällen, in denen die angeschnittenen Bodenschichten der Böschungen und der Sohle von Kanälen und kanalisiertem Flüssen infolge ihrer Kornzusammensetzung und infolge der Grundwasserhältnisse so weich sind, daß sie eine einwandfreie Verdichtung nach dem Einbau durch Walzen oder Stampfen nicht zulassen. In derartigen Fällen kann der Einbau thixotroper Dichtungsmassen gegenüber weiträumigen, kostspieligen Entwässerungsmaßnahmen technisch und wirtschaftlich von Vorteil sein, da thixotrope Dichtungsstoffe eine Nachbehandlung kaum erfordern. In der inzwischen in Betrieb genommenen 2. Fahrt Lüdinghausen—Senden wurde 1954/55 eine 2½ km lange Kanalstrecke mit Hydraton nach dem von Prof. Dr.-Ing. Keil, Dresden, vorgeschlagenen Verfahren gedichtet. Zur endgültigen Beurteilung der Bewährung muß eine mindestens 1- bis 2jährige Beobachtung der Grundwasserbeobachtungsbrunnen nach Füllung dieser Kanalstrecke abgewartet werden. Die Beurteilung würde vollständig sein, wenn in dieser Zeit die Frage der Ausschlämbarkeit der für die Dichtung zugesetzten Chemikalien durch systematische Untersuchungen abschließend geklärt werden könnte.

Ferner wurde über Untersuchungen berichtet, die eine grundsätzliche Klärung der Frage herbeiführen sollten, ob zweckmäßiger Dichtungs- oder Entwässerungsmaßnahmen bzw. eine Kombination beider Möglichkeiten anzuwenden sind.

Die richtige Beurteilung dieser Frage und die zutreffende Einschätzung des Erfolges der möglichen technischen Maßnahmen ist für die Dichtung der im Auftrag liegenden Kanalstrecken des Dortmund-Ems-Kanals zwischen Bergeshövede und Gleesen von entscheidender Bedeutung, da längs dieser Strecke zahlreiche Verwässerungsschäden vorliegen. Außerdem müssen alle Dichtungsmaßnahmen ohne wesentliche Beeinträchtigung des Schiffsverkehrs unter Wasser durchgeführt werden. Nach Diskussion der verschiedenen Möglichkeiten wird für den Einbau von Tondichtungen unter Wasser ein technisch recht einfaches und zuverlässiges Verfahren erläutert, das beim Einbau der Sohlendichtung innerhalb der Kanalhaltung Altenrheine—Venhaus mit bestem Erfolg angewendet wurde.

Zum Vergleich gelangte gleichzeitig eine Asphaltdichtung zur Ausführung, bei der 2½ cm starke, 15 m breite, kontinuierlich gefertigte unbewehrte Matten ohne Fugen unter Wasser verlegt wurden.

Ein endgültiges Urteil über die Bewährung beider Verfahren kann naturgemäß infolge der Kürze der Bewährungszeit nicht abgegeben werden. Es ist jedoch von großem Wert, daß die beim Ausbau des Dortmund-Ems-Kanals für die Abdichtung von Kanalstrecken unter Wasser gestellte Aufgabe zwei grundverschiedene Entwicklungsmöglichkeiten aufgezeigt hat, die Aussicht haben, mit den bei derartigen Dichtungsmaßnahmen auftretenden Schwierigkeiten fertig zu werden. Es wird schließlich auch von der Weiterentwicklung beider Lösungen abhängen, welche Bauweise sich technisch und wirtschaftlich durchsetzt.

Beim Bau des Donaukraftwerkes Jochenstein, das im Sommer 1956 fertiggestellt wurde, ergab sich die Notwendigkeit, den Grundwasserspiegel einer im Staubereich unmittelbar am Fluß liegenden Ortschaft auf seiner bisherigen Höhe zu halten, obwohl der Wasserspiegel der Donau durch den Stau um etwa 6 m erhöht wird. Da wasserdichter Fels erst in 12 bis 14 m Tiefe ansteht, mit einer Überlagerung aus grobem Kies,

mußte die gesamte Ortschaft gegen die Donau zu mit einer in den felsigen Untergrund bzw. den Talhang eingreifenden Dichtungswand umschlossen werden. Wie eine Probe-rammung zeigte, konnten Stahlspundbohlen keine Verwendung finden, da mit ihnen wegen der im Kies eingelagerten Findlinge kein dichter Anschluß zu erzielen war. Es wurden aus den verschiedenen, vom Bauherrn wie auch von Unternehmerseite aufgestellten Entwürfen die beiden unter den gegebenen örtlichen Verhältnissen günstigsten Varianten ausgesucht. Sie wurden durch die beiden Anbieter in Arbeitsgemeinschaft zu gleichem Preis ausgeführt. Längs des Flusses wurde eine Betonwand (Länge 812 m) mittels Caissons in ausreichendem Abstand von den Häusern abgesenkt; bis auf jene Strecken, wo die Senkkästen durch einseitigen Erddruck eines Straßendamms zur Schräglage neigten. Hier wurden Ortbetonpfähle — mittels Bentonitspülung unverrohrte gebohrt — dicht an dicht hergestellt, desgleichen in unmittelbarer Nähe von Gebäuden (Länge 286 m). Nach Errichten des Staues konnte eine unerwartet geringe Wasserdurchlässigkeit festgestellt werden.

Literatur:

- [1] Prof. Dr.-Ing. Keil, „Die Hydrationsmethode, ein neuer Prozeß der Bodenverfestigung durch anorganische Kräfte“
Bericht zur 3. Internationalen Konferenz über Bodenmechanik, Schweiz, August 1953.
[2] Oberreg. baurat Dr.-Ing. Rönnisch, „Fertigung und Verlegung von fugenlosen Asphaltmatten“
Baumaschine und Bautechnik, Mai 1956.

	Seite
	1. Allgemeiner Überblick 102
Gliederung:	2. Dichtungsmaßnahmen an Kanälen 104
	2.1 Anwendung des Hydratonverfahrens 104
	2.11 Ergebnisse der mit Hydraton durchgeführten Versuche 104
	2.12 Erfahrungen auf der Baustelle 108
	2.2 Untersuchungen zur grundsätzlichen Klärung der Frage von Dichtungs- oder Entwässerungsmaßnahmen 109
	2.3 Durchführung von Dichtungsarbeiten unter Wasser am Dortmund-Ems-Kanal 112
	2.31 Einbau einer Tondichtung 117
	2.32 Verlegung von Asphaltmatten 120
	3. Dichtungsmaßnahmen an Flüssen — Dichtungswand in kiesigem Untergrund mit Findlingen an der Donau 123
	3.1 Veranlassung und Zweck der Baumaßnahmen 123
	3.2 Die verschiedenen Ausführungsvorschläge 123
	3.3 Die Bewertung der Vorschläge 127
	3.4 Bauausführung 128
	3.5 Erfahrungen 131

1. Allgemeiner Überblick

Im Kanalbau und bei kanalisierten Flüssen ist die Dichtung der Sohle und der Böschungen innerhalb der Auftragsstrecken von entscheidender Bedeutung. Sie wird bei Kanalneubauten und bei der Kanalisierung von Flüssen in der Regel im Trockenem eingebaut. Als Dichtungsstoffe werden bindige Böden wie Ton oder Lehm sowie Asphalte, in der Hauptsache auf Bitumenbasis, verwendet. Bei dem Ausbau bzw. späteren Erweiterungen von Kanälen oder Flüssen wird jedoch vielfach auch die wesentlich schwierigere Forderung gestellt, den Einbau der Dichtung unter Wasser und außerdem ohne Sperrung und wesentliche Beeinträchtigung der Schifffahrt durchzuführen.

Im Rahmen des Ausbaues des Dortmund-Ems-Kanals wurden die erforderlichen Dichtungsarbeiten bis zur Inangriffnahme der Kanalstrecke nördlich Bergeshövede vor etwa 2 Jahren fast ausschließlich im Trockenem ausgeführt, da die

zu dichtenden Ausbaustrecken innerhalb neuer Kanalstrecken (sogenannter zweiter Fahrten) lagen. Die Dichtungsschale bestand in der Regel aus einer 30 bis 60 cm starken Lehm- bzw. Tonschicht oder versuchsweise aus einer bis 6 cm starken Asphaltmastixschicht. Bei beiden Lösungen erhielt die Dichtungsschale zur Vermeidung von Schäden durch Anker- oder Schlepptrassen eine Schutzschicht, und zwar im Fall der Dichtung mit Lehm und Ton, aus grobsandigen Erdböden, oder Haldenabraum von rd. 1,0 m Stärke und bei der Asphaltausführung eine solche aus einer mageren Asphaltmastix (4 bis 5 % Bitumen) in 10 cm Stärke.

Beide Ausführungen haben sich in jeder Beziehung bewährt. Auch die Asphaltbauweise hat inzwischen eine Bewährungszeit von über 20 Jahren überstanden. Mängel infolge von Veränderungen des Asphaltmaterials durch Versprödung oder andere Einwirkungen konnten bei den sehr eingehenden Untersuchungen der Versuchsstrecken in der 2. Fahrt bei Olfen nach 20jähriger Bewährung nicht festgestellt werden. Ihre weitere Anwendung wird davon abhängen, ob in der näheren Umgebung der einzelnen Baustellen Ton- oder Lehmvorkommen zur Verfügung stehen, ferner aber auch von der Entwicklung neuer geeigneter Geräte für die Aufbereitung und den Einbau der Asphaltmastix, um die Herstellung derartiger Asphaltteppiche zu rationalisieren und damit die Kosten wesentlich zu verringern.

Die Einbaumethoden von Ton- oder Lehmdichtungen im Trockenem sind gleichfalls weitgehend bekannt. Die hierbei auftretenden Probleme sind in erster Linie bodenmechanischer Art. Die Hauptschwierigkeit bzw. Aufgabe besteht darin, durch eine wirkungsvolle Verdichtung der bindigen Erdbaustoffe eine möglichst hohlraumfreie homogene Dichtungsschicht zu erhalten. Man wird zweckmäßig in allen Fällen rechtzeitig vor Ausführung der Dichtungsmaßnahmen eine eingehende Untersuchung (Ermittlung der Kornverteilung und der Durchlässigkeit, Prüfung der Wasseraufnahmefähigkeit, Proctor- oder AASHO-Versuche) der in Frage kommenden Dichtungsstoffe vornehmen, um jeweils die technisch und wirtschaftlich günstigsten Dichtungsstoffe für die Ausführung vorzusehen. Für die Verdichtung bindiger Bodenmassen wurden früher überwiegend glatte Walzen eingesetzt. In neuerer Zeit verwendet man Schafffußwalzen, die einen gleichmäßigen Druck in größere Tiefen ausüben und dadurch eine intensivere Verdichtungsarbeit leisten.

An Flüssen zwingen die geologischen und hydrologischen Verhältnisse häufig zu besonderen Dichtungsmaßnahmen, da sich bei ihnen die im Kanalbau gebräuchlichen Ton-, Lehm- oder Asphalt-dichtungen nur selten im Trockenem oder unter Wasser einbauen lassen. Neben der Dichtung aus Betonplatten werden bei Staufstufen auch beim Stauwehr beginnende und an beiden Uferseiten nach oberstrom verlaufende Dichtungsspundwände, die bis in den wasserundurchlässigen Untergrund einbinden, mit Erfolg angewendet. Diese Möglichkeiten zur Dichtung an Flüssen sind hinreichend bekannt und bedürfen keiner näheren Erläuterung. Beim Bau der Donaustaustufe Jochenstein dagegen mußte wegen des vorhandenen kiesigen Untergrundes mit Findlingen im Bereich des Ortes Oberzell eine Dichtungswand aus Senkkästen und Betonpfählen errichtet werden.

Der nachfolgende Beitrag wird sich mit neuen Bauweisen und mit der Ausführung von Dichtungsmaßnahmen unter Wasser und am Flußufer beschäftigen, über die recht wenig Erfahrungen in der Fachliteratur vorliegen. Es wird daher angenommen, daß die hierbei gewonnenen Erkenntnisse für die Fachkreise von Interesse sein werden.

2. Dichtungsmaßnahmen an Kanälen

2.1 Anwendung des Hydraton-Verfahrens

Zunächst soll über die Anwendung des von Prof. Dr.-Ing. Keil, Dresden, entwickelten Hydraton-Verfahrens [1] berichtet werden, das beim Neubau der 2. Fahrt Lüdinghausen—Senden neben der üblichen Tondichtung erstmalig im Bundesgebiet Anwendung fand.

In einer etwa 2,4 km langen Einschnittstrecke der 2. Fahrt des Dortmund-Ems-Kanals bei Lüdinghausen-Senden wurde Senkel — eine landestübliche Bezeichnung für schluffigen Mehlsand mit organischen Beimengungen — angetroffen. Die vorhandene geringe Standfestigkeit des Untergrundes ließ die Verdichtung mit einer Lehm- bzw. Tonschicht nicht zu, wie sie in den anschließenden Strecken (sandiger Untergrund) als Dichtung eingebaut wurde. Versuche, locker eingebauten Lehm unter Wasserzugabe zu stampfen und durch Aufbringen von Senkel ein Eindringen des Überdeckungssandes in die noch vorhandenen Hohlräume der Dichtungsschicht zu verhindern, brachten nicht den gewünschten Erfolg. Eine Erhöhung der Standsicherheit des Untergrundes durch die Anlage einer ausgedehnten Flächendrainage zur Entwässerung der Kanalsohle und Böschungen erwies sich als sehr kostspielig. Es lag daher nahe, das s. Z. bereits beim Talsperrenbau in der Deutschen Demokratischen Republik erprobte Hydraton-Verfahren anzuwenden.

Nach diesem Verfahren kann jeder beliebige in der Natur vorhandene Boden im Kornbereich von Kies, Sand, Löß bis zum Schluff durch Zugabe von Chemikalien, von Wasser und eines Zusatzes hydratisierender Bodenarten verbessert werden. Die mengenmäßige Zusammensetzung hängt vom Porenvolumen des zur Verwendung vorgesehenen Bodenmaterials ab und muß von Fall zu Fall bestimmt werden. Der Hydraton besitzt auf längere Zeit thixotrope Eigenschaften, d. h. die beim Mischen entstehende breiig-flüssige Masse versteift im Ruhestand, sie besitzt jedoch die Fähigkeit, bei entsprechender Bewegung (Rütteln, Schütteln) unvermittelt wieder in weichplastische Konsistenz überzugehen. Der Hydraton ist überdies unabhängig vom optimalen Wassergehalt und somit unempfindlich gegen Wasserandrang aus dem Untergrund und gegen Niederschläge. Die Herstellung und der Einbau des Hydratons wird durch diese Eigenschaften sehr vereinfacht, eine Verdichtungsarbeit ist überflüssig. Der in Lüdinghausen eingebaute Hydraton enthielt auf 1 m³ Fertigmasse etwa:

1660 kg Senkel
50 kg Tonmehl
51 kg Wasserglas
1275 gr kalzinierte Soda
120—130 l Wasser

Der Einbau der Dichtung (Bild 1) wurde von der Firma Rathjens, Hamburg, ausgeführt und von der Firma Gebhardt u. Koenig, Schachtbau GmbH., als Lizenzträgerin des Verfahrens überwacht. Beide Firmen haben im Rahmen der VOB die Gewährleistung für die Güte der eingebauten Dichtungsschicht übernommen.

2.11 Ergebnis der mit Hydraton durchgeführten Versuche

In der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, und in der Wasser- und Schiffahrtsdirektion Münster wurden eingehende Versuche mit dem Ziel durchgeführt, die Eigenschaften des Hydratons festzustellen und seine Eignung für den vorgesehenen Zweck zu überprüfen. Nach den Feststellungen der Bundes-

anstalt für Wasserbau, Karlsruhe, Abteilung Erd- und Grundbau, besaß der Hydraton folgende bodenmechanische Kenntwerte:

Der Winkel der inneren Reibung betrug nach einer Vorbelastung von 2 kg/cm^2 $\rho = 26,5^\circ$, die Kohäsion $c = 0,3 \text{ kg/cm}^2$. Zu Vergleichszwecken

Regelquerschnitt für die Strecken mit Hydraton-Dichtung
 2. Fahrt Lüdinghausen Senden

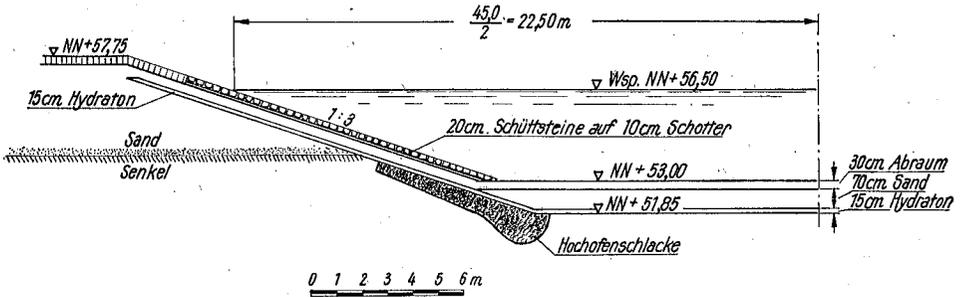


Abb. 1

Bild 1 Regelquerschnitt für die Dichtung der 2. Fahrt Lüdinghausen — Senden mit Hydraton

wurden für Ton aus Gahlen $\rho = 12,4^\circ$ und $c = 0,3 \text{ kg/cm}^2$, für das Ausgangsmaterial Senkel $\rho = 32^\circ$ und $c = 0$ ermittelt.

Eine Kornanalyse wies bei Hydraton einen etwas größeren Anteil an Feinstbestandteilen gegenüber dem Senkel auf, auch die gröberen Kornfraktionen waren weit stärker als beim Gahlener Ton vertreten (Bild 2).

Kornverteilungskurven

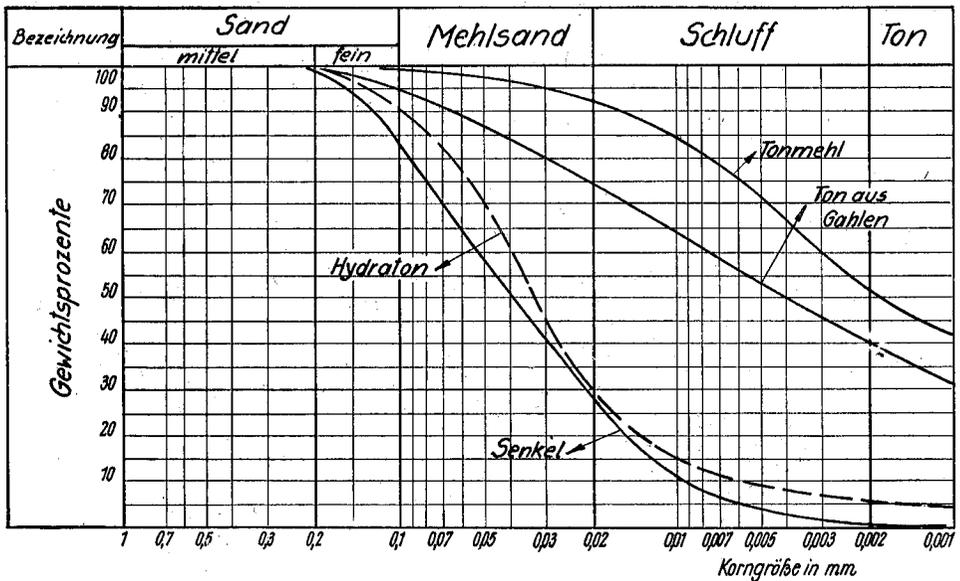


Abb. 2

Bild 2 Kornverteilungskurven von Hydraton und seiner einzelnen Bestandteile

Die Zusammendrückbarkeit, charakterisiert durch den Wert v in der Formel $E = v \cdot p$, wurde durch Kompressionsversuche, bei denen die Belastung bis $p = 5,2 \text{ kg/cm}^2$ gesteigert wurde, für Hydraton zu $v = 40 - 58$, für Ton und Lehm zu $v = 20$ ermittelt. Unter der Annahme, daß die Steifeiziffer direkt proportional dem Druck p angenommen werden kann, besitzt der auf der Baustelle Lüdinghausen verwandte Hydraton demnach eine geringere Zusammendrückbarkeit als Ton und Lehm.

Die Volumenänderung beim Austrocknen betrug beim Hydraton 6,6 % (gegenüber 14,3 % beim Ton aus Gahlen). In einer etwa 2 cm starken Hydratonschicht auf Sand entstand bei Lufttrocknung unter schwacher Sonneneinwirkung ein etwa 3 mm breiter Riß auf der ganzen Breite und Stärke der Schicht. Dieser begann schmaler zu werden, sobald die Masse unter Wasser gesetzt wurde, ohne sich jedoch innerhalb von 5 Tagen zu schließen.

Die mit durchgeknetetem Hydraton durchgeführten Zugversuche ergaben, daß der Versuchskörper infolge Thixotropie keine Zugkräfte aufnehmen konnte, während für Gahlener Ton Zugspannungen von $0,95 \text{ kg/cm}^2$ gemessen wurden.

Die Beständigkeit bei Wasserlagerung wurde mit ungestörten Proben, die aus einer in Ruhe befindlichen Hydratonschicht in gewissen Zeit-

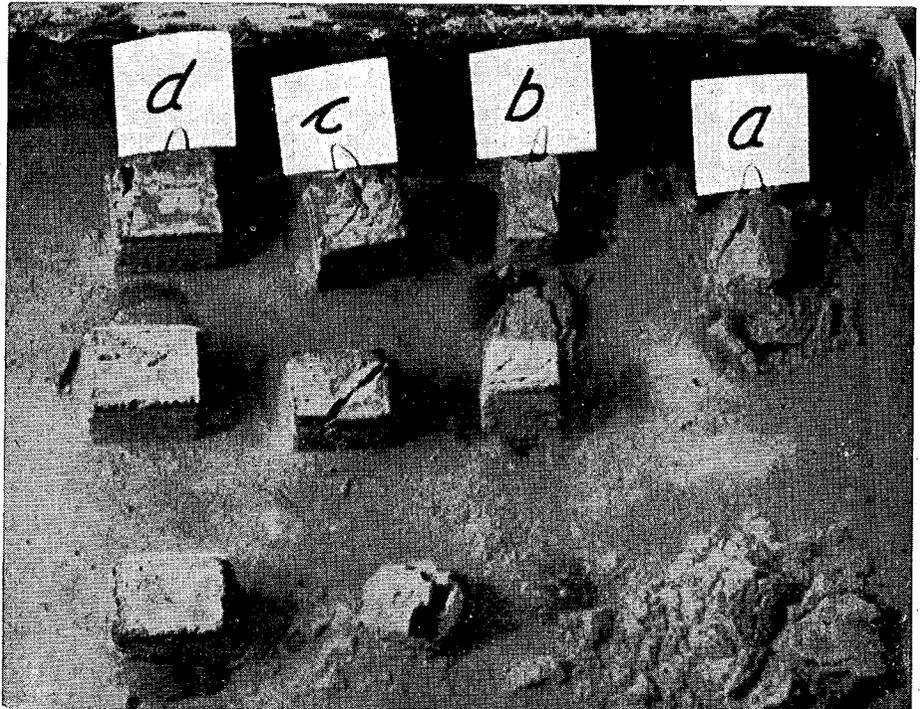


Bild 3 Zerfallversuche mit ungestört entnommenen Hydratonproben im Wasserkasten
Entnahme der Proben:

- a) unmittelbar nach Herstellung
- b) 20 Stunden nach Herstellung
- c) 2 Tage nach Herstellung
- d) 5 Tage nach Herstellung

abständen entnommen waren, geprüft. Diese Proben wurden in einen Wasserkasten gelegt, wo sie zu etwa $\frac{3}{4}$ in ihrer Höhe mit Wasser benetzt wurde. Während die unmittelbar nach der Herstellung entnommenen Proben nach 20 Stunden zerfielen, konnte bei den 5 Tage nach Herstellung der Schicht entnommenen Proben nach 32 Tagen keine wesentliche Veränderung festgestellt werden (Bild 3). Der zu Vergleichszwecken geprüfte Ton zeigte nach 1,5 Monaten keinerlei Zerfallserscheinungen. Als entscheidend wurde der anschließend durchgeführte Versuch angesehen, bei dem eine Hydratonschicht mit einer Sandschicht geschützt unter Wasser gesetzt wurde. Bei dieser Schicht konnten nach einem Monat keine Veränderungen festgestellt werden.

Die Erosionsbeständigkeit des Hydratons wurde an einer 10 cm hohen Probe, die in weichplastischem Zustand eingebaut wurde, nachgewiesen. Nach dreistündigem Durchströmen eines in die Probe gestoßenen Loches wurde ein Gewichtsverlust von etwa 20 % des ursprünglichen Gewichtes festgestellt. Bei einer Probe, die 5 Tage nach Herstellung geprüft wurde, konnte nach 8 Tagen kein Gewichtsverlust festgestellt werden.

Der in der Baustoffprüfanstalt in Münster nach Darcy im Durchlässigkeitsgerät ermittelte Durchlässigkeitsbeiwert betrug am 1. Tag i. M. $k = 1 \cdot 10^{-7}$ cm/sec. Er sank in den folgenden Tagen auf einen nahezu konstanten Wert $k = 2 \cdot 10^{-8}$ cm/sec. Bei Ton aus Gahlen wurde $k = 1 \cdot 10^{-9}$ cm/sec, bei Senkel $k = 8,5 \cdot 10^{-6}$ cm/sec gemessen. Durch Tonmehlzusätze konnte die Dichtungswirkung des Senkels vergrößert werden. Sie betrug maximal bei etwa 12 % Tonmehlanteil $k = 5 \cdot 10^{-7}$ cm/sec.

Ferner wurde festgestellt, daß die Durchlässigkeit des Hydratons bei intensiver Frosteinwirkung zunahm. Sie stieg bei einer Probe, die 36 Stunden einer Temperatur von -5° C ausgesetzt war, auf $k = 3,3 \cdot 10^{-7}$ cm/sec und bei einer Probe, die weitere 72 Stunden je zur Hälfte einer Temperatur von -10° C und -15° C ausgesetzt war, auf $k = 8,6 \cdot 10^{-7}$ cm/sec an. Die in der Kühltruhe festgestellten Versuchsergebnisse wurden durch Prüfung von ungestört entnommenen Proben aus der fertig eingebauten Schicht, die verschiedenen starken Frosteinwirkungen ausgesetzt war, bestätigt.

Die Baustoffprüfanstalt in Münster prüfte ferner die Ausschlämmbarkeit der zugesetzten Chemikalien während eines über ein Jahr laufenden Durchlässigkeitsversuches. Dabei wurde das durch die Probe gesickerte Wasser auf Natronlauge und Kieselsäure untersucht. Die Versuchsdurchführung erfolgte in der Weise, daß eine zeitraffende Wirkung erzielt wurde. Die Untersuchungen ergaben, daß nach rd. 5 Monaten etwa 33 % der im Wasserglas zugesetzten Kieselsäure ausgeschlämmt waren. In der folgenden Zeit war keine Kieselsäure mehr im Sickerwasser festzustellen. Die im Wasserglas und im Soda des frischen Hydratons enthaltene Natronlauge wurde während des Versuches völlig ausgespült, teils in Form von reiner Natronlauge oder an Huminsäure gebunden. Da der Anteil der Huminstoffe im Senkel in größeren Grenzen schwankte, war die Menge der ausgeschlammten Kieselsäure bei vergleichenden Versuchen teilweise noch höher.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die mit Hydraton durchgeführten Versuche in Beziehung auf die für eine Kanaldichtung wichtigen Eigenschaften — Durchlässigkeit, Scherfestigkeit, Beständigkeit gegen Erosion und gegen Zerfall bei Wasserlagerung — günstige Ergebnisse gezeigt haben. Die Dichtungsschicht ist jedoch nach Einbau durch Aufbringen der Überdeckung gegen Austrocknen und gegen Einwirkung von Frost sorgfältig zu schützen. Es

muß damit gerechnet werden, daß die zugesetzten Chemikalien, die wesentlich zur Erleichterung des Einbaues, aber auch zur Erhöhung der Dichtungswirkung beitragen, im Laufe der Zeit teilweise ausgeschlämmt werden. Die Durchlässigkeit des Hydratons nimmt dadurch in geringem Maße zu, jedoch kann die Dichtungsmasse nach der üblichen Klassifizierung weiterhin in die Gruppe der stark bindigen Böden eingereiht werden. Es wäre erwünscht, wenn die Frage der Ausschlämbarkeit der zugesetzten Chemikalien durch systematische Untersuchungen eine endgültige Klärung erfahren könnte.

2.12 Erfahrungen auf der Baustelle

Der für die Aufbereitung des Hydratons verwendete Senkel wurde beim Bodenaushub des Kanalprofils gewonnen und in Großraumloren zu einer für die gesamte Strecke zentralgelegenen Mischanlage transportiert. Diese bestand aus einem Zwangsmischer, wie er im Betonbau Verwendung findet. Der Umschlag des Senkels in den Mischer und die Zuführung der Zusätze wurde durch einen Greifbagger vorgenommen. Die Mischzeit betrug etwa 3 Minuten. Die Beschickung der Transportloren mit der fertigen Masse erfolgte direkt aus dem hochgelegenen Mischer. An der Einbaustelle wurde der Hydraton durch einen Greifbagger, der auf der Kanalsohle stand, über das Kanalprofil verteilt, wobei der Greiferkorb zum Glätten der zunächst ungleichmäßig abgesetzten Masse verwendet wurde (Bild 4 und 5). Das auf dem Transport zum Teil verfestigte Mate-



Bild 4 Einbau des Hydratons in der Böschung

rial wurde durch die Bewegungen beim Entladen der Loren und beim Glätten infolge seiner Thixotropie wieder weich plastisch, so daß es keine Schwierigkeit bereitete, der Dichtungsschicht eine glatte Oberfläche zu geben. An den

Böschungen, vor allem am Böschungsfuß, wurde von Hand nachgearbeitet. Der in einer Stärke von 15 cm eingebaute Hydraton wurde sofort nach Einbau mit Sand überdeckt.

Über die Bewährung der Dichtung kann wegen der Kürze der Zeit, die seit Füllung und Inbetriebnahme der 2. Fahrt vergangen ist, noch nicht endgültig berichtet werden. Offensichtliche Mängel sind bisher nicht beobachtet worden.

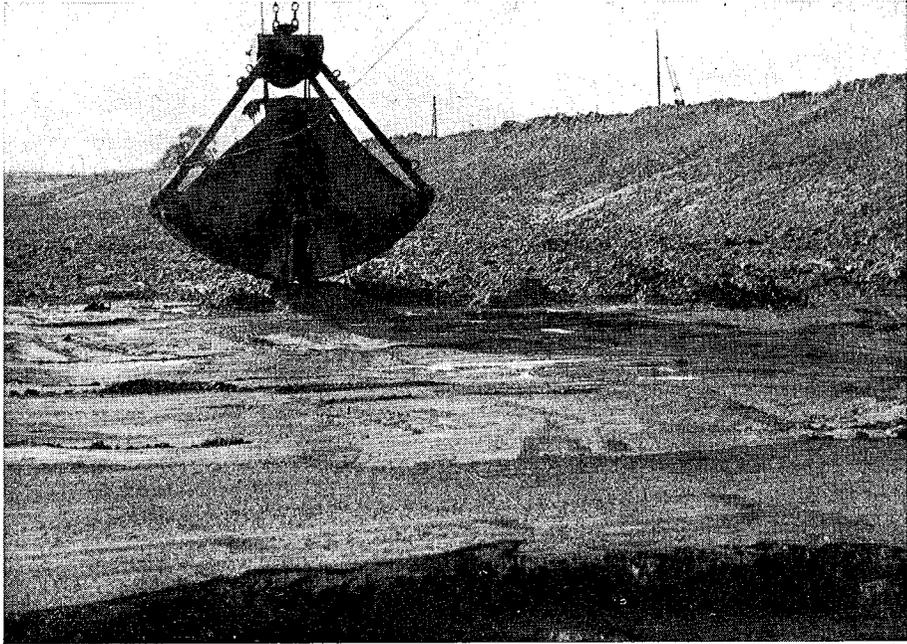


Bild 5 Glätten der Dichtungsschicht aus Hydraton und Aufbringen der Schutzschicht

Jedoch wird erst ein Vergleich der Ganglinien der Grundwasserstände längs der mit Hydraton abgedichteten Kanalstrecke vor und nach der Füllung für eine ausreichend lange Beobachtungszeit endgültig klären, ob die Anwendung des Hydratonverfahrens die gewünschte dauerhafte Dichtung von Kanälen in Auftragsstrecken gewährleistet.

2.2. Untersuchungen zur grundsätzlichen Klärung der Frage von Dichtungs- oder Entwässerungsmaßnahmen

Beim Ausbau der Kanalstrecke Bergeshövede-Gleesen des Dortmund-Ems-Kanals für das 1000 t-Schiff mußte die vorhandene Dichtung zur Erhöhung der Fahrwassertiefe teilweise beseitigt werden, sofern sie nicht bereits durch die Schraubenwirkung der Schlepper und Selbstfahrer im Bereich des mittleren Verkehrsbandes herausgespült war. Hierdurch waren die Wasserverluste auf einzelnen Strecken schon im alten Kanalprofil erheblich, so daß die Ländereien beiderseits des Kanals streckenweise starke Verwässerungsschäden aufwiesen. Der Kanal mußte daher beim Ausbau durch einseitige Verbreiterung innerhalb der Auftragsstrecken mit einer neuen Dichtung versehen werden. Eine Sperrung und Trockenlegung des Kanals war auch zeitweise nicht möglich. Daher mußten

neue Wege und Lösungen gesucht und gefunden werden, die erforderliche Abdichtung des Kanals unter Aufrechterhaltung der Schifffahrt unter Wasser einwandfrei durchzuführen.

Vor Beginn der Ausbauarbeiten wurden zahlreiche Versuche durchgeführt, um die Dichtungsmaterialien, die für den Einbau in Frage kamen, auf ihre Eignung zu untersuchen. Außerdem ließ die Wasser- und Schifffahrtsdirektion Münster in der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, Abteilung Erd- und Grundbau, Modellversuche durchführen, mit deren Hilfe die Wirkung einzelner Dichtungsmaßnahmen und weiterer Möglichkeiten zur Vermeidung bzw. Beseitigung von Verwässerungsschäden untersucht wurden. Zu diesem Zweck wurde ein charakteristischer Ausbauquerschnitt des Kanals, an dem größere Verwässerungsschäden festgestellt worden waren, mit dem dahinter liegenden Gelände im Modell (Modellmaßstab 1 : 25) dargestellt. Die Kornverteilung des Untergrundes wurde durch Analyse von Bodenproben, die gestört aus Bohrlöchern entnommen wurden, seine Durchlässigkeit mit Hilfe von Durchlässigkeitsversuchen bei verschiedenen Porenvolumina im Laboratorium ermittelt. Die in verschiedenen Tiefen vorhandene Lagerungsdichte des anstehenden sandigen und kiesigen Materials wurde durch Strahlungsmessungen mittels radioaktiver Isotopen nach dem Vorschlag von Prof. Dr.-Ing. Lorenz festgestellt. Die Höhe des Grundwasserspiegels ergab sich aus den über Jahre abgelesenen Grundwasserbeobachtungen in zahlreichen Brunnen. Die ermittelten Boden- und Grundwasserverhältnisse wurden dem Modell zugrunde gelegt. An dem für die Versuche benutzten Kanalquerschnitt, der teilweise in den Böschungen alte Seitendichtungen aufwies, wurden im Modell folgende Maßnahmen zur Verringerung des Wasserverlustes aus dem Kanal untersucht:

- a) Einbringung einer Sohlendichtung,
- b) Einbau von Dichtungsschürzen in den Leinpfaden beiderseits des Kanals,
- c) Vertiefung der Sickerwassergräben von 0,5 m auf 1,0 m unter Geländeoberfläche.

Während der Versuche wurden der Grundwasserhorizont und die Sickerwassermengen gemessen, die teils in den Grundwasserstrom übergingen, teils durch die Sickergräben abgeleitet wurden.

Die Versuche zu a) zeigten, daß die Sohlendichtung auf die Sickerwassermenge und auf die Höhe des Grundwasserspiegels keinen wesentlichen Einfluß ausübt, da die Wasserverluste hauptsächlich infolge Durchsickerung der Böschungen eintraten.

Zu b): Der Einbau von Dichtungsschürzen, die infolge der allzu großen Tiefe der bindigen Schichten (20—25 m) und daher infolge der erheblichen Kosten nicht in die undurchlässigen Schichten einbanden, brachte erwartungsgemäß eine Absenkung der Sickerlinie unmittelbar hinter der Wand (Bild 6). Wie die durch Färben des Kanalwassers sichtbar gemachten Stromlinien der Sickerströmung zeigten, wurde dadurch eine Verlängerung des Sickerweges erzwungen. Gemessen wurden folgende Spiegeldifferenzen vor und hinter der Schürze:

bei 5 m tiefer Schürze : $\Delta H = 0,55$ m

bei 10 m tiefer Schürze : $\Delta H = 0,85$ m

bei 15 m tiefer Schürze : $\Delta H = 1,06$ m.

Eine verhältnismäßig geringe Absenkung des Grundwasserspiegels im Gelände konnte jedoch erst bei einer 15 m tiefen Schürze, und zwar von 11 cm, festgestellt werden. Die Gesamtwasserverluste verringerten sich, bezogen auf

die Sickerwassermenge des Kanals ohne Schürze, bis zu etwa 50 % bei 15 m tiefer Schürze. Während hierbei die Speisung des Grundwasserstromes anteilmäßig nur sehr wenig abnahm, wurde der Abfluß durch den Graben bis zu etwa 60 % bei 15-m tiefer Schürze verringert. Die Tendenz der wasserführenden Stromlinien, bei tiefer werdender Schürze den freien Grundwasserspiegel in immer größerer Entfernung vom Sickerwassergraben zu erreichen, wird deutlich erkennbar.

Zu c): Bei einer Vertiefung des Grabens ergaben sich erhebliche Absenkungen des Grundwasserstandes gegenüber dem Zustand mit kleinem Graben. Die Sickerwassermenge, die den Grundwasserstrom speist, nahm dabei ab, während die Wassermenge, die durch den Graben abgeführt werden muß, und der Gesamtwasserverlust anstieg.

Zusammenfassend konnte auf Grund der Versuche festgestellt werden, daß die untersuchten Dichtungsmaßnahmen weder in Beziehung auf die Höhe des

Sickerlinien im Damm mit und ohne Anordnung von Dichtungsschürzen

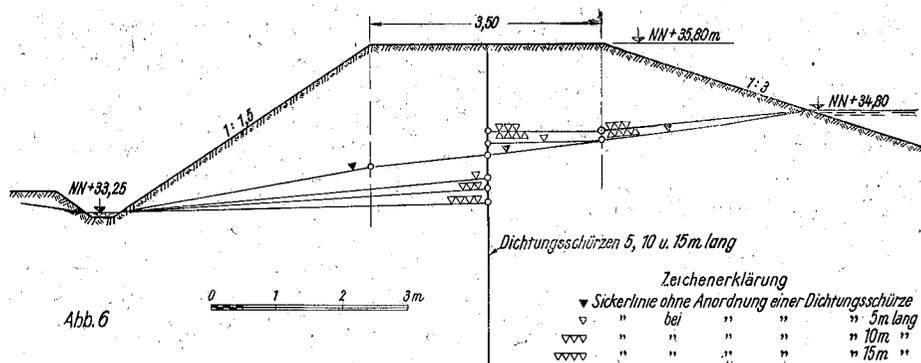


Bild 6 Sickerlinien im Damm eines Kanals im Auftrag bei Dichtung mit 15 m tiefer Schürze (Modellversuch)

Grundwasserspiegels noch auf die Sickerwasserverluste den gewünschten Erfolg brachten. Dagegen bewiesen die Versuche die Möglichkeit, durch einen vertieften Sickerwassergraben den Wasserspiegel des Grundwassers wesentlich abzusenken. Allerdings muß dabei ein größerer Wasserverlust infolge der stärkeren Neigung der Sickerwasserlinie im Damm des Kanals in Kauf genommen werden.

Die Wasserverluste wurden in einer zusätzlichen Versuchsreihe für verschiedene Druckhöhen zwischen Kanal- und Grundwasserspiegel ermittelt (Bild 7). Diese Methode zur Vermeidung der Verwässerungsgefahr kann im allgemeinen nur dann wirtschaftlich sein, wenn die örtlichen Verhältnisse die Herstellung der Vorflut des Sickerwassergrabens zum Unterwasser der nächstens Schleuse zulassen und dadurch die Rückführung des größten Teiles des Wasserverlustes in den Kanal gestatten.

Die erforderlichen Baumaßnahmen wurden auf Grund der Versuche unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten — Durchlässigkeit des Bodens, Wasserhaushalt des Kanals, Differenz zwischen Kanal- und Grundwasserspiegel usw. — ausgeführt.

Tondichtung wird entsprechend der Wasserspiegelanspannung um 50 cm hochgezogen.

Die Schlösser der neuen Uferspundwand werden auf Anregung der Dortmund-Hoerder-Hüttenunion während des Rammens mit Hilfe eines an die einzelnen Spundbohlen gehängten Trichters mit Thixoton gefüllt, um neben Rammerleich-

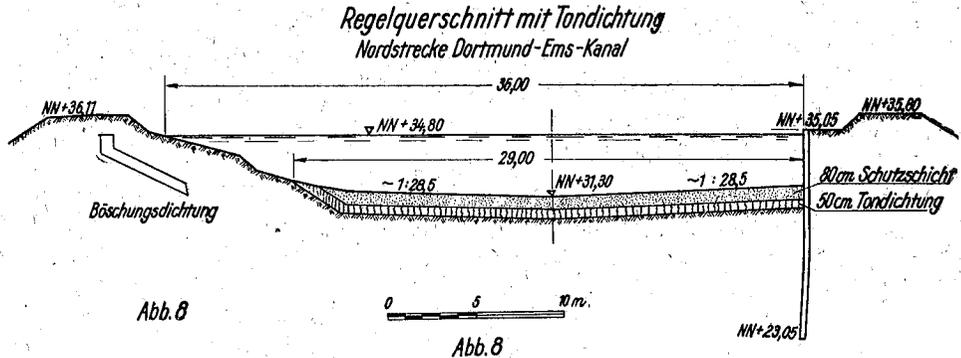


Bild 8 Regelquerschnitt des Dortmund-Ems-Kanals im Auftrag, Nordstrecke mit Tondichtung

terungen eine möglichst dichte Uferwand zu erreichen. Die eigentlichen Dichtungsmaßnahmen erstrecken sich infolgedessen im Bereich der vorstehenden Ausbaustrecke ausschließlich auf die Sohle des Kanals. Der Untergrund besteht bis in große Tiefen aus Feinsanden, erst in einer Tiefe von 20 bis 25 m wurde bei den durchgeführten Bohrungen die Oberkante eines undurchlässigen Mergels angetroffen.

Da mit gewissen Mängeln beim Einbau einer Dichtungsschicht unter Wasser gerechnet werden mußte, wurden vor Beginn der Arbeiten in der Baustoffprüfanstalt der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Münster verschiedene Dichtungsmaterialien auf ihre Durchlässigkeit untersucht, wobei die besonderen Bedingungen des geplanten Einbaues berücksichtigt wurden. Die Versuche wurden in einem besonders dafür hergestellten Durchlässigkeitsgerät durchgeführt, das einen Einbau des Materials unter Wasser zuließ und auf Grund seiner großen Durchsickerungsfläche ($F = 7850 \text{ cm}^2$) Fehlerquellen, durch die Form des Dichtungsmaterials und die Art des Einbaues bedingt, ausschaltete (Bild 9). Die Versuchsbedingungen — Schichtstärke der Dichtungen und der Überdeckung, Größe des Wasserdrucks, Kornaufbau des Filters — wurden weitgehend den Verhältnissen in der Natur angepaßt. Von dem sehr ungünstigen Fall ausgehend, daß die Dichtungsschicht mittels Greifbagger ohne nachträgliche Verdichtung in den Kanal eingebaut wird, wurde das Versuchsmaterial in einem Eimer bis zur Sohle des mit Wasser gefüllten Gerätes hinabgelassen und dort ausgekippt. Eine Verdichtungsarbeit wurde dabei nicht geleistet. Folgende Materialien wurden geprüft:

- Ton aus Gahlen,
- Ton aus der Kippe bei Hesselte (ursprünglich für die Dichtung des Seitenkanals Gleesen-Papenburg angefahren),
- Lehm aus Waltrop,
- Hydraton (hergestellt aus dem auf der Baustelle bei Venhaus anstehenden Sand),
- Schlick aus Emden.

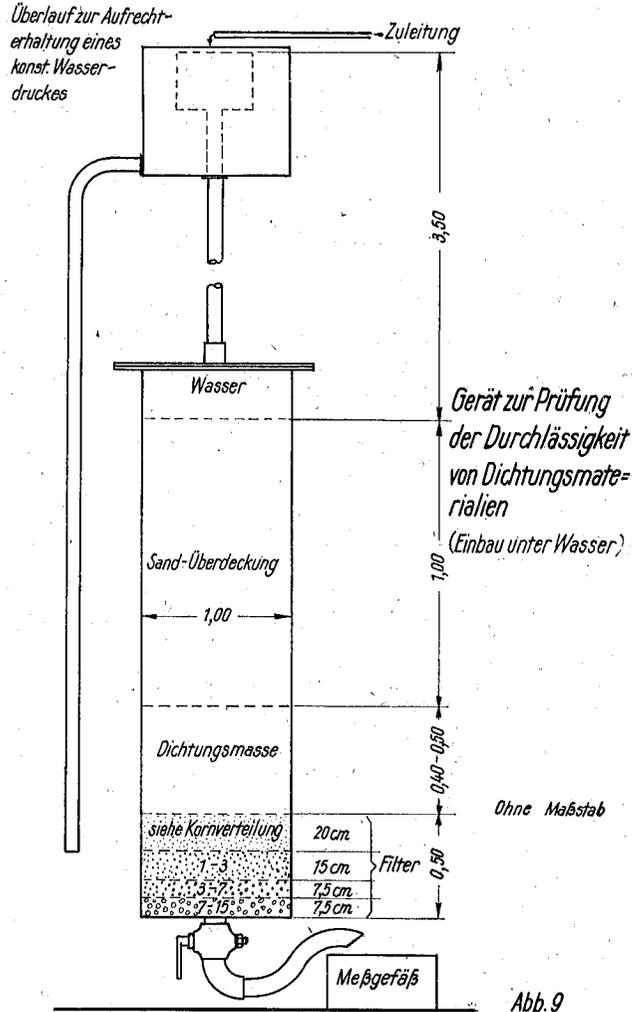


Bild 9 Gerät zur Prüfung der Durchlässigkeit von Dichtungsmaterialien nach Einbau unter Wasser (schematische Darstellung)

Die Dichtungsmaterialien wurden ohne vorherige Bearbeitung in einer Form in das Gerät eingebracht, wie sie durch Transport und Lagerung entstanden war. Schlämmanalysen ergaben die in Bild 10 dargestellten Kornverteilungskurven. Auf den in der Zeiteinheit gemessenen Wassermengen ergaben sich die Durchlässigkeitswerte k . Diese nahmen vor allem bei den zum Teil in größeren Brocken eingebauten Dichtungsmaterialien im Laufe der Zeit stark ab, da die größeren Stücke infolge Wasseraufnahme ihre Konsistenz veränderten. Dadurch begannen sich die in der Schicht vorhandenen Hohlräume unter dem Einfluß der Auflast zu schließen.

Während der Versuche (Versuchsdauer bis zu 3 Monaten) wurde eine Verringerung der Porenvolumen bis zu 13 %, bezogen auf das Porenvolumen zu

Kornverteilungskurven

- Bezeichnung
 1 — Schlick
 2 — Gahlener Ton
 3 — Ton-Hesselte
 4 — Lehm-Waltrop
 5 — Ton-Hesselte

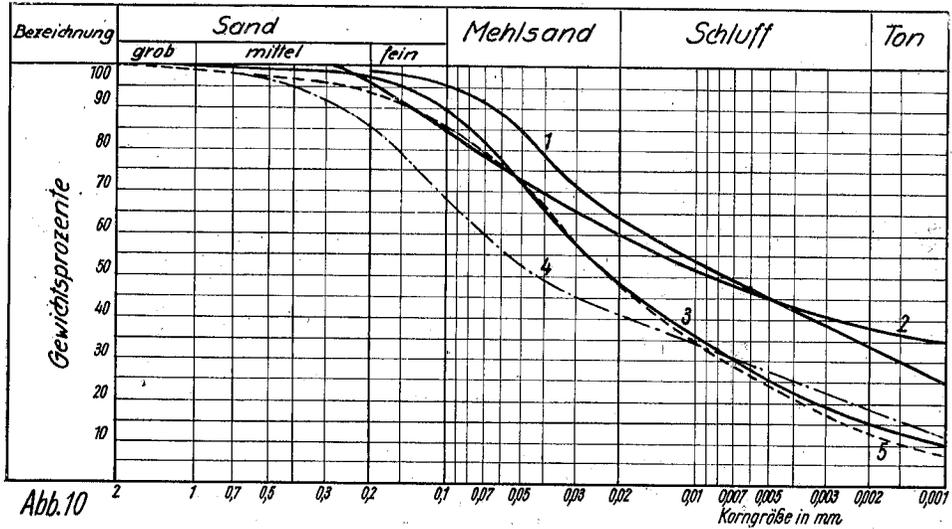


Abb.10 Kornverteilungskurven der geprüften Dichtungsmaterialien

Versuchsbeginn, gemessen. Die Durchlässigkeitsbeiwerte zu Versuchsende be-
 trugen

- für Ton aus Gahlen: $k \sim 1,0 \cdot 10^{-6}$ cm/sec
- für Ton aus Hesselte: $k \sim 2,0 \cdot 10^{-5}$ cm/sec Versuch 1
- $k \sim 3,6 \cdot 10^{-5}$ cm/sec Versuch 2
- für Lehm aus Waltrop: $k \sim 2,2 \cdot 10^{-6}$ cm/sec
- für Hydraton: $k \sim 1,8 \cdot 10^{-6}$ cm/sec
- für Schlick: $k \sim 1,2 \cdot 10^{-7}$ cm/sec

Durchlässigkeitsversuche, die für den Ton aus Gahlen und Hesselte und für
 den Lehm aus Waltrop bei dichter Lagerung im normalen Prüfgerät durch-
 geführt wurden, ergaben demgegenüber die folgenden weit geringeren Werte:

- Ton aus Gahlen: $k \sim 7 \cdot 10^{-8}$ cm/sec
- Ton aus Hesselte: $k \sim 3 \cdot 10^{-8}$ cm/sec
- Lehm aus Waltrop: $k \sim 2 \cdot 10^{-8}$ cm/sec

Diese Werte und die der Porenvolumen des Dichtungsmaterials lassen vermuten,
 daß in größeren Zeiträumen, vor allem bei den natürlichen Dichtungsmateria-
 lien Ton und Lehm eine weitere Verbesserung der Dichtungswirkung eintritt.

Die Versuche zeigten, daß die untersuchten Materialien auch bei ungünstig-
 sten Bedingungen eine brauchbare Dichtungsschicht ergaben, zumal beim Einbau
 in der Natur eine zusätzliche Verdichtungsarbeit vorgesehen war. Die Wahl des
 Dichtungsmaterials konnte deshalb nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten ge-
 troffen werden.

Gerät zum Einbau von Tondichtungen unter Wasser

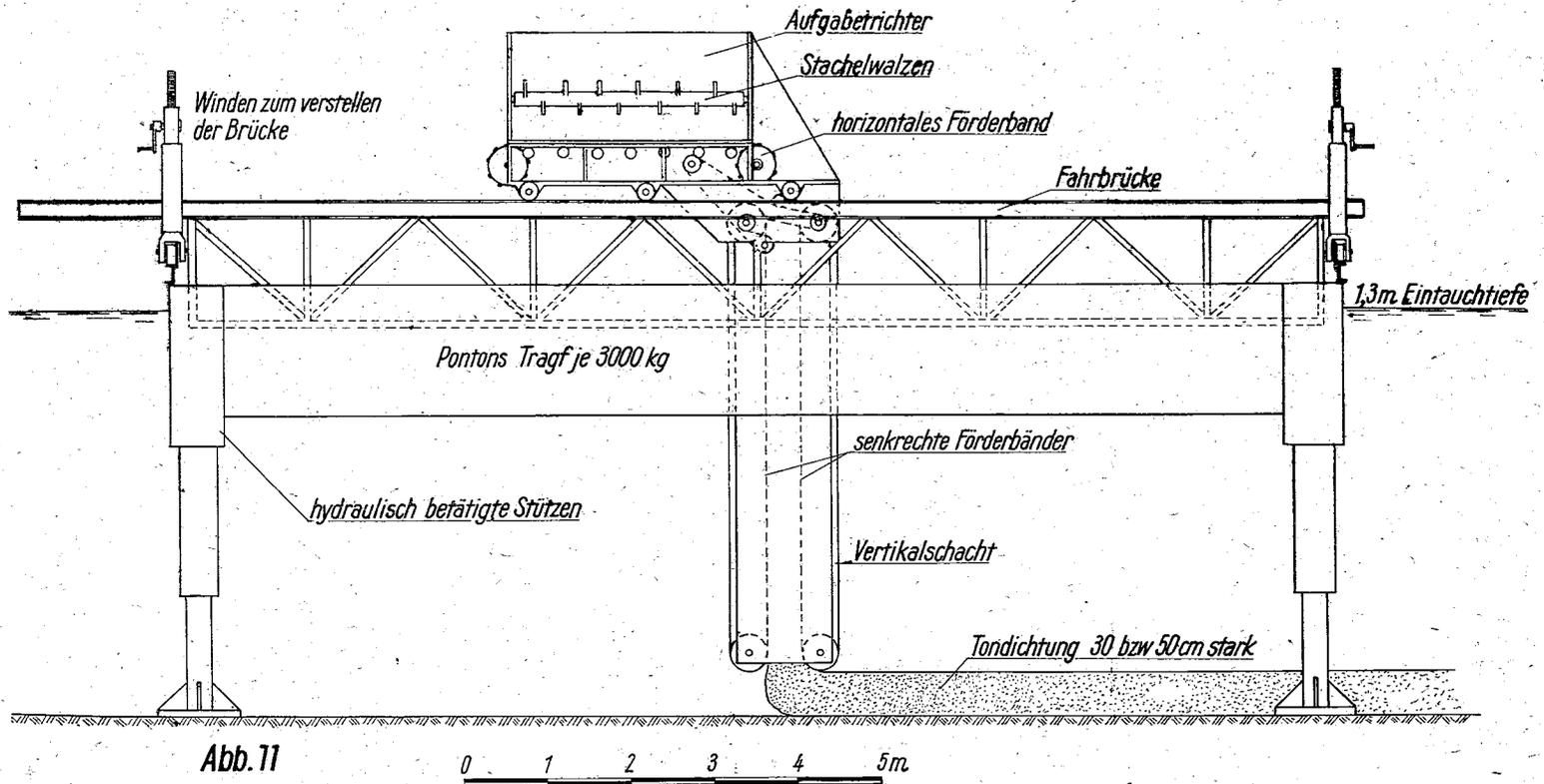


Bild 11. Gerät zum Einbau von Tondichtungen unter Wasser.

Die Ausschreibung der Ausbauarbeiten einschließlich Ausführung der Dichtungsmaßnahmen zeigte, daß eine Verwendung des in unmittelbarer Nähe der Baustelle liegenden Hesselter Tones die wirtschaftlichste Lösung darstellte. Nahezu dieselben Kosten entstehen nach dem Ergebnis der Ausschreibung beim Einbau einer Asphaltmatte von 2,5 cm Stärke. Die Wasser- und Schiffahrtsdirektion Münster entschloß sich deshalb, die Dichtung je zur Hälfte aus Hesselter Ton und aus kontinuierlich gefertigten Asphaltmatten herzustellen.

2.31 Einbau einer Tondichtung

Die ausführende Bauunternehmung Müller & Co., Essen, die den Auftrag zum Einbau der 0,3 bzw. 0,5 m starken Tonschicht — entsprechend der Druckhöhe des Kanalwassers über dem Grundwasserspiegel — auf eine Länge von 1000 m erhielt, entwickelte für die Durchführung dieses Auftrages ein Gerät (DBP angemeldet), das eine gleichmäßige Verteilung des Dichtungsmaterials unter Einhaltung der geforderten Schichtstärke und eine gute, sorgfältige Verdichtung gewährleistet (Bild 11 und 12). Bei dem Verfahren wird ein Aufschwimmen der



Bild 12 Gerät zum Einbau der Tondichtung beim Einsatz im Dortmund-Ems-Kanal, Haltung Altenrheine-Venhaus

Feinstbestandteile des Tones im Wasser vermieden. Das zur Aufbereitung und für den Einbau des Tones entwickelte Spezialgerät besteht im wesentlichen aus einem rechteckigen Gitterträgersystem, das in Arbeitsstellung senkrecht zur Kanalachse etwa die halbe Sohlenbreite überdeckt. Darauf ist eine Fahrbrücke angeordnet, die in Kanalachse zu bewegen ist. Diese wiederum trägt die senkrecht zur Kanalachse verfahrbare eigentliche Aufbereitungs- und Einbauvor-

richtung. Sie besteht aus einem Aufgabetrichter mit sich gegenläufig drehenden Stachelwalzen zum Zerkleinern des Materials, einem horizontal liegenden Förderband, welches das Material vom Aufgabetrichter zu einem senkrechten Schacht transportiert, und dem Schacht selbst, dessen Wände durch 2 feststehende Blechtafeln und durch 2 sich gegenläufig zur Kanalsohle hin drehende Förderbänder gebildet werden. Das ganze Gerät ist auf Pionierpontons montiert, die den Transport auf dem Wasserwege und ein Einschwimmen am Einbauort gestatten. An den Ecken des Gitterträgersystems befinden sich in der Höhe verstellbare Füße mit Grundplatten, auf die das Gerät während des Einbaues abgesetzt wird. Auf diese Weise ist die Höhe des Gerätes unabhängig von Wasserspiegelschwankungen in der Kanalhaltung. Zur Feinregulierung der Schichtstärke und der unter einer Neigung 1 : 28,5 liegenden Oberfläche der Dichtung ist auch der Rahmenträger in der Höhe verstellbar.

Das durch Greifbagger aus den Transportschiffen in den Aufgabetrichter gebrachte Material wird in diesem zerkleinert, fällt durch eine Öffnung im Boden des Trichters auf das horizontale Transportband und wird von diesem zu dem senkrechten, 5,10 m tiefen Schacht transportiert. Dort wird das Material durch sein Eigengewicht und durch die Auswirkung der Reibung an den Förderbändern verdichtet und schließlich durch die Förderbänder in Form einer viereckigen Preßwurst auf die Kanalsohle verlegt. Die Breite einer solchen über die halbe Breite der Kanalsohle reichenden Bahn beträgt 1,0 m. Die Länge des Gerätes (in Kanalachse) gestattet es, 4 derartige Bahnen ohne Umsetzen des Gerätes zu verlegen.

Durch einen im Trockenen durchgeführten Probetrieb konnte das einwandfreie Arbeiten des Gerätes und eine ausreichende Lagerungsdichte der verlegten Dichtungsschicht nachgewiesen werden. Beim Verlegen entstand an der Nahtstelle zwischen den Bahnen eine Aufwölbung des Tones (Bild 13), ein Beweis für die gute Verzahnung. Die einzelnen Bahnen wiesen eine glatte Oberfläche auf. Aus der Schicht entnommene Proben besaßen etwa die gleiche Dichte, wie sie bei Proben erzielt wurde, die zu Vergleichszwecken durch Stampfen und durch Kneten von Hand verdichtet wurden. Die erreichte Lagerungsdichte am Tage der Herstellung entsprach mindestens der des Tones bei den Durchlässigkeitsversuchen nach Einbringen der Überdeckungsschicht.

Wie die durchgeführten Untersuchungen erwarten ließen, wurde beim Einbau der Tonschicht im Kanal eine gute Lagerungsdichte des Materials erzielt. Die unter Wasser eingebaute Schicht wird in regelmäßigen Abständen durch Taucher überwacht. Die Lagerungsdichte soll außerdem durch Strahlungsmessungen mittels radioaktiver Isotopen überprüft werden. Überdies ist eine Besichtigung der Schicht durch einen Trichter möglich, aus dem das Wasser mittels Preßluft ausgeblasen wird; die Schicht wird dabei durch eine Unterwasserlampe angestrahlt.

Die Stärke der eingebauten Schicht bzw. die dafür verbrauchten Massen werden mit Hilfe von Eichaufnahmen an den Transportschiffen und durch Aufmessungen der Dichtungsmassen an der Entnahmestelle laufend kontrolliert. Die dabei ermittelten Werte lagen im Durchschnitt etwa 8 % höher als die dem Entwurf zugrunde gelegte Dichtungsschicht und das Einmessen der Querprofile im Kanal ergaben. Dieser Mehrverbrauch ist ein Zeichen für die gute Verdichtungsarbeit des Gerätes. Die verdichtende Wirkung dürfte sich ausschließlich auf die Tondichtung erstrecken, da nicht anzunehmen ist, daß eine wesentliche Verdichtung der Sohle stattfindet. Obwohl der Einbau der Ton-

schicht noch nicht abgeschlossen ist, konnte bereits ein Absinken des Grundwasserspiegels in den im Leinpfad befindlichen Grundwasserbeobachtungsbrunnen festgestellt werden. Diese betragen zum Zeitpunkt der Berichterstattung, nachdem etwa 600 lfm der Tondichtung eingebaut waren, etwa 0,25 m. Ein weiteres Absinken ist nach Fertigstellung der Dichtung und nach Aufspülen der Überdeckung von 0,8 m Stärke infolge weiterer Verdichtung der Schicht zu erwarten.

Beim Einbau konnten bisher maximale Tagesleistungen (10stündige Arbeitszeit) von 840 m² erzielt werden. Nachdem sich die Bedienungsmannschaft eingearbeitet hatte und einige Mängel am Gerät beseitigt waren, betrug die mittlere Leistung etwa 450—500 m²/Schicht. Hierbei sind die Behinderungen der

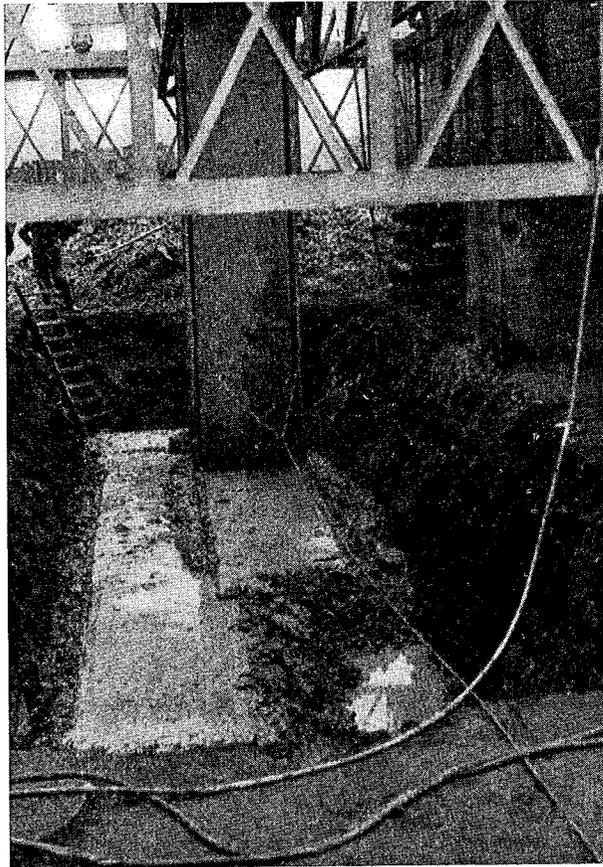


Bild 13 Probetrieb des Gerätes im Trockenen — 2 aus Ton nebeneinander verlegte Bahnen

Arbeiten durch die Schifffahrt, die Minderleistungen durch Nacharbeit und die Zeit, die zum Umsetzen des Gerätes nötig ist, bereits berücksichtigt. Ein Einbinden der Dichtung an die wellenförmige Uferspundwand wurde durch nachträglichen Verkippen von Tonmassen und durch Nachstampfen von Hand erreicht.

2.32 Verlegung von Asphaltmatten

Bei der Verlegung der Asphaltmatten zur Abdichtung der Kanalsohle konnten die vielseitigen Erfahrungen und Erkenntnisse benutzt werden, die bei der Fertigung und Verlegung von fugenlosen Asphaltmatten [2] in einer Versuchsstrecke bei Rheine gewonnen wurden. Hier hatte die Asphaltmatte zwar keine dichtende Funktion, da die Versuchsstrecke durchweg im Einschnitt lag, jedoch traten bei der Fertigung und Verlegung dieser ausschließlich für den Böschungsschutz eingebauten 8 cm starken fugenlosen Matten dieselben Probleme auf.

Der wirtschaftlichen Herstellung der 2,5 cm dicken Asphaltmatte zur Abdichtung der Kanalsohle kam der Umstand zugute, daß die seinerzeit für die Versuchsstrecke von der Deutschen Asphalt- und Tiefbau AG. (DEBAG, Frankfurt/Main) entwickelte und eingesetzte schwimmende Asphaltaufbereitungsanlage benutzt werden konnte. Lediglich die Verlegeeinrichtung mußte wegen der größeren Abmessungen der Sohlenmatte gegenüber der Böschungsmatte neu hergestellt werden, wobei das seinerzeit angewandte Prinzip bis auf wenige Verbesserungen beibehalten wurde.

Die Asphaltaufbereitungs-(Impact)-Anlage (Bild 14) ist auf einer alten Artilleriefähre, einem Schiffskörper von etwa 50 m Länge und 6,50 m Breite, mon-

Schwimmende Asphaltaufbereitungsanlage

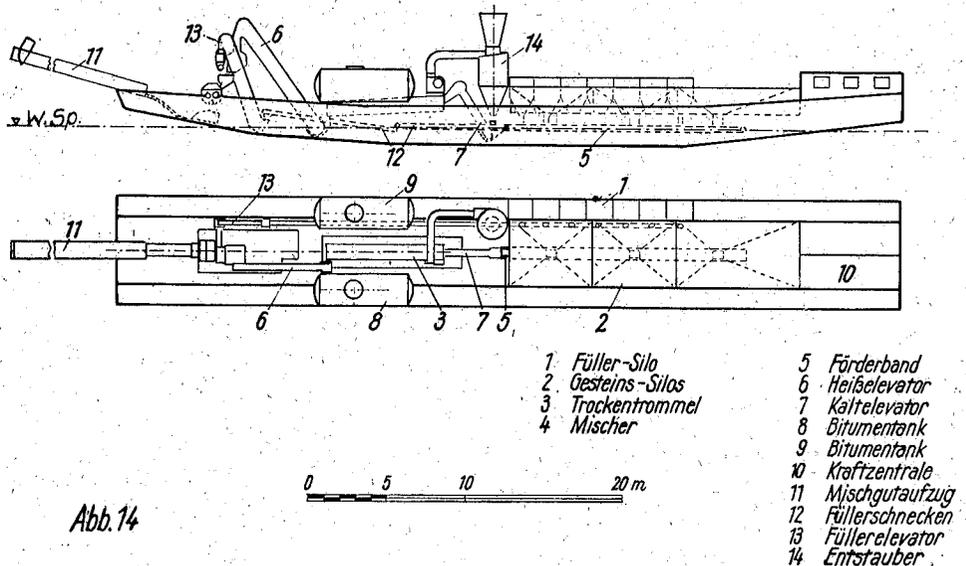


Abb. 14

Bild 14 Schematische Darstellung der schwimmenden Asphaltaufbereitungsanlage

tiert. Das Schiff kann außer den eingebauten Maschinen und Bunkern eine Nutzlast von 300 t tragen. Füller und Sand werden nach Korngröße getrennt in Silos bzw. Bunkern gelagert. Der Sand wird durch ein Förderband, das Kalksteinmehl mittels einer Schnecke — beide Fördergeräte unter den Bunkern bzw. Silos — in die Trockentrommel befördert. Von dort gehen die Zuschläge über den Heißelevator zum Mischer. Das Bindemittel Bitumen, das sich in heißem

Zustand in den Tanks befindet, wird in den Mischer gepumpt. Ein Windsichter sorgt für die Entstaubung der Trockentrommel und der Misanlage. Der für die zahlreichen Abtriebsmotoren erforderliche Strom wird in einer Kraftzentrale im Heck des Schiffes von einem 180 PS-Diesel-Elektro-Aggregat erzeugt.

Die Herstellung der Asphaltmastix erfolgt auf Vorschlag der ausführenden Firma, die wiederum durch die Zentrallaboratorien der asphalterzeugenden Industrie beraten wurde, nach folgendem Mischungsverhältnis:

- 16 % Bitumen B 65
- 27 % Kalksteinfüller M 70/30
- 57 % Sand K 0-2 mm.

Mit Rücksicht auf die Verwendung des Asphalttes als Dichtungsmaterial war damit der Anteil an Bindemitteln und gleichzeitig des Sandes höher als bei der oben angeführten Matte, die lediglich der Böschungsbefestigung diene.

Nach genügender Durchmischung fällt die Asphaltmasse aus dem Mischer in den Mischgutaufzug und wird von diesem zur Verlegebühne (Bild 15) transpor-

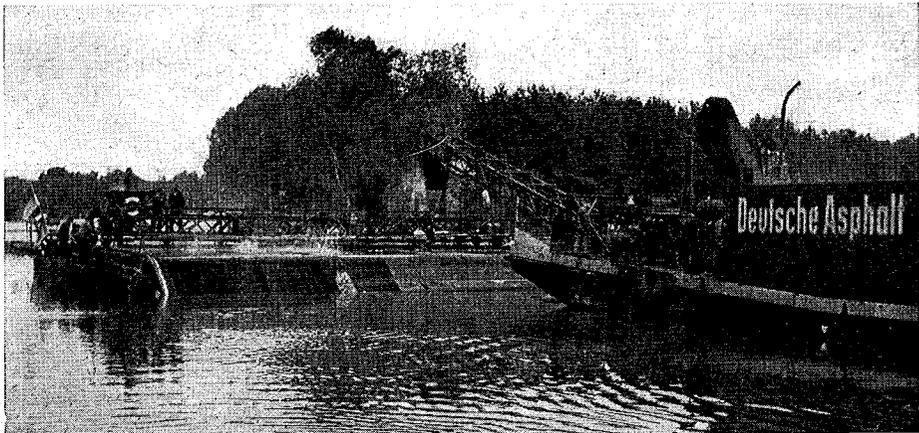


Bild 15 Einbau von Asphaltmatten als Sohlendichtung im Dortmund-Ems-Kanal, Haltung Altenrheine-Venhaus, Gesamtansicht

tiert. Diese besteht teils aus Siebelfähren, teils aus Pionierpontons mit einer Abdeckung aus Stahlblechen. Sie besitzt eine Breite von etwa 15 m, entsprechend der halben Sohlenbreite des Kanals. Die Asphaltmasse wird mit einem elektrisch gesteuerten, auf einer Förderbrücke laufenden Verteilerwagen auf einer Schicht aus wasserfest gelemtem Papier ausgebreitet und mit einer elektrisch angetriebenen und mit Propangas beheizten, rotierenden Abstrichbohle abgeglichen. Das zur Kühlung der mit einer Temperatur von 180—190°C aufgetragenen Asphaltmassen erforderliche Wasser wird durch eine Berieselungsanlage auf die Oberfläche der Matte geleitet und durch zahlreiche Bohrungen in den Deckblechen der Verlegebühne gegen die Unterseite der Matte gedrückt. Das Papier verhindert das Auftreten von Schäden in der Asphaltmatte durch das unter Druck stehende Kühlwasser. Der hierbei unter der Papierlage entstehende Wasserdampf vermindert die Reibung zwischen Matte und Blechtafeln und erleichtert dadurch das Abgleiten der Matte von der Bühne. Die

Verlegebühne und die Aufbereitungsanlage werden mit einer Geschwindigkeit, die der Fertigstellung der Matte entspricht, in Richtung des Einbaues vorwärts gezogen, so daß die Matte über eine Ablaufvorrichtung auf die Kanalsohle gleitet. Eine unter der Papierschicht befindliche Jutebahn (350 gr/m²) übernimmt in der Art einer Hängematte die während des Abgleitens von der Verlegeeinrichtung auf die Kanalsohle auftretenden Zugkräfte, die zu Rissen in der Matte führen könnten. Eine Bewehrung der Matte ist ebenso wie bei der Böschungsmatte nicht angeordnet.

Die für den Antrieb erforderlichen Maschinen befinden sich auf der Verlegeeinrichtung, während der Vorschub bei der Böschungsmatte durch eine auf Schienen am Ufer laufende Zugeinrichtung bewirkt wurde. In beiden Fällen ist eine kontinuierliche Bewegung der Verlegeeinrichtung gesichert. Die Matte wird in einer Breite von 15,00 bzw. 14,80 m hergestellt (Bild 16). Bei der 29 m breiten

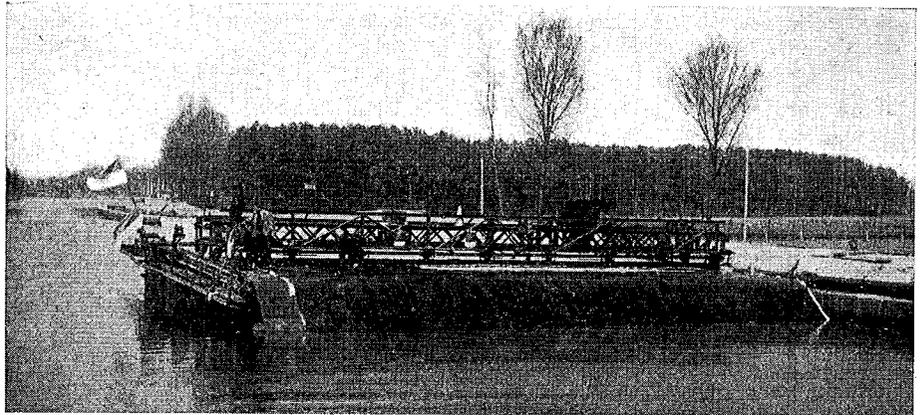


Bild 16 Bühne für die Verlegung der Asphalt-Dichtungsmatten

Kanalsohle ist somit lediglich in Kanalmitte eine Arbeitsfuge vorhanden, die durch eine Überlappung von 80 cm überdeckt wird. Durch den Druck der etwa 1 m starken Schutzschicht und durch den Wasserdruck werden die übereinanderliegenden Teile der Matte so gegeneinander gedrückt, daß eine dichte Verbindung gewährleistet ist.

Der Anschluß der Matten an die wellenförmige Spundwand wurde anfangs durch Paßstücke hergestellt, die von der Matte überdeckt wurden. Sie bestanden aus 0,3 m breiten Streifen, die der Form der Spundwand angepaßt waren. Die noch vorhandenen Fugen zwischen der Wand und den Paßstücken wurden durch einen Taucher mittels einer Spezial-Klebmasse gedichtet, die bei einer Temperatur von 200° C hergestellt und bei etwa 70—80° C unter Wasser eingebaut wird. Bei den ersten Arbeiten stellte sich heraus, daß das Einsetzen der Paßstücke bei den nicht zu vermeidenden Unregelmäßigkeiten der gerammten Spundwand und infolge Ablagerung von Sand in den Spundwandtälern sehr schwierig war. Die Firma ging deshalb dazu über, für den Anschluß der Matten an die Wand nur die oben angegebene Spezial-Klebmasse zu verwenden.

Nach dem Einarbeiten der Mannschaft und nach Beseitigung kleiner Mängel an der Verlegeeinrichtung wurde eine durchschnittliche Tagesleistung — bei 12stündiger Arbeitszeit — von etwa 60 m, das entspricht einer Leistung von

etwa 900 m²/Tag, erzielt. Die maximale Leistung betrug 105 m pro Tag, das sind etwa 1570 m² pro Tag. Hierin sind nicht die zu leistenden Dichtungsarbeiten an der Spundwand und das Umsetzen des Gerätes von einer auf die andere Seite des Kanals eingeschlossen.

Die Matte wird in gewissen Zeitabständen, z. B. vor dem Aufspülen der Überdeckung, hinsichtlich ihrer Lage und Beschaffenheit, durch Taucher überprüft. Eine dichtende Wirkung der Asphaltmatte konnte zwar durch Absinken des Grundwasserstandes auch auf dieser Strecke beobachtet werden, jedoch können genauere Angaben erst auf Grund der zahlreichen Grundwasserbeobachtungen nach Abschluß der Arbeiten gemacht werden.

3. Dichtungsmaßnahmen an Flüssen —

Dichtungswand in kiesigem Untergrund mit Findlingen an der Donau

3.1 Veranlassung und Zweck der Baumaßnahme

Im Sommer des Jahres 1956 wurden die Bau- und Montagearbeiten für das Donaukraftwerk Jochenstein beendet. Damit war als deutsch-österreichische Gemeinschaftsarbeit eines der größten Flußkraftwerke Mitteleuropas innerhalb von knapp 4 Jahren fertiggestellt.

Wenn auch für diesen Bau die Stromerzeugung im Vordergrund des Interesses stand — das Flußkraftwerk liefert jährlich etwa 1 Milliarde Kilowattstunden — so dürfen doch die Vorteile dieser Staustufe in der Donau für die internationale Schifffahrt nicht übersehen werden.

Mit Rücksicht auf die Stromerzeugung und Schifffahrt war ein möglichst hoher Stau in Jochenstein erwünscht, der jedoch seine Begrenzung durch die 25 km stromauf liegende Stadt Passau fand; denn hier mußte der Mittelwasserspiegel der Donau unbeeinflusst bleiben, um weder den Grundwasserstand im Stadtbereich zu erhöhen noch die bestehende Kanalisation zu beeinträchtigen. Andernfalls wäre das Bauvorhaben unwirtschaftlich geworden.

Mit dieser Festlegung des Stauzieles ergab sich im Bereich der 7 km oberhalb der Sperrstelle am bayerischen Ufer liegenden Marktgemeinde Oberzell eine Erhöhung des Wasserspiegels der Donau und des Grundwasserspiegels im Ortsbereich um rund 6 m. Damit wären ohne besondere Schutzmaßnahmen nicht nur die Keller der meisten Häuser dieser 2200 Einwohner zählenden Ortschaft unter Wasser gekommen, sondern auch die Fundamente sämtlicher Gebäude, von denen einzelne unter Denkmalschutz stehen. Es muß deshalb der Grundwasserspiegel im Ortsbereich auch nach Stauerriichtung durch geeignete technische Maßnahmen auf der bisherigen Höhe gehalten werden.

3.2 Die verschiedenen Ausführungsvorschläge

Der Untergrund des Ortes Oberzell besteht, wie im gesamten Staubereich des Kraftwerkes Jochenstein, aus Gneis — Granit, der hier jedoch von einer 12—14 m starken Schicht aus grobem Geröll und Geschiebe mit verhältnismäßig großer Durchlässigkeit überlagert ist. Man konnte also nicht damit rechnen, lediglich durch eine Grundwasserabsenkung der gestellten Aufgabe gerecht zu werden; es mußte vielmehr die Ortschaft längs der Donau durch eine Dichtungswand umschlossen werden, die in den tiefliegenden Fels und in das am Tal-

hang zu Tage tretende Gestein einbindet (Bild 17). Das dann noch anfallende Sickerwasser würde sich, ebenso wie die Regen- und Abwässer im Ortsbereich, ohne besondere Schwierigkeiten über ein Pumpwerk in die gestaute Donau fördern lassen.

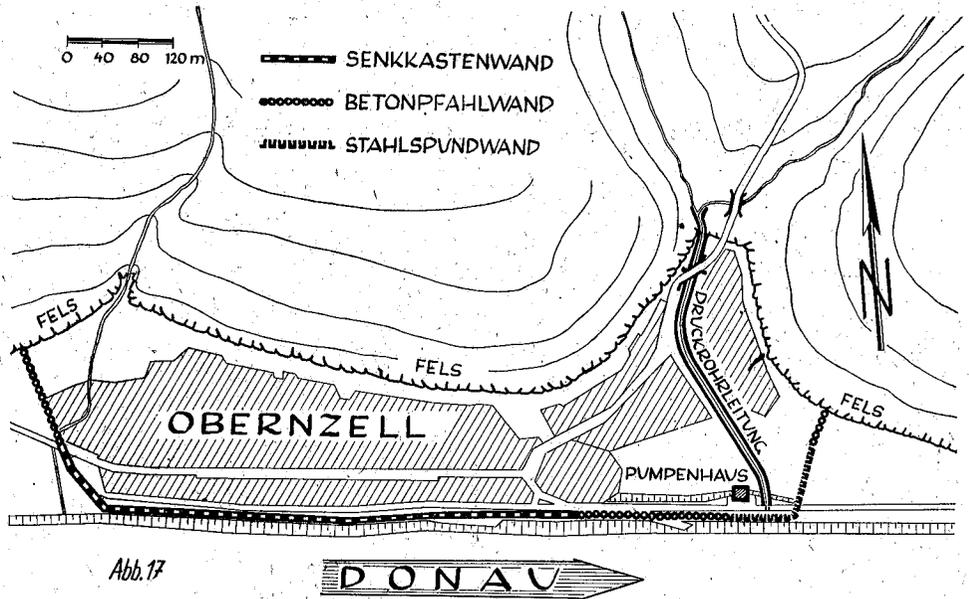


Bild 17: Lageplan der Ortschaft Oberzell mit Dichtungswand gegen die Donau

3.21 Stahlspundbohlen als Dichtungselement

Für die Herstellung der Dichtungswand aus Stahlspundbohlen wurden vom Bauherrn verschiedene Varianten untersucht.

Die offensichtlich billigste, eine in den Kies bis auf den Fels gerammte Spundwand, erschien jedoch in ihrer Durchführung fragwürdig, da durch Probebohrungen im Kies vereinzelt Findlinge festgestellt waren. Mit Rücksicht auf die erheblichen Mehrkosten anderer Ausführungsarten entschloß man sich aber trotzdem zu einer Proberammung, und zwar in einem Bereich, wo die Dichtungswand am weitesten, etwa 80 m, von den zu schützenden Objekten entfernt war und außerdem Kies mit geringer Durchlässigkeit anstand (Bild 17, unterstromiges Ende der Dichtungswand). Sollte diese Proberammung nicht zu einem vollen Erfolg führen, so konnte man, wenn überhaupt, nur in diesem Bereich durch eine verstärkte Grundwasserabsenkung immer noch das gewünschte Ziel erreichen und auf eine im Laufe der Jahre eintretende Selbstdichtung hoffen. Bei Bauausführung zeigte sich dann aber, daß trotz staffelförmigen und vorsichtigen Rammens nur ein geringer Teil der Bohlen bis auf den Fels eingetrieben werden konnte. Auch Sprengungen von im Untergrund angetroffenen Findlingen führten zu keinem Erfolg. Es mußte deshalb für die Herstellung der Dichtungswand eine andere Ausführungsart gewählt werden.

Unter Beibehaltung des Gedankens, Stahlspundbohlen zu verwenden, wurde erwogen, die Rammhindernisse zunächst zu beseitigen. Es sollte also für die Dichtungswand längs des Flusses im Schutze einer die Strömung abweisenden Buhne der grobe Kies samt Findlingen unter Wasser bis auf den Fels ausgehoben,

wasserseits als Damm gelagert, und der auf diese Weise entstandene Graben mit feinkörnigem Kies gefüllt werden, in den dann die Bohlen ohne Schwierigkeit bis auf den Fels eingetrieben werden könnten.

Eine Variante hierzu sah vor, die Spundwand in den Graben zu stellen und dann beiderseits gleichmäßig ansteigend mit Kies zu füllen. Abschließend sollte die Spundwand in den auf der Oberfläche morschen Fels eingetrieben werden. In diesem Falle wäre auch ein schwächeres Spundwandprofil ausreichend gewesen, da die vom Kies beiderseits eingeschlossenen Bohlen beim Rammen kaum noch hätten ausweichen können.

Eine Bauunternehmung machte den Sondervorschlag, 2 parallel verlaufende Spundwände in 2 m Abstand von einem zuvor geschütteten Rammplanum einzutreiben und den Kies zwischen den Spundbohlen mit der Rammung fortschreitend auszuheben, so daß praktisch die Bohlen einseitig bis zu ihrer Unterkante freistehen. Das Neuartige dieses Vorschlages war, die 2 m breite Baugrube durch Stempel abzustützen, die hergestellt werden sollten in der Art von Oldruckpressen, deren Druck durch Manometer kontrolliert werden kann. Wenn beim Rammen, so argumentierte die Firma, die Spundbohlen einen Findling unter spitzem Winkel treffen, wird die Bohle seitlich nach innen oder außen gedrängt, was sich durch plötzliche Zu- oder Abnahme des Oldruckes im Stempel der Aussteifung bzw. am Manometer bemerkbar macht. In diesem Falle sollte der Findling zunächst freigespült oder gesprengt werden. Weiterhin war bei diesem Vorschlag beabsichtigt, die Baugrube nach Erreichen der Felssohle und Einziehen von entsprechenden Querschotten abschnittsweise leerzupumpen und in diesem Baustadium einen Dichtschluß der einen Spundwand am Fels herzustellen. Anschließend sollte die Baugrube mit Kies verfüllt und die andere Spundwand zur weiteren Verwendung gezogen werden.

3.22 Dichtungswand aus Ortbetonpfählen

Auch für die Verwendung von in Bohrlöchern hergestellten Betonpfählen als Element einer Dichtungswand wurden mehrere Varianten untersucht.

Der Vorschlag, durch Injektionen einen Dichtungsschleier zu schaffen, erschien wegen des zum größten Teil grob durchlässigen Untergrundes und der andererseits oft sehr dicht gelagerten Findlinge als sehr fragwürdige Lösung. Jedenfalls fand sich keine Unternehmung, die unter den gegebenen Verhältnissen eine Garantie für ausreichende Wasserundurchlässigkeit zu übernehmen bereit war. Es schien vielmehr lediglich eine Wand aus dicht an dicht stehenden Ortbetonpfählen eine Gewähr für ausreichenden Abschluß zu bieten.

Der Bauherr hatte hierzu Ortbetonpfähle vorgesehen, deren Bohrlöcher unverrohrt mittels Dickspülung hergestellt werden, und die außerdem ineinandergreifen, was leicht zu erreichen ist, wenn zunächst jeder 2. Pfahl gebohrt und betoniert wird, und zwar in einem geringeren Abstand als der Pfahldurchmesser. Die später zwischengebohrten Pfähle müssen dann zwangsläufig in die zuerst hergestellten eingreifen, wodurch ein Dichtschluß erzielt wird. Sollte jedoch wider Erwarten ein Bohrloch aus der Lotrechten abweichen, z. B. infolge Ablenkung des Bohrgestänges durch einen unter sehr spitzem Winkel getroffenen Findling, so wird durch die Dickspülung, die während des Bohrens je nach Durchlässigkeit des Kiesel mehr oder weniger tief in den Untergrund eindringt, eine zusätzliche Dichtung geschaffen, die den einseitigen Wasserüberdruck nach Stauerichtung (etwa 6 m) aufnehmen kann. Dies ist besonders der Fall, wenn für die Dickspülung nicht Ton, sondern Bentonit verwandt wird. (Versuche des

Bauherren haben ergeben, daß bei dem in Oberzell anstehenden groben Kies der Bentonitschlamm ca. 1 m tief in den Untergrund eindringt und dann einen Wasserdruck von mehr als 6 m aushält.)

Nach einem hierzu von einer Bauunternehmung vorgelegten Sondervorschlag sollte dem Bentonitschlamm Zement zugesetzt werden, so daß eine langsam abbindende und erhärtende Bindemittelschlempe entsteht, die dann nach Beendigung der Bohrarbeit nicht mehr durch Beton ersetzt werden muß, sondern im Bohrloch verbleibt und dort erhärtet.

Ein anders gearteter Vorschlag einer Firma war: Ort-Betonpfähle ohne Dickspülung, also mit Verrohrung des Bohrloches. Das Ineinandergreifen der in nicht unterbrochener sondern fortlaufender Reihenfolge herzustellenden Pfähle sollte durch eine in Richtung des Arbeitsfortschrittes zeigende zylindrische Ausparung des Betonpfahles gewährleistet sein, in der dann das Bohrrohr des nächsten Pfahles eine Führung findet.

3.23 Betonwand mit Caisson

Schließlich wurde von Unternehmerseite noch der Entwurf eingereicht, die Dichtungswand als zum Teil bewehrte und gelenkig unterteilte Betonwand herzustellen, die mittels Caissons bis auf den Fels abgesenkt wird. Während die Betonwand nur 50 cm stark ist, erhält der Caisson eine Breite von 2 m bei einer Länge von 11,4 m. Bei nicht gleicher Höhenlage des felsigen Untergrundes soll der Caisson so weit wie möglich niedergebracht und anschließend der Kies bis zum Fels durchgehend ausgeräumt werden, wobei die dann freigelegten seitlichen Kiesflächen durch Anwerfen von schnellbindendem Mörtel standfest und luftdicht zu machen sind. Ebenso sollte morscher Fels abgetragen und durch wasserdichten Beton ersetzt werden, ja wenn notwendig noch eine zusätzliche Dichtung des Felsuntergrundes durch Injektionen erzielt werden (Bild 18). Die

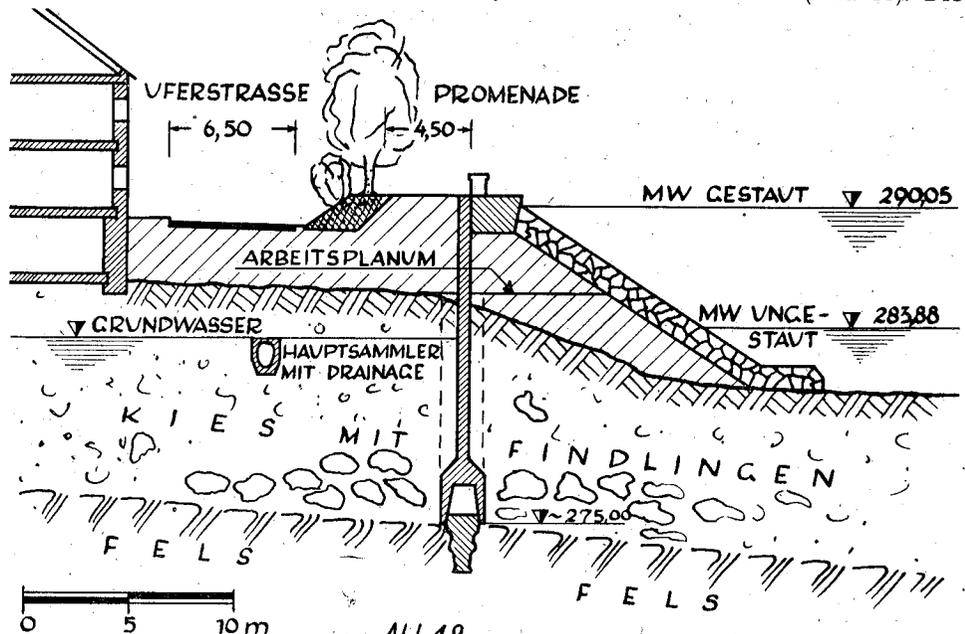


Abb. 18

Bild 18 Regelquerschnitt für die Dichtungswand mit Senkkastengründung

einzelnen, 11,4 m-Lamellen der Betonwand sollten schließlich durch gleichfalls in den Fels eingreifende Ortbetonpfähle gegeneinander gedichtet werden.

Der Gedanke, statt der Caissons offene Stahlbeton-Brunnen dicht an dicht abzusenken, wobei unter der Brunnenschneide angetroffene Findlinge freigespült werden, ähnlich wie bei der zuvor beschriebenen Variante mit zwei Spundwänden, wurde wegen der unregelmäßigen Oberfläche des felsigen Untergrundes nicht weiter diskutiert.

3.3 Bewertung der Vorschläge

Für die Bewertung der Varianten war natürlich deren Wirtschaftlichkeit maßgebend, wobei neben den Herstellungskosten auch das jeweils verschieden große Risiko hinsichtlich Dichte und Bauzeit zu berücksichtigen war. Diese Entscheidung wurde dadurch erleichtert, daß nach den vorliegenden Angeboten die Herstellungskosten der einzelnen Vorschläge nur geringe Differenzen zeigten. Die Bewertung konnte daher vorwiegend nach technischen Gesichtspunkten erfolgen:

Eine Stahlspundwand, die in einen bis auf den Fels ausgehobenen Graben gestellt oder in den mit feinem Kies wieder verfüllten Graben gerammt wird, ergibt zweifellos nicht den dichten Anschluß wie eine in den Fels eingreifende Wand aus Ortbetonpfählen, vorausgesetzt, daß diese dicht an dicht stehen. Denn die Findlinge lagerten nach den Bohrergebnissen streckenweise nur wenig über dem Fels, und man hätte daher beim Ausheben des Grabens oft nicht einwandfrei feststellen können, ob bereits die Felssohle erreicht ist oder noch eine Schicht von eng aneinanderliegenden Findlingen ausgeräumt werden muß. Beim Herstellen der Löcher für die Betonpfähle dagegen konnte man den vermeintlichen Fels so tief anbohren, z. B. 1,5 m, daß man Gewißheit hatte, ob ein Findling oder tatsächlich der felsige Untergrund erreicht war. Die zuvor genannten Spundwand-Varianten schieden daher aus.

Von den Varianten „Dichtungswand aus Ortbetonpfählen“ wurde der Vorschlag ohne Dickspülung, also in verrohrten Bohrlöchern hergestellte Pfähle, verworfen; denn es bestand die Befürchtung, daß zumindest nahe der Donau im groben Kies eine verhältnismäßig starke Strömung des Grundwassers vorhanden ist und damit die Gefahr besteht, daß der Bindemittelleim aus dem frisch eingebrachten Beton der Pfähle ausgespült wird. Dies hat auch später ein Versuch während der Bauausführung bestätigt.

Es standen somit nur noch die Varianten „Spundwand mit 2 m breitem Aushubschlitz“, „Ortbetonpfähle mittels Dickspülung hergestellt“ und „Betonwand mit Caissons“ zur Diskussion.

Der erst- und letztgenannte Vorschlag zeigten insofern eine gewisse Ähnlichkeit, als nach dem Aushub des Kieses die Felsoberfläche besichtigt und zusätzlich notwendig erscheinende Dichtungsmaßnahmen durchgeführt werden konnten. Sie haben andererseits auch den Nachteil, daß beim Ausheben des Kieses und Heruntertreiben der Spundbohlen bzw. Absenken der Caissons eine Auflockerung des Untergrundes eintritt, so daß man diese Herstellungsarten nur in einem ausreichenden Abstand von Gebäuden anwenden konnte, z. B. für die Dichtungswand längs der Donau und einen Teil der westlichen Abschlußwand. Die Entscheidung fiel zugunsten der Variante Betonwand mit Caissons, da diese beim Bau des Speichers Roßhaupten von der anbietenden Firma in ähnlicher Art, allerdings mit fast doppelter Breite der Caissons, ausgeführt worden war. In jenen Strecken, wo die Dichtungswand unmittelbar neben

Häusern ausgeführt werden, also jede Auflockerung des Untergrundes vermieden werden mußte, blieb jedoch als einzige Lösung der mittels Dickspülung hergestellte Ortbetonpfahl als Bauelement. Der Bauherr entschied sich hierzu für Bentonitpülung beim Bohren, ein Verfahren, nach dem im Ausland bereits 60 000 m² Dichtungswand unter ähnlichen geologischen Verhältnissen mit bestem Erfolg hergestellt worden sind. Dem Sondervorschlag, dem Bentonitschlamm ein Bindemittel zuzusetzen, mußte die Zustimmung versagt bleiben, da hierzu noch keine ausreichenden Erfahrungen vorlagen und auch die Garantie für die Festigkeit der Pfähle fraglich erschien.

Der Auftrag wurde an eine Arbeitsgemeinschaft jener Firmen, welche die gewählten Varianten angeboten hatten, erteilt und zwar mit einheitlichem Preis je m² Dichtungswand, wobei das Anteilverhältnis der beiden Varianten nicht festgelegt wurde, sondern es vielmehr dem Bauherrn vorbehalten blieb, nach den örtlichen Verhältnissen sowie nach Bewährung und Arbeitsfortschritt der einen oder anderen Ausführungsart den Vorzug zu geben.

3.4 Bauausführung

3.4.1 Stahlbetonsenkkästen mit aufgesetzter Dichtungswand (Bild 18)

Bei der Bauausführung wurde zunächst für ein Arbeitsplanum das Profil des endgültigen Uferausbaues hergestellt und zwar so hoch, daß die Arbeiten auch bei mittlerem Hochwasser der Donau unbehindert fortgeführt werden konnten. Die Böschung sicherte man mit einem Steinwurf von 1 m Stärke gegen Ausspülungen. Auf diesem Planum wurde die Schalung (Bild 19) für die Caissons

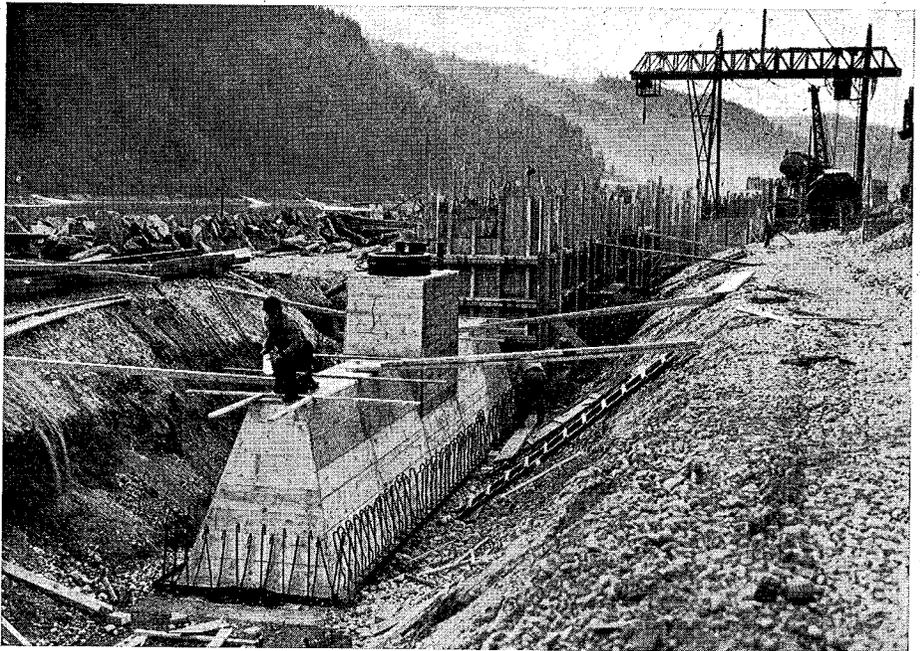


Bild 19 Schalung für den Arbeitsraum des Senkkastens

von 2 m Breite und 11,40 m Länge mit einer Höhe des Arbeitsraumes von 2,15 m gestellt, anschließend die Armierung (Bild 20) und dann der Beton eingebracht. Der Einsteigschacht zum Arbeitsraum befand sich in der Mitte des Caissons.

Es erfolgte dann das Absenken zunächst ohne Druckluft bis zum Grundwasserspiegel und dann weiter, mit aufgesetzten Druckluftschleusen (Bild 21), bis auf den

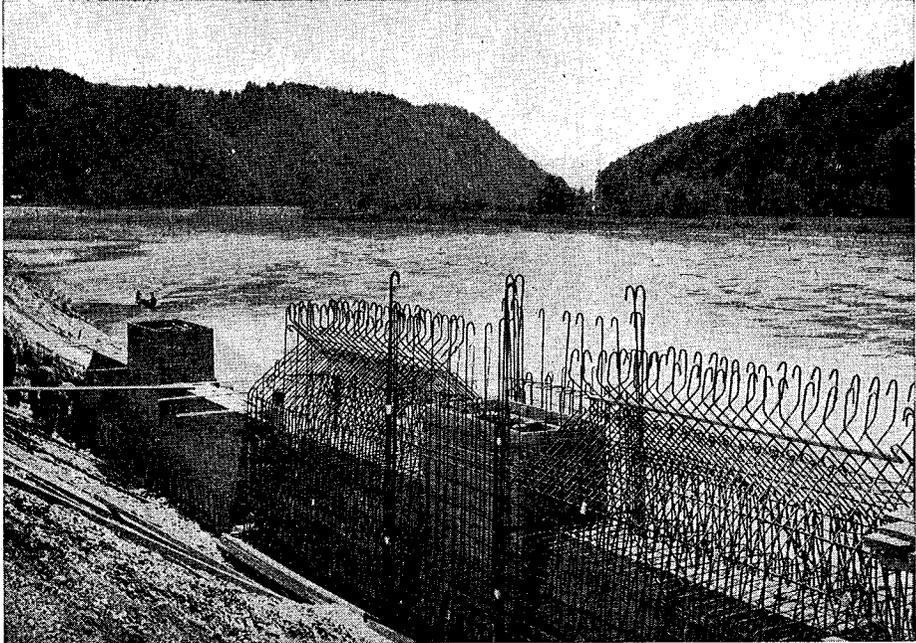


Bild 20 Armierung des Senkkastens

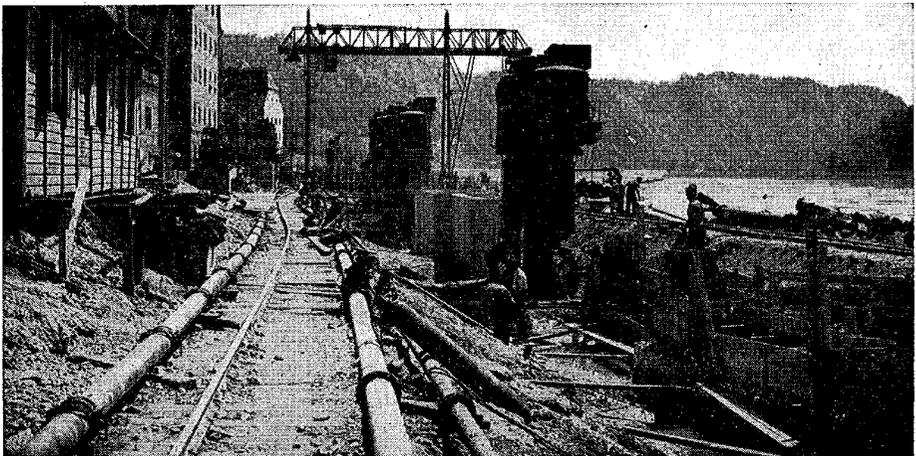


Bild 21 Caisson während der Absenkung mit Druckluftschleusen

Fels, wobei der Senkkasten meist durch Zusatzgewichte belastet werden mußte. Angetroffene Findlinge wurden durch Sprengungen zerkleinert. Sobald die Felssohle erreicht war, wurde die oberste Verwitterungszone auf die ganze Länge des Caissons grabenförmig bis in den gesunden Fels ausgehoben. Durch vorübergehendes Nachlassen des Luftdruckes konnte dann leicht festgestellt werden, ob im gesunden Fels wasserführende Klüfte vorhanden waren. In diesem Fall wurde der Untergrund durch Injektionen zusätzlich gedichtet, nachdem man zuvor den Graben und den untersten halben Meter des Arbeitsraumes mit Beton gefüllt hatte und dieser erhärtet war. Besonders starker Wasserandrang aus Felsklüften zeigte sich im Bereich der westlichen Abschlußwand, da hier die Hauptklüfte die Wand fast senkrecht schnitten, während sie am Donauufer nahezu parallel zur Dichtungswand verliefen. Um den Erfolg der Injektionen festzustellen, wurde abschließend zur Probe der Luftdruck weggenommen. Im Untergrund etwa vorhandene Undichtigkeiten mußten sich dann durch Wassertritt aus noch nicht verpreßten Bohrlöchern zeigen. In derartigen Fällen wurden Nachinjektionen durchgeführt. (Der Abstand der Einpreßrohre betrug je nach Klüftigkeit des Felsens 1,5 bis 0,7 m bei einer Tiefe von durchschnittlich 4 m.)

Während des Absenkens der Caissons wurde jeweils die 0,5 m starke Betondichtungswand fortlaufend aufbetoniert und gleichfalls der Einsteigschacht, dieser jedoch nur bis 1 m über den nach Errichtung des Staus hinter der Dichtungswand zu erwartenden Grundwasserspiegel. Nach Abbau der Druckluftschleusen wurden der Arbeitsraum und der Einsteigschacht mit Wasser gefüllt und mit einem Betondeckel wasserdicht verschlossen. Auf diese Weise bestand die Möglichkeit, bei später etwa auftretenden Undichtigkeiten auch nachträglich Injektionen von der Betonsohle des dann wieder leergepumpten Arbeitsraumes aus durchzuführen. Die Lücke zwischen den jeweils benachbarten Dichtungslamellen wurde zuletzt mittels eines Ortbetonpfahles geschlossen, dessen Bohrloch ohne Verrohrung mit Dickspülung hergestellt war. Dieses Bohrverfahren stellte sich als unbedingt notwendig heraus, worauf bereits hingewiesen wurde.

3.42 Dichtungswand mittels Ortbetonpfählen

Die Betonpfahlwand (Bild 22) gelangte in erster Linie in unmittelbarer Nähe von Gebäuden zur Anwendung, sodann aber auch in dem unterstromigen Teil der Uferstraße; denn es zeigte sich, daß die schmalen Caissons hier infolge einseitigen Erddruckes des höchliegenden Straßendamms trotz aller Gegenmaßnahmen aus der Lotrechten gedrückt wurden. In diesem Bereich erhielten die Betonpfähle eine zusätzliche Armierung.

Für die Bauausführung wurde zunächst ebenfalls ein Arbeitsplanum geschüttet, auf dem die Bohrgestelle Aufstellung finden konnten. Den genauen Bohrlochabstand und somit das spätere Ineingreifen der Pfähle gewährleistete eine Bohrlehre, in deren Aussparungen nur kurze Führungsrohre eingesetzt wurden. Das Bohren selbst erfolgte mittels Fallmeißel, wobei das Bohrgut durch die aus der Spitze des Hohlmeißels austretende Bentonitschlempe zu Tage gefördert und dort auf einem Rüttelsieb von letzterer getrennt wurde, so daß diese fortlaufend immer wieder zur Förderung des Bohrgutes verwendet werden konnte. Aus der Menge der in jedem Bohrloch verbrauchten Bentonitschlempe konnte die Eindringtiefe und damit die Breite des Dichtungsschleiers ermittelt werden. Ein Abweichen von der Lotrechten ließ sich selbst bei Bohrlochtiefen von 20 m und Durchfahren von Findlingsschichten nicht feststellen.

Nach Beendigung der Bohrarbeit wurde die Bentonitschlempe mit Wasser ausgespült und dann das Bohrloch unter Verwendung besonderer Kübel mit Beton gefüllt. Daß zunächst nur jeder zweite Pfahl auf vorbeschriebene Weise hergestellt und nach dem Erhärten des Betons dann die Zwischenpfähle gebohrt wurden, die in die benachbarten Pfähle gut eingreifen und damit einen Dichtschluß gewährleisten, ist bereits erwähnt worden. Die Pfahlköpfe erhielten einen oberen Abschluß und eine gegenseitige Verbindung durch einen Stahlbetonholm, der, in Höhe des Wasserspiegels liegend, als Wellenbrecher geformt wurde. Etwa ein Drittel der gesamten Länge der Dichtungswand wurde nach diesem Verfahren hergestellt, der übrige Teil nach der zuvor beschriebenen Bauart mittels Caissons.

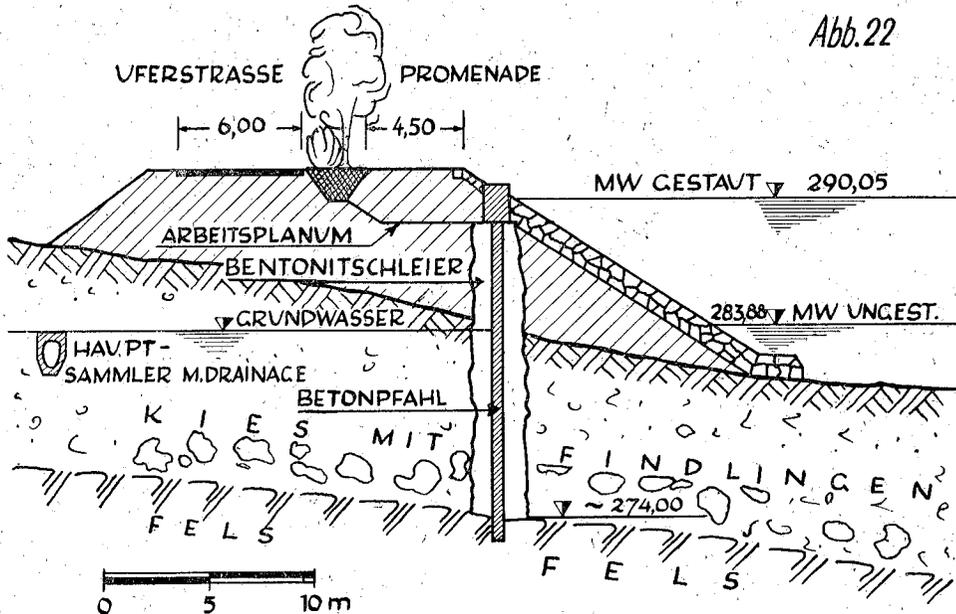


Bild 22 Regelquerschnitt für die Dichtungswand mit Orthbetonpfählen

3.5 Erfahrungen

Da hinter der Dichtungswand eine Drainageleitung angeordnet ist, kann die Wasserundurchlässigkeit der Wand jederzeit gut kontrolliert werden. Auch ist ein örtlich stärkerer Wasserandrang leicht festzustellen, da die Drainageleitung mit jeweils etwa 50 m langen Strängen in Einsteigeschächte des zum Pumpwerk führenden Hauptsammlers einmündet und in diesen das in jedem Abschnitt anfallende Wasser gemessen werden kann.

Der Auftragnehmer hatte die Garantie übernommen, daß je Meter der von ihm hergestellten Dichtungswand, gleichgültig in welcher Ausführungsart, höchstens 0,25 l/s Sickerwasser anfallen. Bei einer Länge der Dichtungswand von insgesamt 1163 m wären dies 290 l/s. Tatsächlich wurden seit Errichten des Staus max. nur 40 l/s gemessen; in dieser Menge ist aber noch das im Ortsbereich versickerte Regenwasser enthalten. Nach längerer Trockenzeit wurde ein Wasseranfall von insgesamt nur 13 l/s festgestellt. Dieses Ergebnis kann als voller Erfolg gelten und dürfte beweisen, daß dieses technische Problem richtig gelöst wurde.