

in potentielle Energie um, sondern durchströmt den Kanal. Der Wasserspiegel behält seine konstante Lage. Auch für die einfahrenden Schiffe wirkt sich die Öffnung günstig aus, da sich die Querkomponenten der Abb. 5 noch weiter verkleinern. Die Verbindung mit dem offenen Fluß vermindert vorteilhaft die Sunk- und Schwällerscheinungen beim Füllen der Schleusenammer.

Entrée du Canal de Dérivation.

Tête du môle à claire-voie

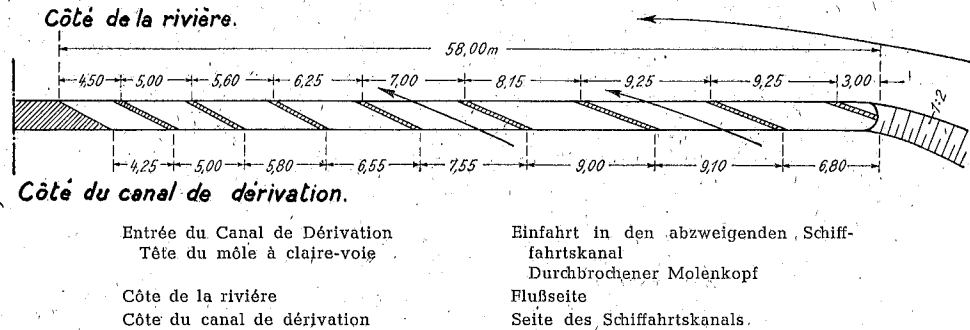


Abb. 6. Einfahrt in den abzweigenden Schiffahrtskanal. Durchbrochener Molenkopf.

Mit der Einströmung in den Schiffahrtskanal nimmt der Eintrieb an Schwebstoffen zu. Am durchbrochenen Molenkopf werden sie teilweise dem Fluß wieder zurückgegeben. Der restliche Teil treibt durch die Ausgleichöffnung aus dem Vorhafen in den Fluß. Der Rhythmus des Wanderns von Ablagerungen feiner und grober Bestandteile ist durchbrochen und nur bei Abflußmengen über 2000 m³/s bildet sich eine flache Ablagerungsfläche geringer Ausdehnung unterhalb der Ausgleichöffnung. Bei der verhältnismäßig kurzen Dauer dieser Abflußmengen bleiben Form und Konsistenz der Bank labil. Das zurückgehende Hochwasser vermag die Ablagerung durch die Strömung in der Ausgleichöffnung abzutragen.

Abt. I Frage 1 e

Bauweise und Anordnung der Kaianlagen.

Von Hafendirektor Hermann B u m m , Duisburg-Ruhrort

Zusammenfassung: Senkrechte Kaimauern sind bei Häfen mit großen Wasserstandsunterschieden sehr teuer. Eine Verbilligung kann erzielt werden, indem im oberen Abschnitt eine Böschung angeordnet wird. Flache Gründungen sind in den Häfen an Flußläufen, in denen ein Absinken der Flußsohle zu erwarten ist, nicht zu empfehlen. Schwergewichtsmauern sind wegen des hohen Materialverbrauchs unwirtschaftlich. Die Anwendung von Pfahlgründungen oder Spundwänden ist die gegebene Bauausführung für Kaimauern. Spundwände haben eine ausreichende Lebensdauer und bieten die Möglichkeit zum Umbau der Kaianlagen bei späteren Umänderungen. Wirtschaftlich günstig sind auch Winkelstützmauern auf Pfahlrosten.

Bei Häfen mit großen Wasserstandsunterschieden sind die Kosten der Uferausbildung für die Wirtschaftlichkeit des Hafens von entscheidender Bedeutung. Seitens der Umschlagbetriebe werden mit Rücksicht auf die Konkurrenzgründe gegenüber anderen Transportmitteln und der dringend notwendigen Beschleunigung des Schiffsverkehrs senkrechte K a i m a u e r n gewünscht. Diese sind aber

im Bau sehr teuer, obwohl sie in der Unterhaltung etwas wirtschaftlicher sind. Früher waren vollkommen senkrechte Kaianlagen in den Binnenhäfen selten. Wegen Ersparnisgründen und wegen Ausführungsschwierigkeiten bei einer tiefen Gründung blieb vor der Kaimauer unter Wasser im allgemeinen eine flach geneigte Böschung erhalten, die bei niedrigen Wasserständen recht un bequem war, weil die Schiffe nicht bis ganz an die Mauer vorlegen können. Da jedoch die Niedrigwasserstände viel länger als die höheren Wasserstände anhalten, ist es richtiger, den unteren Abschnitt bis zur Sohle senkrecht zu gestalten und im oberen Abschnitt in eine Böschung, jedoch nicht mehr als 4 bis 5 m hoch, auslaufen zu lassen, wenn aus Kostengründen nicht eine vollkommen senkrechte

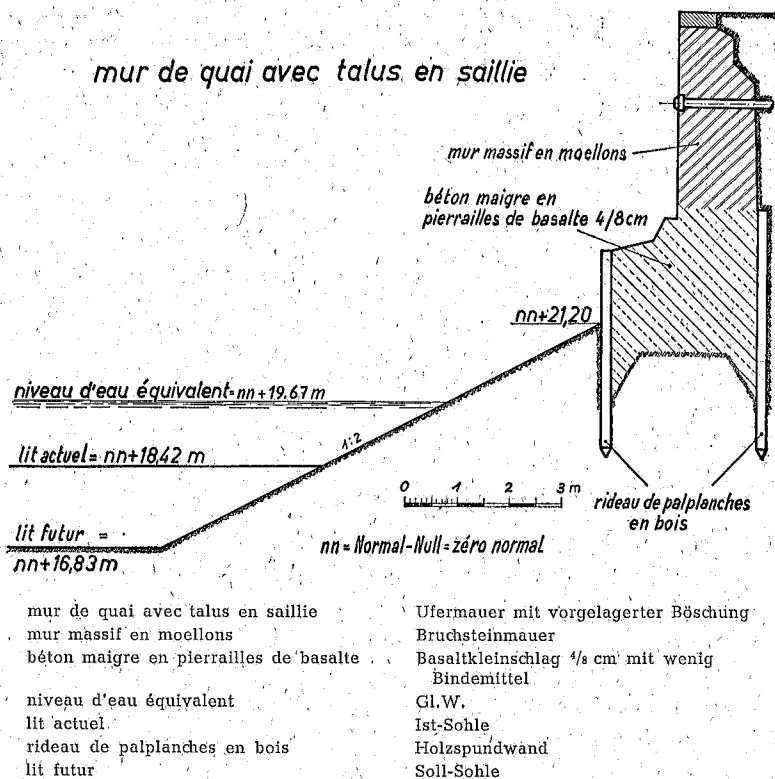


Abb. 1. Ufermauer mit vorgelagerter Böschung.

Uferwand ausgeführt werden kann. Um die Kosten der Kaimauer zu verringern, kann man u. U. auch eine gelegentliche Überschwemmung durch Spitzenhochwasser bei den meisten Lager- und Umschlagplätzen, insbesondere für Massengüter, in Kauf nehmen, zumal dann die Schifffahrt ruht.

Flachgründungen sind wegen der an vielen Flüssen zu beobachtenden abfallenden Niedrigwasserstände nicht günstig, da man sie sicherheitshalber tiefer, als es zur Zeit notwendig wäre, ausführen muß. Wo mit der Neuanlage von Häfen gleichzeitig ein Ausbau des Wasserlaufes zur Schiffbarmachung verbunden ist, muß mit einer verstärkten Erosion der Flußsohle gerechnet werden, die eine spätere Vertiefung der Hafensohle erforderlich macht. So ist z. B. durch den

Ausbau des Rheinstroms im Laufe des 19. Jahrhunderts die Stromsohle des Niederrheins durch Erosion streckenweise um 2 m abgesunken, und es ist noch mit einem weiteren Absinken der Flußsohle um nochmals 2 m zu rechnen, bis die verstärkte Erosionserscheinung zum Abklingen gekommen ist. Die Hafenanlagen am Niederrhein müssen daher in den nächsten Jahrzehnten um 4 m vertieft werden. Wo solche Erscheinungen zu erwarten sind, ist von Flachgründungen für die Kaimauern abzuraten. Eine Flachgründung in offener Baugrube erfordert meistens schon eine leichte Einspundung der Baugrube und eine Wasserhaltung. Statt dessen kann man gleich eine vollständige Spundwand als Uferausbildung wählen.

Eine Brunnengründung, die früher bei Schwergewichtsmauern häufig angewandt wurde, kann unter Umständen je nach Örtlichkeit und Untergrundverhältnissen in einzelnen Fällen wirtschaftlich sein, da heute eine serienmäßige Herstellung der Brunnen auf einem Bauplatz und Versetzen an Ort und Stelle mittels eines Hebebockes möglich ist. Die Anwendung kommt jedoch nur für Schwergewichtsmauern in Frage, deren Ausführung nur noch selten gewählt wird, da sie zu teuer in der Herstellung sind. Neben der schwierigen und kostspieligen Gründung, deren Ausführung an Flüssen von den schwankenden Wasserständen sehr abhängig ist, erfordern sie einen hohen Materialverbrauch, der ihren Bau ebenfalls unwirtschaftlich macht. Die Ausführung bedingt auch zumeist noch umfangreiche Erdarbeiten und beansprucht verhältnismäßig viel Platz, der, wo es sich um Umbauten von bestehenden Häfen handelt, nur beschränkt zur Verfügung steht. Eine Ausführung im Mauerwerk kommt, selbst wo geeignete Steine in greifbarer Nähe sind, nicht mehr in Frage, sondern nur noch eine Anwendung des Betons. Bei diesem kann bei der heutigen einwandfreien Herstellung auf eine Verblendung und auch auf Abdeckplatten verzichtet werden.

Die Untergrundverhältnisse in den Binnenhäfen, die zumeist im weiteren Vorland von Flüssen liegen, lassen fast immer die Anwendung von Pfahlgründungen oder Spundwänden zu. Mit beiden Ausführungsarten wird die Gründung der Kaianlage sehr vereinfacht. Die Stahlspundwand kann man heute als das geeignetste Bauelement für Kaianlagen in Binnenhäfen ansprechen. Mit den verschiedenen Profilstärken, Materialgütern und Systemen kann sie den örtlichen Verhältnissen und Erfordernissen sehr gut angepaßt werden und ist dadurch sehr wirtschaftlich. Ihre Ausführung ist im allgemeinen schneller und billiger möglich als andere Kaiausführungen, besonders, weil sie kaum von den jeweiligen Wasserständen beeinflußt wird. Die Rammgeräte sind heute leicht und beweglich gestaltet; nach Möglichkeit werden schwimmende Rammern eingesetzt, die die Einsparung von besonderen Rammgerüsten ermöglichen. Ein besonderer Vorteil der Spundwand liegt darin, daß der gewachsene Boden hinter der Wand erhalten bleibt und nicht wie bei massiven Wänden Ausschachtungs- und Verfüllarbeiten, mit später nachteiligen Setzungen, notwendig werden.

Bei sehr hohen Uferwänden bietet die Spundwand mit aufgesetztem Holm in Stahlbetonausführung eine sehr gute Lösung. Dieser Holm kann verschieden hoch, je nach Erfordernis und Wirtschaftlichkeit, gestaltet werden. Der Schleifleitungskanal, für den besonders bei Massengutumschlag die schlitzzlose Ausführung zu empfehlen ist, läßt sich durch Aussparung im Beton sehr gut unterbringen. Vor dem Holm kann auf die Anordnung von Reibhölzern verzichtet werden, so daß die Fläche glatt bleibt und nahezu mit Spundwandvorderkante

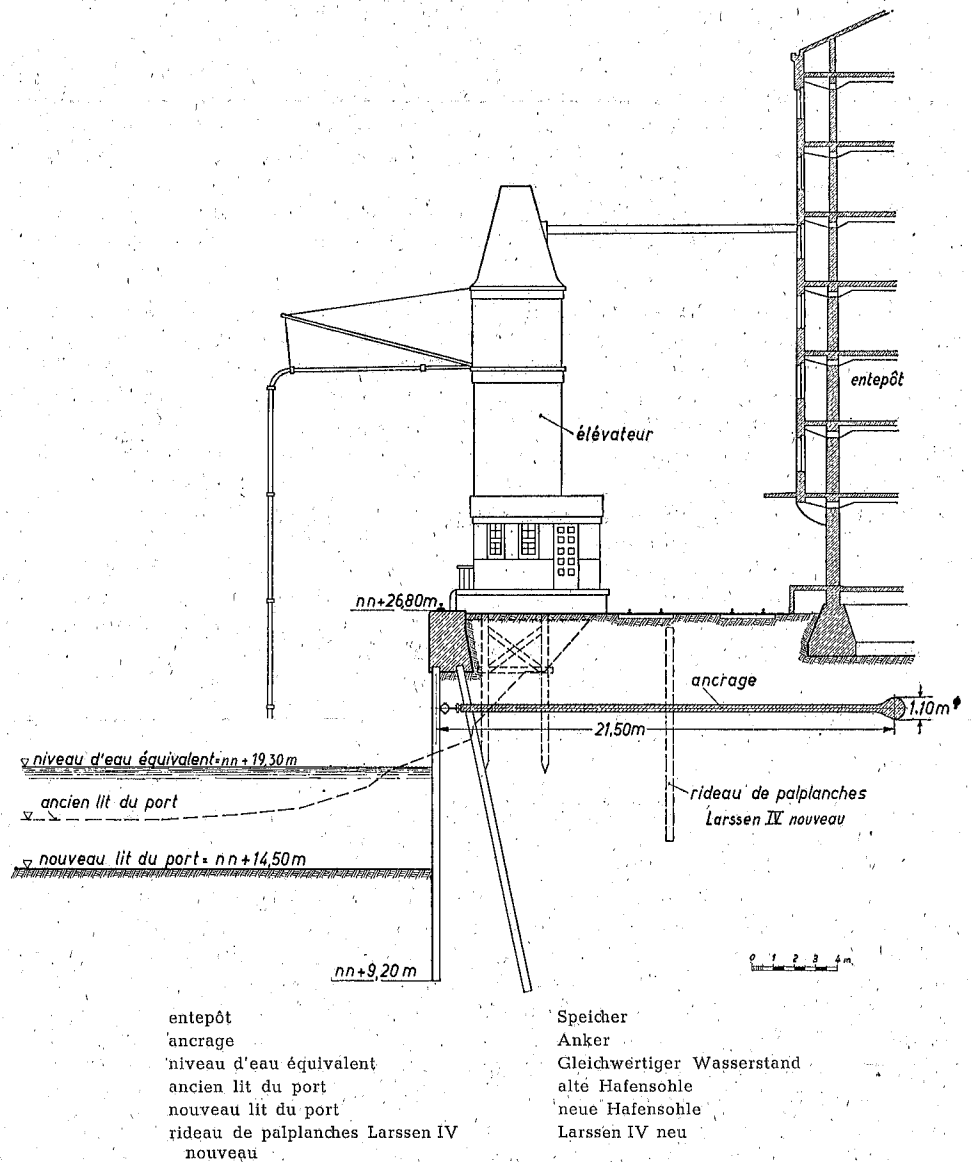


Abb. 2. Speicher.

bündig ist. Falls man durch Scheuern der Schiffe Beschädigungen am Beton befürchtet, empfiehlt sich das Einbetonieren nur wenige Zentimeter vorstehender Stahlscheuerleisten.

Die im allgemeinen bei Spundwänden notwendige Verankerung bereitet heute keine Schwierigkeiten mehr. Bei Neuanlagen in ungebautem Gelände wird sich die vornehmlich übliche Anwendung einer Verankerungswand noch ermöglichen lassen. Häufiger werden jedoch wegen der geringeren Ausschachtungsarbeiten heute Ankerplatten verwendet. An Stelle der früher üblichen Ankerstangen

werden heute des öfteren auch stählerne Seile verwendet, die unempfindlicher gegen Bodensetzungen und Nebenbeanspruchungen und darüber hinaus einfacher beim Einbau zu handhaben sind. In schon bebautem Gelände ist der Einbau dieser Verankerungen sehr schwierig und zum Teil kaum durchführbar. Das von den Duisburg-Ruhrorter Häfen entwickelte und in großem Umfange dort an-

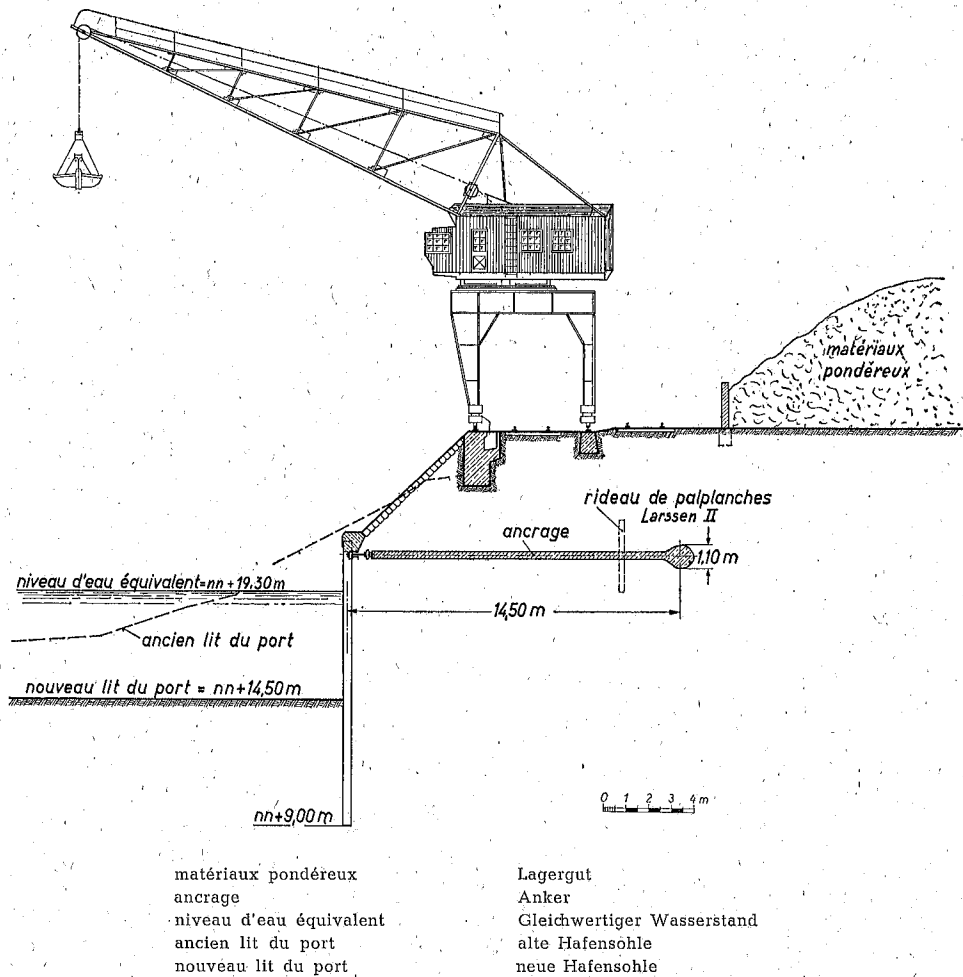


Abb. 3. Lagergut.

gewandte Verfahren mit Stahlbeton-Verankerungspfählen, die als Ortbetonpfähle System Lorenz hergestellt werden, bietet eine gute Möglichkeit, die Verankerung auch in vollständig bebautem Ufergelände und ohne Beeinträchtigung des etwa schon vorhandenen Hafenbetriebes herzustellen. Die Spundwände werden von der Wasserseite aus mit schwimmendem Gerät gerammt und die Pfähle mit 32 cm ϕ ausschließlich von der Wasserseite hergestellt. Sie werden neuerdings auch maschinell gebohrt, der Pfahlfuß von 1 m ϕ wird durch einen Fußschneider mit einem Federmesser nach dem System Lorenz

ausgeschält. Für die Aufnahme der Zugkräfte wird ein Kabelanker eingelegt, der am Ende büstenförmig aufgebogen und durch einen Drahtkorb verstärkt wird. Anschließend wird das Bohrrohr mit Beton durch eine Betonpumpe gefüllt. An und für sich würde es genügen, den Pfahlfuß zu betonieren und das Bohrrohr frei zu lassen. Zur Vermeidung von Setzungen nach Durchrosten des Bohrrohres und von Korrosion am Anker wird auch das Bohrrohr ausbetoniert. Nur das letzte Ende des Kabelankers bleibt frei, um einen gelenkigen Anschluß zu erzielen und das Spannschloß anordnen zu können. Durch Kontrollbohrungen, die von oben auf den Pfahlfuß heruntergetrieben werden, kann festgestellt werden, daß sich der Pfahlfuß einwandfrei ausschneiden läßt. Ofters stürzt etwas Boden ein, bis sich ein spitzes Gewölbe gebildet hat, wodurch aber der Fuß höchstens noch größer wird. Der Anker läßt sich mit einer Stange leicht einschieben, wobei die aufgebogenen Enden durch einen Ring zusammengehalten werden, der in der Endlage vorgezogen wird. Die Eisen spreizen sich im Pfahlfuß gut auf, und der Pumpbeton füllt die Hohlräume vollständig aus. Es besteht die Gewähr, daß die Verankerung zeichnungsgemäß zur Ausführung kommt. Rechnungsmäßig läßt sich nicht nachweisen, welche Zuglast eine Pfahlreihe aufnehmen kann, da sich die Einflußbereiche der in einem Abstand von 3,20 bis 4 m liegenden Pfähle überschneiden. Die Bemessung erfolgt in der Weise, daß zunächst eine gewöhnliche Verankerungsspundwand berechnet wird und die Pfahlfüße so weit zurückgelegt werden, daß sie sich mit dem Erddruckkeil der Verankerungswand decken. Dieses Verfahren ist besonders bei Kaiumbauten vorteilhaft.

Die Spundwand hat sich besonders vorteilhaft im Bergsenkungsgebiet erwiesen, da sie infolge ihrer inneren Beweglichkeit den Bodenbewegungen gut folgen kann, ohne im allgemeinen in ihrer Standsicherheit nachzulassen. Zu Anfang ihrer Anwendung wurden verschiedentlich Bedenken wegen der Abrostung und damit ihrer Lebensdauer vorgebracht. Diese haben sich indes nicht als zutreffend erwiesen. Die Abrostung ist im Verhältnis auch nach vielen Jahren sehr gering. Eine Lebensdauer von etwa 50 Jahren erscheint, sofern nicht besondere Einflüsse auf das Eisen wirken, garantiert zu sein. Dieses trifft sogar für den einfachen Stahl St. 37 zu, so daß die Anwendung von Sonderstahl im allgemeinen aus diesem Grunde nicht notwendig ist. Die Lebensdauer der Spundwand reicht damit bis zur nächsten Hafenumgestaltung, die im allgemeinen aus Verkehrsgründen etwa alle 50 Jahre nötig wird.

Die Unterhaltungskosten einer Spundwand sind unerheblich, da auf Anstrich und Reibhölzer verzichtet werden kann. Der Anstrich von Spundwänden vor Kaianlagen bringt keinen wesentlichen Nutzen, da er durch scheuernde Schiffe gerade an den Stellen, wo er zur Erhaltung der Spundwand am sinnvollsten wäre, sofort zerscheuert wird. Ein weiterer Vorteil der Spundwand liegt darin, daß sie sich wieder leicht beseitigen läßt und damit spätere Umgestaltungen vereinfacht. Das Spundwandmaterial ist nach dem Ziehen nicht verloren und kann in den meisten Fällen noch an anderer Stelle wieder verwendet werden.

Neben der Stahlspundwand werden gelegentlich auch Stahlbetonbohlwände ausgeführt, jedoch läßt sich mit diesen keine sehr hohe Uferhöhe erreichen. Die Schwierigkeit besteht beim Rammen auf größere Länge, da der Untergrund in Binnenhäfen meistens aus festgelagertem Kies, gelegentlich auch Tonschichten besteht, die großen Rammwiderstand verursachen. Ein Einspülen von Bohlen, wie es an der See verschiedentlich durchgeführt wird, ist in Binnenhäfen fast nirgends möglich. Die Stahlbetonbohle kommt damit nur für leichte Uferwände geringer Höhe in Frage.

Bei sehr hohen Kaianlagen ist neben der Stahlspundwand verschiedentlich die Winkelstützmauer auf hohem Pfahlrost eine geeignete Lösung, die vor allem vorteilhaft bei schlechtem Untergrund angewendet werden kann. Auch sie ist in der Herstellung verhältnismäßig einfach und wenig abhängig von den Wasserstandsschwankungen. Die Pfahlgründung kann durch eine leichte Schutzwand zur Wasserseite hin verdeckt und geschützt werden, die darüber hinaus Hinterspülungen und Auskolkungen der Kaianlage verhindert.

Abschließend sei noch die leichteste Ausführungsart einer Kaianlage erwähnt, die aus einer Pflasterböschung mit Kranbühne besteht. Diese Art der Uferausbildung sieht man verhältnismäßig häufig in Binnenhäfen mit hohen Uferanlagen, um die erheblichen Kosten einer festen Kaianlage zu sparen. Für

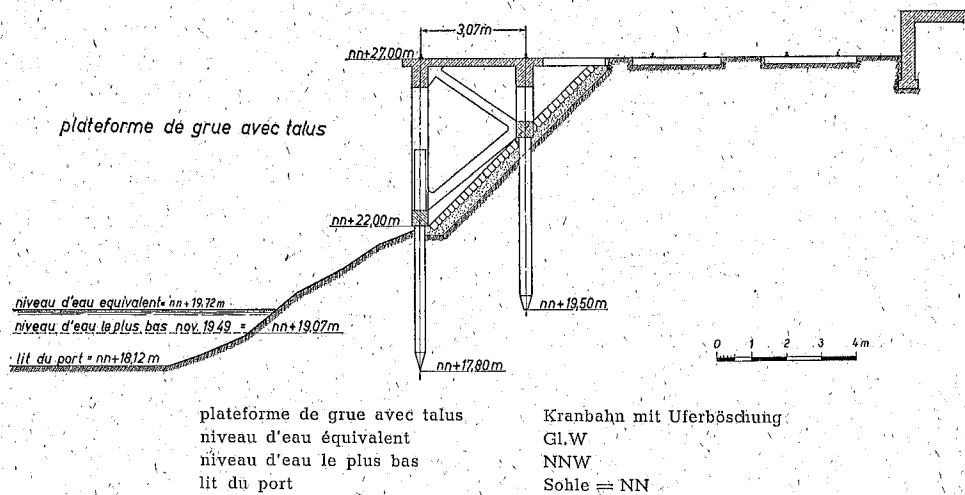


Abb. 4. Kranbahn mit Uferböschung.

den Umschlagbetrieb ist diese Ausführung jedoch nicht besonders vorteilhaft, weil bei niedrigen Wasserständen die Böschung hervortritt und dadurch Schiffe weiter ablegen müssen. Die Kranbühnen werden zumeist in Stahlbeton, nur selten in Stahl hergestellt. Sie sind in der Herstellung wesentlich billiger als andere Kaianlagen, dagegen verhältnismäßig empfindlich und in der Unterhaltung teuer.

Abt. I Frage 1 f

Bau von Schleusen und Wehren ohne zeitweilige Umleitung; Mittel zur Sicherstellung der ununterbrochenen Schifffahrt während der Bauarbeiten.

Von Dr.-Ing. Heinz Fuchs,
Vorstandsmitglied der Rhein-Main-Donau AG, München.

Zusammenfassung: Der Einbau von Schleusen und Wehren in Flüsse mit stark wechselnden Wasserständen und großen Hochwässern ist ein Problem, das bei der steigenden Ausweitung der Wasserstraßennetze und der Wasser-