

Abteilung II — Seeschifffahrt

Thema 6

Der Bau von Häfen und Schifffahrtsanlagen auf nachgiebigem Baugrund unter Berücksichtigung der Notwendigkeit, die Wassertiefe zu vergrößern

Von Dr.-Ing. Kurt Förster, Baudirektor, Hamburg; Dr.-Ing. Dietrich Wiegmann, Baudirektor, Bremen; Dipl.-Ing. Gerhard Wollin, Hafenbaudirektor, Bremerhaven.

Thema des Berichtes:

Die Gestaltung und Verstärkung von Seeschiffskaisrecken zur Anpassung an die vergrößerte Wassertiefe während der letzten 25 Jahre.

Zusammenfassung

Die hauptsächlichen Hafenbauten auf nachgiebigem Baugrund in Bremen, Bremerhaven und Hamburg sind die Kaimauern. Sie werden seit mehr als 100 Jahren auf gerammter Pfahlgründung errichtet, die in ihrer Einzelausführung, was Überbau, Pfähle und Spundwände betrifft, zwar verändert, d. h. den neueren Bauverfahren angepaßt wurde, im Prinzip aber gleichgeblieben ist. Eine Anzahl typischer Lösungen für jeden der drei genannten Häfen mit dem ausgesprochenen Ziel die Wassertiefe der wachsenden Größe der Seeschiffe anzupassen, werden in bezug auf die angewandten Verstärkungsmaßnahmen bzw. die moderne Konstruktionsart bei reinen Neubauten angesprochen und erläutert.

Inhalt	Seite
1. Einleitung	256
2. Beispiele aus Bremen	257
2.1 Allgemeines	257
2.2 Grundsätzliche Anordnung der neuen Ufereinfassungen	258
2.3 Kaje-Querschnitt Südseite Europahafen	259
2.4 Erneuerung der Nordkaje Europahafen 1954—1963	260
2.5 Verstärkung der Nordseite im Überseehafen vor Schuppen 15	261
2.6 Spundwand Kaje I, Niedervieland, Hafenecken II, Westseite	262
3. Beispiele aus Bremerhaven	262
3.1 Westliche Vorhafenkaje der Kaiserschleuse	263
3.2 Ostliche Vorhafenkaje der Kaiserschleuse	263
3.3 Ufermauer am Nordende der Columbuskaje	264
3.4 Spundwandkaje Kühlhaus, Fischereihafen	265
3.5 Kaje Westseite Fischereihafen II	266
3.6 Kaje am Erzhafen — Überseehafen	266

4. Beispiele aus Hamburg	267
4.1 Allgemeines	267
4.2 Neue Kaimauern ohne konstruktive Anlehnung an ältere Bauteile	268
4.21 Grevenhofkai — West	268
4.22 Oswaldkai	269
4.3 Verankerte Kaimauern	270
4.31 Kaimauerverstärkung am Grenzkanal	270
4.32 Verstärkung Kaimauer Roßkai vor Schuppen 84	270
4.4 Kaiausbildung als Pierplatte vor älteren Mauern	271
4.41 Neubau Australiakai	271
4.42 Neubau Mönckebergkai vor Schuppen 76/77	272
4.5 Mit Stahlbetonüberbauten versehene, an Schrägpfehlern verankerte Kaimauern	273
4.51 Verstärkung vor Kaispeicher A am Schiffbauerdock (Norderelbe)	273
4.52 Verstärkung des Petersenkai vor Schuppen 27	274
4.53 Kamerunkai (Brooktorkai) vor Schuppen 63	275

1. Einleitung

In den drei großen nordwestdeutschen Häfen Hamburg, Bremen und Bremerhaven sind vor den übrigen Schiffahrtsanlagen die Kaimauern an seeschifftiefem Wasser — im Bremer Bereich auch Kajen genannt — in neuerer Zeit bestimmend für die Leistungsfähigkeit des Umschlagplatzes gewesen. Nächste dem Tiefgang der seewärtigen Zufahrtsstraße — also der Lebensader des betreffenden Hafens — war die Sorge um den Bestand der Uferbefestigungen im Hinblick auf wachsende Schiffgrößen eine der bedeutendsten Aufgaben der Hafenverwaltungen.

Nicht allein die über mehr als 100 Jahre bis heute zu beobachtende stetige Zunahme des Tiefgangs der Regelfrachter des Weltverkehrs ist Anlaß für fortlaufende Verstärkung und Vertiefung der vorhandenen, aber auch für den Entwurf neuer Seeschiffs-Kaimauern gewesen. Die inzwischen gewonnenen Erkenntnisse im Grundbau und in der Bodenmechanik, die verbesserte Qualität des Stahlbetons im Wasserbau und die hervorragenden noch ständig verbesserten Eigenschaften der Stahlpundwände und des Verankerungsmaterials haben alle zusammen die Konstruktion von Uferbefestigungen stark verändert.

Die Anwendung der neueren Bauverfahren beim Ersatz überalteter oder kriegszerstörter Kaistrecken, bzw. die Verstärkung von zwar noch erhaltungswürdigen, aber für heutige Anforderungen nicht mehr ausreichenden Uferbauten sollen anschließend anhand ausgewählter typischer Beispiele von Bremen, Bremerhaven und Hamburg gezeigt werden. Da zahlreiche Veröffentlichungen auf diesem Gebiet erschienen sind, beschränken sich die nachfolgenden Ausführungen auf kurze Charakterisierung der wesentlichen technischen Merkmale und Eigenschaften der in Prinzipzeichnungen dargestellten und durchwegs bereits in der Praxis realisierten und größtenteils gut bewährten Entwürfe.

Die für die drei behandelten Häfen gemeinsame Grundlage liegt in dem dort gegebenen „nachgiebigen Baugrund“. Die oberen Schichten sind für Gründungszwecke von Hafenbauten ungeeignet, so daß sich in jedem Falle die sogenannte Tiefgründung ergibt. Die von den nachgiebigen Schichten überlagerten, meist in mehr als 10 m Tiefe entstehenden, als solche tragfähigen Feinsand-, Mittelsand- oder auch Kiesschichten lassen eine Gründung auf Rammpfählen besonders geeignet und wirtschaftlich erscheinen, so daß massive Gründungen hier zu den Seltenheiten gehören. Auch die größeren Hochbauten im Hafen, die Leuchtfeuer, Radarstationen und zahlreiche Schleusenhäupter sowie die meisten Brücken zeigen eine Fundierung auf gerammten Holz- oder in neuerer Zeit Stahlbetonpfählen.

Selbstverständlich muß diese Darstellung auf die hier obwaltenden örtlichen Voraussetzungen, und zwar meistens unausgesprochen Rücksicht nehmen. Andernorts gelten veränderte Bedingungen in bezug auf Bodenverhältnisse, Baumaterialien und Preisniveau, Arbeiterlage und verfügbare ortsübliche Baugeräte und -maschinen. Die daraus sich ergebenden Bauverfahren und demzufolge die Entwürfe für neue Kaimauern werden von den hier behandelten mehr oder weniger stark abweichen müssen, zum Teil aber auch ähnliche Tendenzen zeigen können. Vielleicht gerade wegen dieser Vergleichsmöglichkeiten werden die behandelten Beispiele aus einer insgesamt übergeordneten gemeinsamen Konzeption heraus zu verstehen sein und können so das Interesse voraussetzen, wenn man einen allgemeingültigen Standard für die Entwürfe von Hafenbauten zu gewinnen bemüht ist.

2. Beispiele aus Bremen

2.1 Allgemeines

Der Ausbau der Unterweser gibt ein charakteristisches Beispiel für die Veränderung der Leistungsfähigkeit einer Seewasserstraße infolge der systematisch auf längere Zeit durchgeführten Ausbaurbeiten. Bevor die konstruktiven Folgerungen aus den veränderten Verhältnissen betrachtet werden, empfiehlt es sich, diese Entwicklung, die insbesondere mit dem Namen Ludwig Franzius und Ludwig Plate verbunden ist, noch einmal zu verfolgen:

Mit Beginn der Ausbaurbeiten an der Seewasserstraße Unterweser haben sich, den einzelnen Ausbaustufen entsprechend, die Tidewasserstände fortlaufend geändert. Man kann dabei bis heute im wesentlichen 5 Abschnitte unterscheiden:

1887—1895 Ausbau für Schiffe mit 5,00 m Tiefgang

1913—1916 Ausbau für Schiffe mit 7,00 m Tiefgang (einkommend nach Bremen)

1921—1924 Erweiterter Ausbau für Schiffe mit 7,00 m Tiefgang (ausgehend von Bremen)

1925—1929 Ausbau für Schiffe mit 8,00 m Tiefgang

1953—1958 Ausbau für Schiffe mit 8,70 m Tiefgang

Die Durchführung des Unterweser-Ausbaues kann in seinem Wert für die Schifffahrt aber erst genauer charakterisiert werden, wenn man dazu die zwangsläufig veränderten Tidewasserstände in Bremen seit Beginn der Ausbaurbeiten vor rd. 80 Jahren betrachtet. Nachstehend sind die Tidewasserstände und dementsprechend der mittlere Tidehub am Pegel der Schleuse Oslebshausen am unteren Ende der damaligen Stadt-Bremischen-Hafenanlagen angegeben:

Jahre	Ausbau der Unterweser	MTnw NN	MThw NN	mittlerer Tidehub
1882/86	vor 5,0-m-Ausbau	+1,46 m	+2,03 m	0,57 m
1896/00	nach 5,0-m-Ausbau	+0,16 m	+1,85 m	1,69 m
1919/23	während 7,0-m-Ausbau	-0,41 m	+1,90 m	2,31 m
1931/35	nach 8,0-m-Ausbau	-1,11 m	+1,98 m	3,09 m
1951/60	während 8,7-m-Ausbau	-1,22 m	+2,14 m	3,36 m

MTnw = Mitteltideniedrigwasser

MThw = Mitteltidehochwasser

Da für den Bau von Uferbefestigungen weniger die mittleren Tidewasserstände als vielmehr die zu berücksichtigenden Extremwerte von Bedeutung sind, sei ergänzt, daß in neuester Zeit das niedrigste Tideniedrigwasser am 15. 3. 1964 mit $-3,20$ m NN und das höchste Tidehochwasser am 17. 2. 1964 mit $+5,55$ m NN am Pegel Bremen-Oslebshausen angezeigt wurde. Für den Entwurf neuer Hafenanlagen in Bremen — soweit es sich um „öffentliche Häfen“ handelt — war dieses zu berücksichtigen, und so ergab sich für die künftige Planung nach dem im Franzius-Institut der Technischen Hochschule Hannover durchgeführten Untersuchungen für Bremen ein rechnerisches HHThw von $+6,20$ m NN. Diese extremen Wasserstände sind beim Entwurf und bei der Berechnung von Uferanlagen — soweit sie sich im Tidegebiet befinden — zu berücksichtigen. Für Dockhafenteile sind diese Werte, wie an ausgeführten Beispielen noch ersichtlich sein wird, wesentlich gemildert.

2.2 Grundsätzliche Anordnung der neuen Uferbefestigungen

Bis in die zwanziger Jahre dieses Jahrhunderts wurden in Bremen im wesentlichen massive Uferwände auf hölzernen Pfahlrosten gebaut. Der technische Fortschritt in der Abwälzung schwerer Stahlspundwandprofile und die in Bremen vorliegenden günstigen Bodenverhältnisse gestatteten es später, Uferbefestigungen für große Geländesprünge bis über 17 m in wirtschaftlicher Weise als verankerte Stahlspundwände herzustellen.

Die Spundwandkajen sind durchweg als einfach verankerte Bohlwerke gerechnet, wobei die Hauptanker so angeordnet sind, daß ihr Einbau unter Berücksichtigung der Tideniedrigwasserstände noch gut möglich ist. Zur Vermeidung ungleicher und größerer Verformungen des Spundwandkopfes sind im oberen Bereich der Wand Hilfsanker eingebaut. Für die Verankerung der Spundwand werden Massiv- oder Stahlkabelanker verwendet, die an einzelnen Stahlbetonplatten oder durchgehenden Verankerungswänden befestigt sind.

Zur Verringerung des Grundwasserüberdrucks wird jedes Spundwandbauwerk in Höhe des unteren Ankers, der meistens etwa $1,25$ m über MTnw angeordnet wird, mit einer Mischkiesfilterentwässerung ausgestattet, welche aus dem Kiesfilter, einen Sammler und aus Entwässerungsstützen mit Rückstauklappen in Abständen von durchschnittlich $7-8$ m besteht.

Die Kajen sind mit 1- oder 2köpfigen Pollern für Trossenzüge bis 60 t ausgerüstet. Die Pollerabstände betragen zwischen 15 und 18 m. Mitten zwischen den Pollern, jedoch in doppeltem Pollerabstand, werden in den wasserseitigen Spundwandtälern Steigeleitern angeordnet, und als weitere Ausrüstung sind Nischenpoller für 10 -t-Trossenzug jeweils in den Spundwandtälern neben den Steigeleitern und mitten zwischen diesen vorhanden.

In den letzten 10 Jahren sind in den Häfen auf dem rechten Weserufer in Bremen zahlreiche Ufer- und Kajenstrecken erneuert worden. Die Konstruktion ist im Prinzip überall fast die gleiche, nur bestehen in der Anwendung der verschiedenen Spundwand-systeme (Larssen, Peine, Krupp), die sowohl einzeln wie auch in der Kombination, zum Beispiel: Peine/Krupp als auch Peine/Larssen verwendet werden können, gewisse Unterschiede. Mit Rücksicht auf unvermeidliche Bewegungen während des Baues, werden die Stahlsplundbohlen der Hauptwand 80 : 1 geneigt und aus Ersparnisgründen am Fuß in der Länge gestaffelt gerammt.

Soweit das Grundsätzliche über den Entwurf neuer Ufereinfassungen mit Seeschifftiefe. In den letzten 10 Jahren sind jedoch in den Häfen auf dem rechten Weserufer in Bremen zahlreiche Ufer- und Kajenstrecken erneuert bzw. verstärkt worden, wovon nachfolgend einige Beispiele beschrieben werden sollen.

2.3 Kajen-Querschnitt Südseite Europahafen (Ausbaulänge 1945,0 m)

Dieses Beispiel einer mehrfachen Verstärkung und Ergänzung einer Seeschiffskaje ist in seinen charakteristischen Einzelheiten aus der Skizze Bild 1 erkennbar. Die bezeichneten Wassertiefen für die eingetragenen Jahre bedeuten Ausbauabschnitte als Folge der oben behandelten, im Laufe der Zeit erreichten Verbesserungen des Weser-Fahrwassers. Für dieses Bauwerk sind folgende 4 Stadien zu unterscheiden:

1. Kajen-Querschnitt erstellt als Massivmauer auf hölzernem Pfahlrost, Länge ca. 1600 m. Bauzeit 1886—1888. Sohlenlage —4,50 m NN.
2. Vertiefung um 1,20 m vor der Kaje im Jahre 1908. Sohlenlage —5,70 m NN.
3. Verstärkung der Kaje durch einen Vorbau (Breite 7,90 m), bestehend aus einer Stahlsplundwand mit dahinter liegender Stahlbetonrostplatte auf stählernem Pfahlrost (1932). Dicke der Rostplatte 0,80 m, darüberliegender Stahllanker ϕ 2". Sohlenlage —6,70 m NN (1932).
4. Vertiefung der Hafensohle um 2,0 m auf Ordinate —8,70 m NN (1947).

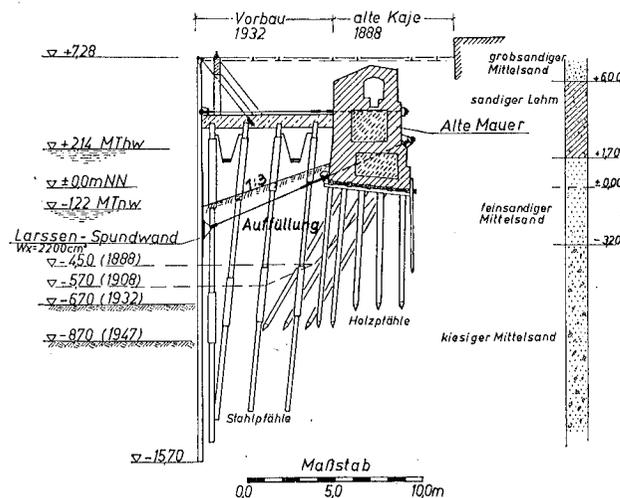


Bild 1
Kajen-Querschnitt Südseite Europahafen

2.4 Erneuerung der Nordkaje Europahafen 1954—1963

Die in den Jahren 1886 bis 1888 in einer Gesamtlänge von 2134,50 m erstellte Kaje als Massivmauer auf hölzernem Pfahlrost war für einen Geländesprung von 11,78 m gebaut worden, wobei die Sohlenlage auf $-4,50$ m NN und die Kajenoberkante auf $+7,28$ m NN gelegt wurde. Schon nach 20jähriger Nutzung des Hafens mußte die Sohle vor der Kaje im Jahre 1908, als die Wassertiefe bei Tideniedrigwasser für zu vertäuende Seeschiffe nicht mehr ausreichte, um $1,20$ m auf $-5,70$ m NN vertieft werden. Die Wassertiefe bei Mittelniedrigwasser (im Jahre 1908 $-0,20$ m NN) vor der Kaje war somit von $4,30$ m auf $5,50$ m vergrößert worden.

Nach den im Jahre 1953 durchgeführten Untersuchungen zum Zwecke des Wiederaufbaues der Nordkaje des Europahafens nach dem Kriege war es notwendig, eine Wassertiefe vor der Kaje herzustellen, die für das Regelfrachtschiff des Weltverkehrs ausreichend ist. Sie wurde mit einer Sohlenlage von $-10,00$ m NN ermittelt.

Für die Nautiker ist der Bezugswert „Seekartennull“ (SKN), in Bremen $-1,25$ m NN, von Bedeutung. Dieser entspricht etwa dem Mitteltideniedrigwasserstand (MTnw), in Bremen $-1,22$ m NN.

Die gewählte Sohlenlage von $-10,00$ m NN gleich $-8,75$ m SKN bedeutet, daß Seeschiffe mit einem Tiefgang von $8,40$ m = $27,5$ Fuß unter Berücksichtigung eines Sicherheitsabstandes von $0,35$ m zwischen Schiffsboden und Hafensohle an der Kaje liegen können.

Die Oberkante der ehemaligen Kaje von $+7,28$ m NN wurde für das Bauwerk beibehalten. Die Vorderkante der neuen Uferbefestigungen mußte im Mittel $5,65$ m wasserseitig der alten Kaje angelegt werden, um die erforderlichen Flächen für den $1,75$ m breiten Leinpfad, die wasserseitige Kranbahn, die Kajengleise und die rd. $5,0$ m breite wasserseitige Schuppenrampe zu erhalten.

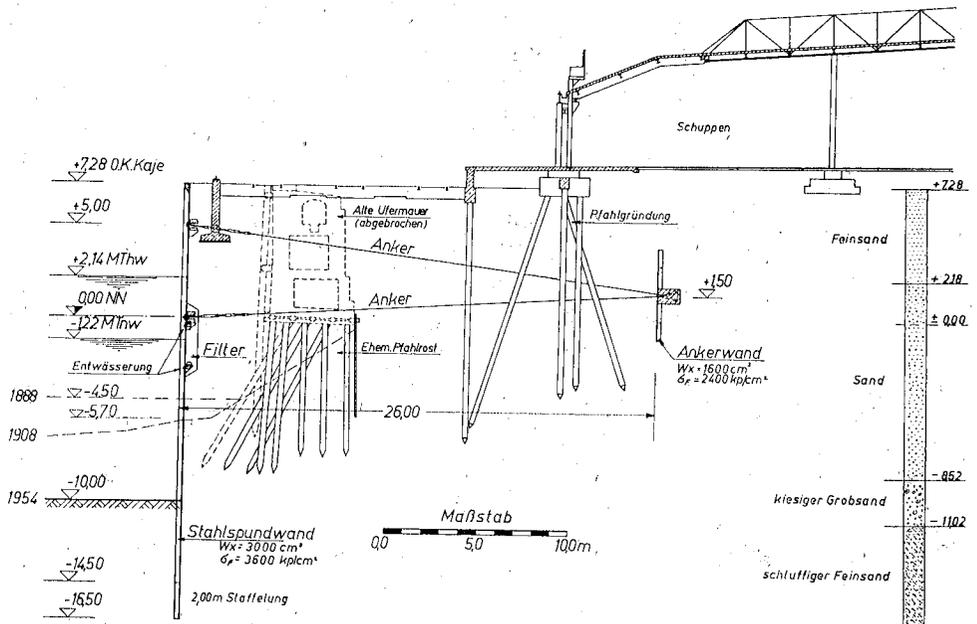


Bild 2
Erneuerung der Nordkaje Europahafen 1954—1963

2.5 Verstärkung der Nordseite im Überseehafen vor Schuppen 15 (Baujahr 1954)

Kajen-Querschnitt Nordseite Überseehafen

1. Bauwerk wurde 1928 erstellt mit einer Sohlenlage von $-9,70$ m NN.
2. Sohlenlage mußte 1947 um $1,0$ m vertieft werden, d. h. bis Ordinate $-10,70$ m NN.
3. Verstärkung des Kajebauwerks durch Rammung einer hinteren Stahlspundwand und Einbau einer vorgespannten Verankerungskonstruktion im Jahre 1954 ermöglichte die Vertiefung der Sohle um einen weiteren Meter, d. h. auf $11,70$ m NN.

Das in den Jahren 1924/28 erstellte Kajebauwerk an der Nordseite des Überseehafens besteht aus einer Stahlbetonwinkelstützmauer auf hölzernem Pfahlrost aus 7 senkrechten Pfahlreihen im vorderen Teil und 7 schrägen Pfahlreihen im hinteren Teil. Den rück-

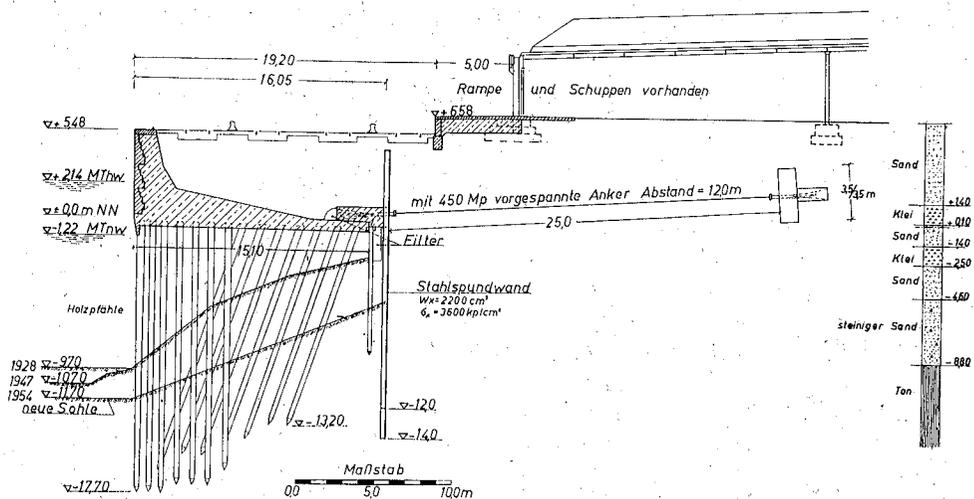


Bild 3

Verstärkung der Nordseite im Überseehafen vor Schuppen 15 (Baujahr 1954)

wärtigen Abschluß der Winkelstützmauer bildet eine hölzerne Spundwand, die durch Bombeneinwirkung an einer Stelle auf 20 m und an anderer auf 50 m Länge gebrochen war, so daß zur Sicherung des Kajebetriebs, da ständig Versackungen eintraten, eine Reparatur notwendig wurde. Um auch Schiffe größeren Tiefgangs ablegen zu können, sollte gleichzeitig vor der Kaje die Hafensohle um 1 m vertieft werden (Bild 3).

Landseitig hinter der vorhandenen Stützmauer wurde eine neue Stahlspundwand Profil Hoesch IV neu gerammt. Auf die rückwärtige Rostplatte der vorhandenen Konstruktion wurde ein durchgehender Stahlbetonbalken vom Querschnitt $0,77 \times 3,00$ m als Ankerbalken aufbetoniert, in welchen je 4 Ankerseile als eine Einheit in Form eines Kabelbesens einbinden. 25 m landseitig der neuen Stahlspundwand wurden Stahlbetonankersteine von $3,50/3,50$ m Größe und hinter denselben Stahlbetonspänklötze angeordnet, in welchen die rückwärtigen Enden der Seilanker befestigt sind. Durch hydraulische Pressen wurden die Seile i. M. bis 450 t vorgespannt.

2.6 Spundwand Kaje I Niedervieland, Hafenecken II, Westseite

Diese erste bedeutende Bremer Hafenanlage auf dem linken Weserufer ist in ihrem Kaje-Querschnitt aus dem Bild 4 zu ersehen. Als Kajenspundwand werden Stahlspundbohlen Profil V in der Güte Sonderstahl verwendet. Die in 27 m Abstand von der Hauptwand landseitig angeordnete Ankerwand besteht aus Stahlspundbohlen Profil IV, ebenfalls in der Güte Sonderstahl. Hauptwand und Ankerwand werden durch zwei Ankerlagen miteinander verbunden. Die Anker der unteren Ankerlage werden im ungünstigsten Lastfall mit 133,6 t belastet. Die Anker der oberen Ankerlage erhalten bei der ungünstigsten Beanspruchung eine Last von 61,7 t.

Als Anker werden patent-verschlossene Stahlkabelanker verwendet. Die Dimensionierung der Anker erfolgt für zweifache Sicherheit, so daß für die unteren Anker eine Seilbruchlast von 270 t und für die oberen Anker eine Seilbruchlast von 125 t erforderlich ist.

Zur Verringerung des Wasserdrucks hinter der Stahlspundwand ist eine Grundwasserentwässerung durch eine Filteranlage mit Rückstauverschlüssen angeordnet. Die Entwässerungsstützen liegen auf Ordinate -1 m NN, so daß die Wirksamkeit der Entwässerung bei niedrigen Hafeneckenwasserständen kontrolliert werden kann.

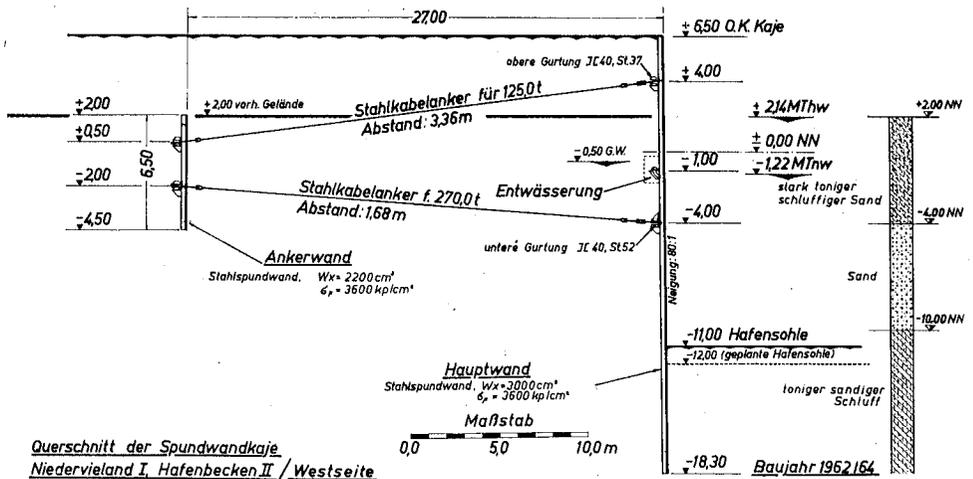


Bild 4

Querschnitt der Spundwand-Kaje Niedervieland I Hafenecken II, Westseite

Der anstehende Kleiboden zwischen Hauptwand und Ankerwand in der Mächtigkeit von rd. 6,5 m wurde beseitigt und durch Mittelsand ersetzt. Die Hinterfüllung des Bauwerkes mit Sand bis zur erforderlichen Höhe von + 6,5 m NN ist im Spülverfahren durchgeführt worden. Die Oberkante der Kaje ist so gelegt worden, daß eine Überflutung bei einem Katastrophen-Hochwasser nicht möglich ist.

3. Beispiele aus Bremerhaven

In Bremerhaven sind zu unterscheiden die Ufermauern an der Weser bzw. in den Hafenteilen außerhalb der Dockschleusen im Tidegebiet mit normalerweise 3,42 m mittlerem Tidehub von den Kajeen hinter den Dockschleusen, für die Wasserstandsschwankungen von höchstens zwischen + 0,30 m NN und + 1,30 m NN in Betracht kommen.

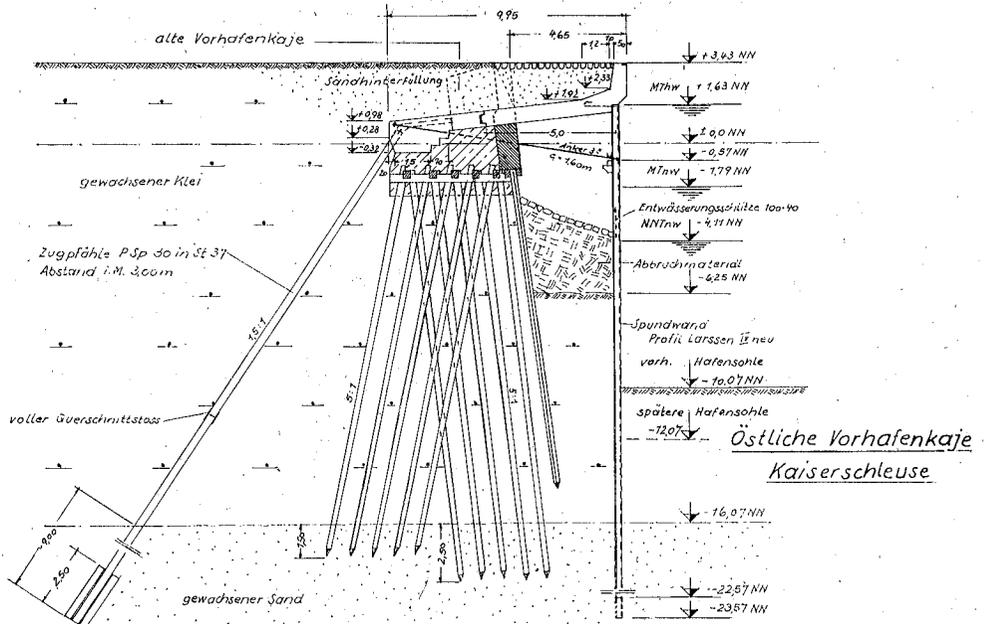


Bild 6
Östliche Vorhafenkaje Kaiserschleuse

Die vordere neue Stahlspundwand wurde lotrecht gestellt und auf diese Weise ein Vorbau der Kaikante um 4,65 m erzielt. Zur Aufnahme der erhöhten Ankerzüge und sonstigen Horizontalkräfte wurde erstmalig in Bremerhaven eine Schrägpfahlreihe mit angeschweißten Flügeln in der Neigung 1,5 : 1 verwendet. Da der Holzpfahlrost der alten Mauer sich in gutem Zustand befindet, war es möglich, sämtliche Vertikalkräfte einschließlich der Nutzlasten der Überschüttung und der Vertikalkomponenten dem Holzpfahlrost zu übertragen.

3.3 Ufermauer am Nordende der Columbuskaje

Baujahr: 1964; Baulänge: 320 m

An dieser Stelle des Weserufers am Übergang der Columbuskaje zur Nordschleuse hatte sich eine, die Einfahrt in die Nordschleuse für große Schiffe erschwerende Anlandung ergeben. Außerdem war man bemüht, die Schiffsliegelänge vor der Columbuskaje soweit irgendetwas weiter zu vergrößern. Modellversuche hatten ergeben, daß die Verlängerung der vorhandenen Kaimauerflucht durch eine Spundwand die Strömungsverhältnisse hier wesentlich verbesserte. So bot es sich an — wie Bild 7 es im Prinzip zeigt — eine verholzte Stahlspundwand in gemischter Bauweise Peine/Krupp in dieser Kaimauerflucht herzustellen und auf einfachste Weise mit Stahlkabelankern an der zurückliegenden älteren Kaimauer zu verankern. Diese sehr langen Anker überwinden einen Abstand der alten von der neuen Flucht bis zu 40,5 m, eine Bauweise, die konstruktiv besonders einfach und wirtschaftlich überzeugend ist, da der eingespülte Sandboden aus Baggerungen hier so gut wie kostenlos zur Verfügung stand. Bemerkenswert ist die Wassertiefe vor der neuen Spundwand von -13,62 m unter Seekartennull. Die in den bindigen Untergrund (Lauenburger Ton) eingreifende Spundwand ist an ihrem Fuß

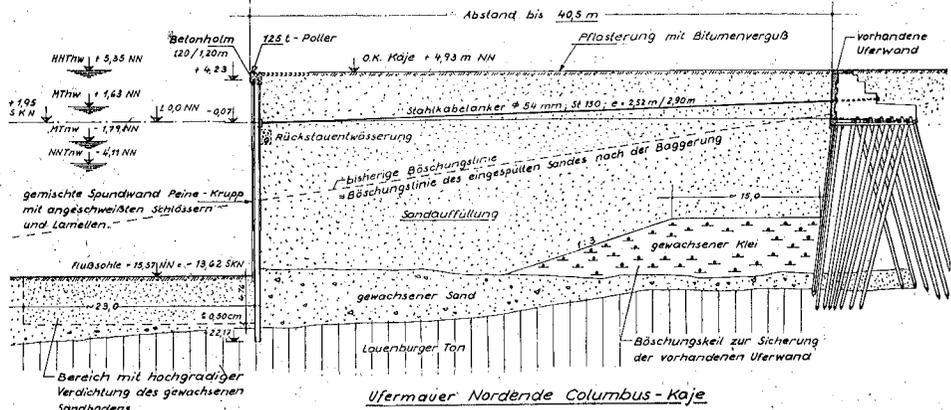


Bild 7
Ufermauer Nordende Columbus-Kaje

durch die künstliche Verdichtung des Sandbodens zwecks Erhöhung des Erdwiderstandes besonders gesichert.

Von den an zweiter Stelle genannten Uferbefestigungen im Dockenhafenbereich seien nachfolgend zwei Beispiele aus dem Fischereihafen und eins vom neugeschaffenen Erzhafen gebracht.

3.4 Spundwandkaje Kühlhaus, Fischereihafen

Baujahr: 1956; Baulänge: 156 m

Dieses ist ein typisches Beispiel für den Ausbau des erweiterten Fischereihafens Bremerhaven mit einer verankerten Spundwandkaje, die auf eine spätere Vertiefung im Hinblick auf die zu erwartenden größeren Fischereifahrzeuge um 1 m Rücksicht nimmt.

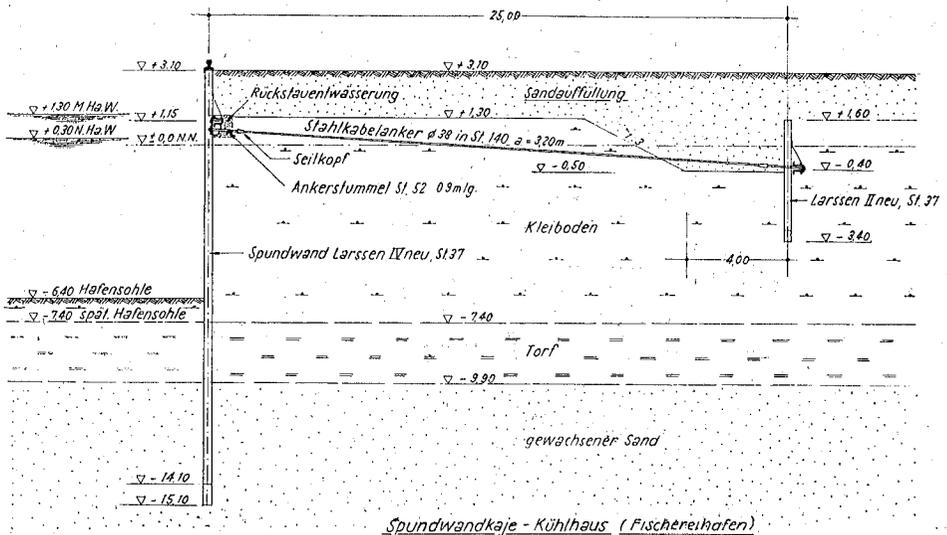


Bild 8
Spundwandkaje — Kühlhaus (Fischereihafen)

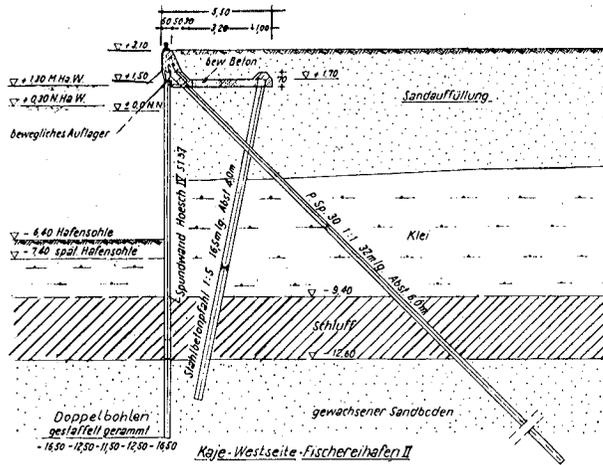


Bild 9

Kaje — Westseite — Fischereihafen II

3.5 Kaje Westseit Fischereihafen II

Baujahr: 1959; Baulänge: 216 m

Dieses unter den gleichen örtlichen Voraussetzungen wie das vorhergehende Beispiel entwickelte Uferbauwerk steht jedoch konstruktiv dazu im Gegensatz. Die den Geländesprung abschließende Spundwand ist mit einer Winkelstützmauer in Stahlbeton überbaut, deren Rostplatte am hinteren Ende von einer schräggeramnten Stahlbetonpfahlreihe getragen wird. Die gesamten Horizontalkräfte gehen in die Ankerpfahlreihe, bestehend aus 1 : 1 gerammten 32 m langen Peiner Profilpfählen PSp 30. Dieses System ist ein beachtliches Beispiel für die neuste Entwicklung von Stahlbeton-Ufermauern auf hohem Pfahlrost, wie sie sich unter anderem auch in Hamburg seit kurzem abgezeichnet hat und in Bremerhaven in der nachstehend betrachteten Kaje am Erzhafen-Überseehafen eine konsequente Weiterentwicklung in größerem Maßstabe gefunden hat.

3.6 Kaje am Erzhafen — Überseehafen

Baujahr: 1964; Baulänge: 320 m

Den Abschluß bildet wiederum eine schwere gemischte Spundwand Peine/Krupp, deren Horizontalkräfte unmittelbar durch den Stahlbetonholm auf die verankerte Schrägpfahlreihe 1 : 1 aus PSp 40 L in Längen von 36,5 m übertragen wird. Der Druckpfahl zur

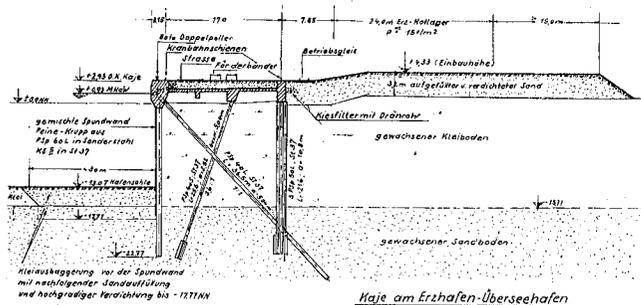


Abb. 10

Kaje am Erzhafen — Überseehafen

Abstützung der Rostplatte, die im übrigen durch Verkehrslasten in Anspruch genommen und entsprechend verstärkt wurde, ist hier als Peiner Flügelpfahl ausgebildet, wie gleichfalls die schweren Traggpfehle für den hinteren Kranbahnbalken, die als Kastenprofil aus 3 PSp 50 L mit angeschweißten Flügeln hergestellt sind. Auch hier besonders charakteristisch die hochgradig verdichtete Zone der Hafensohle, an deren Stelle der Kleiboden ausgekoffert und durch verdichtungsfähigen Sand 4,70 m tief in einer Breite von 30 m vor der Spundwand ersetzt wurde. Beachtlich ist auch unter der landseitig anschließenden Erz-Notlagerfläche der Einbau einer verdichteten Sandschicht von 3,20 m Stärke als Druckausgleich für die hohen Gewichte des zu lagernden Materials im Hinblick auf den im Untergrund befindlichen gewachsenen Kleiboden, der wegen seines hohen Porenvolumens nur begrenzt für Auslasten tragfähig sein dürfte.

4. Beispiele aus Hamburg

4.1 Allgemeines

Für die Kaimauern des Hamburger Hafens ist es charakteristisch, daß bereits vor mehr als 50 Jahren sich die Verstärkung mancher Uferstrecken als notwendig erwies. Die erforderliche Vergrößerung der Wassertiefe an wichtigen Kaistrecken des Stückgutumschlags in Anpassung an den zunehmenden Schiffstiefgang und die veränderte Querschnittsform ließen den bekannten und vor der Jahrhundertwende auch gut bewährten typischen Hamburger Kaimauer-Querschnitt nicht mehr als ausreichend erscheinen. Er wurde somit „überfordert“, zumal auch die Erfassung der statischen Verhältnisse seinerzeit nicht den Erkenntnissen gerecht wurde, die man in letzter Zeit insbesondere auf Grund bodenmechanischer Forschungen anzuerkennen hat.

Es war daher schon in den zwanziger Jahren üblich geworden, nicht nur die älteren Kaimauern mit hinten liegender hölzerner Spundwand oder abdichtender Pfahlwand mit leichten Stahlspundwänden zu hinterrahmen, um das Ausfließen von Sand und gefährliche Sackungen hinter dem massiven Kaimauer-Querschnitt zu verhindern. Man mußte sie auch auf weite Strecken durch Anker gegen ungewolltes Vorgehen sichern; denn die bis 1914 ausgeführten Mauern in der bekannten Hamburger Bauweise auf Holzpfehlrost waren aus den erwähnten Gründen überlastet und an vielen Stellen langsam aber stetig in Bewegung geraten. Wo die Verankerungen nicht als ausreichend erschienen, wurden systematisch Verstärkungsbauten durchgeführt, von denen die exponierten Kaimauern am Kaiser-Wilhelm-Hafen (Auguste-Viktoria- u. Kronprinz-Kai) sowie am Versmannkai im Baaken-Hafen bekannt geworden sind. Diese Verstärkungsmaßnahmen wurden vor allem in den dreißiger Jahren unter möglichst schonender Behandlung des Hafenbetriebes abschnittsweise durchgeführt.

Die Hamburger Kaimauern und ihre Entwicklung allgemein und teilweise die durchgeführten Verstärkungsmaßnahmen sind von Baudirektor Dr.-Ing. Förster ausführlich beschrieben worden in den Jahrbüchern der Hafenbautechnischen Gesellschaft Band 20/21, 1950/51, Seite 79 und Band 27 1964, Seite 118, sowie als Referat der 4. Internationalen Hafentagung Juni 1964 in Antwerpen unter Abteilung 1 „Die Hamburger Kaimauer als Typenbauwerk betrachtet“. Der Hinweis auf diese Veröffentlichungen soll die Möglichkeit geben, die anschließende, nur stichwortartige Beschreibung einiger für Hamburg charakteristischer Neubau- und Verstärkungsmaßnahmen zu ergänzen.

In Fortsetzung der für Bremen und Bremerhaven behandelten Beispiele von Verstärkungsmaßnahmen oder auch von Neubauten, die ohne Anlehnung an vorhandene ältere Ufereinfassungen geschaffen worden sind, erscheint es zweckmäßig, in technischer Hinsicht 4 Gruppen zu unterscheiden, die jeweils andere Konstruktionselemente auf-

weisen. Durch die Beschreibung je eines älteren und eines neueren Beispiels in jeder Gruppe wird wiederum die Weiterentwicklung der speziellen Bauweise im Laufe der letzten 10 Jahre anschaulich gemacht.

- 4.2 Neue Kaimauern ohne konstruktive Anlehnung an ältere Bauteile
 - 4.21 Grevenhofkai-West
 - 4.22 Oswaldkai
- 4.3 Verankerte Kaimauern
 - 4.31 Kaimauerverstärkung am Grenzkanal
 - 4.32 Verstärkung Kaimauer Roßkai Vorschuppen 84
- 4.4 Kaiausbildung als Pierplatte vor älteren Mauern
 - 4.41 Neubau Australiakai
 - 4.42 Neubau Mönckebergkai vor Schuppen 76/77
- 4.5 Mit Stahlbetonüberbauten versehene, an Schrägpfehlen verankerte Kaimauern
 - 4.51 Verstärkung von Kaispeicher A am Schiffbauerrhafen (Norderelbe)
 - 4.52 Verstärkung des Petersenkai vor Schuppen 27
 - 4.53 Kamerunkai (Brooktorkai) vor Schuppen 63

Diese 8 Beispiele werden hinsichtlich weiterer konstruktiver Entwicklungstendenzen betrachtet werden und an dem abschließend gezeigten 9. Beispiel der Seeschiffsmauer Kamerunkai mit Hinweis auf 2 Beispiele moderner Uferneufassungen an binnenschiffstiefem Wasser in Hamburg die hier obwaltenden Einflüsse kennzeichnen.

4.2 Neue Kaimauern ohne konstruktive Anlehnung an ältere Bauteile

4.21 Grevenhofkai-West

Baujahr: 1951/52; Baulänge: 225 m

Auf tragender vorderer Spundwand (gemischtes Profil Peine/Krupp), mittlerer Tragpfehl- und hinterer Pfehlbockreihe in Stahl (Peiner Profil PSp 30 verstärkt) statisch unbestimmt gelagerte Stahlbetonwinkelstützmauer mit unterem Sporn im Tidebereich.

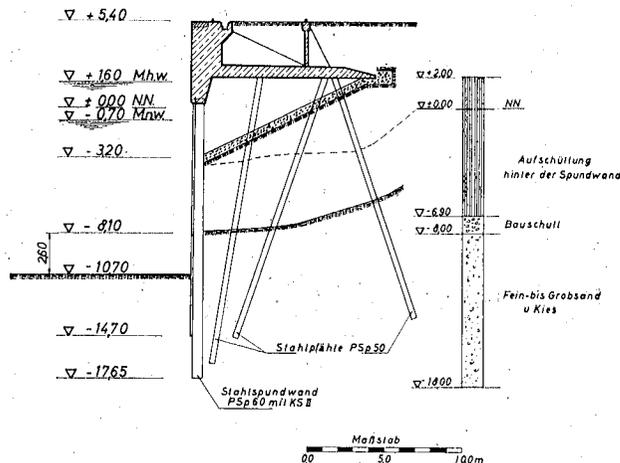


Bild 11
Grevenhofkai — West

Der Hohlraum unter der Rostplatte dient zur weiteren Verminderung der durch diese bereits weitgehend abgeschirmten Erdangriffskräfte. Stahlpfähle sind gewählt worden, weil in diesem Hafengebiete der Untergrund stark trümmerdurchsetzt vorgefunden wurde. Die Ausrüstung zeigt bereits die Portalkranspur mit 6 m Weite und aufgeständerten Kranschienenbalken, dem Schleifleitungskanal vorn, wo sich ebenfalls Doppelpoller, Steigeleitern, Schiffshalteringe und Streichpfähle in der Hamburger Anordnung befinden. Der Querschnitt konnte unabhängig von vorhandenen älteren Bauwerken entwickelt werden (mit Ausnahme der Trümmer im Untergrund).

Der Grevenhofkai wurde in den Jahren 1954 bis 56 zweifach fortgesetzt in aufgelöster Bauweise (Stahlbeton-Kastenquerschnitt), die in etwa dem anschließend behandelten typischen Beispiel 4.22 gleichkommt. Neben der konstruktiv notwendigen Erneuerung der Kaistrecke wurde durch diese Maßnahme eine Sohlenvertiefung von -6,10 m auf -8,70 m NN d. h. um 2 1/2 m bewirkt.

4.22 Oswaldkai

Baujahr: 1955/56; Baulänge: 636 m

Aufgelöster Stahlbetonkastenquerschnitt im Überbau mit schräg nach unten geneigtem „Sporn“, der statisch bestimmt auf vorderer tragender gemischer Spundwand Peine/Krupp und hinterer Stahlbeton-Bockpfahlreihe ruht. Der Hohlraum ist fortan für die Hamburger Kaimauerbauweise typisch. Eine große Zahl von Kaimauern, wie auch die vorliegende, besitzt in jedem Baublock unterhalb der Doppelpoller die sogenannte „Fenderschürze“ zwecks Aufnahme von Schiffsdrücken anstelle der Streichpfähle mit in jeweils notwendiger Höhenlage vor der Mauer aufgehängtem Gummifender aus Autoreifen auf Rundholzkern. Sonstige Ausrüstung wie bei 4.21 benannt. Die durch diese Konstruktion erreichte Sohlenvertiefung in der Kaiflucht beträgt 185 m.

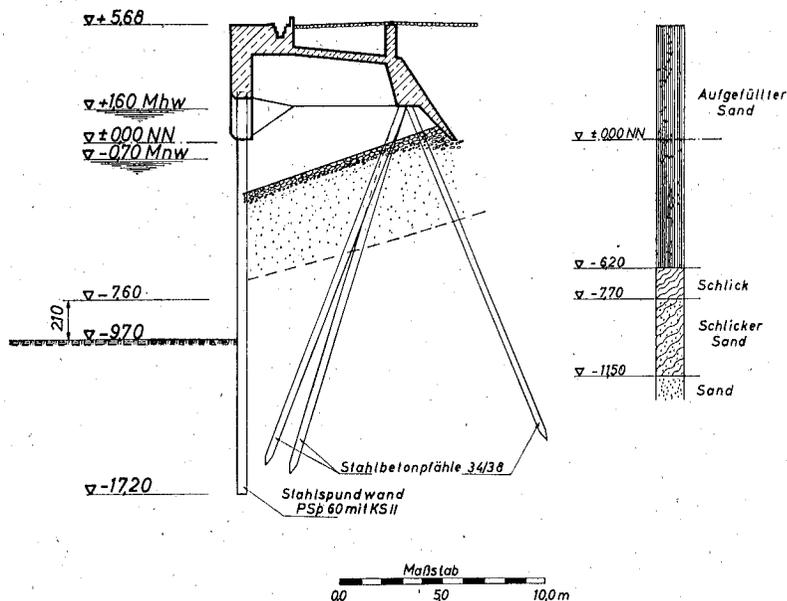


Bild 12
O'swaldkai

4.3 Verankerte Kaimauern

4.31 Kaimauerverstärkung am Grenzkanal

Baujahr: 1956; Baulänge 185 m

Hier bestand eine aus dem Jahre 1926 stammende ältere Kaimauer auf Stahlbetonpfählen für eine seinerzeit ausreichende Wassertiefe von $-7,0$ m NN, die in Anpassung an die hier abzufertigende größeren Seeschiffe vor einer privaten Kaianlage im Freihafen auf die erforderliche Sohlentiefe von $-9,70$ m NN, also um $2,70$ m vertieft werden sollte. Ein Blick auf die Skizze zeigt, daß die vorhandene vordere Stahlbetonspundwand und die tragenden Pfähle viel zu kurz waren, um diese Vertiefung ohne Verstärkung für die Kaimauer auszuhalten. Man entschloß sich daher, die Vorderfront durch eine Stahlspundwand Profil Larssen IV neu und einen mit dem Altbau verzahnten Stahlbetonkopf zu verstärken und das ganze System durch vorgespannte Seilanker von 68 mm Durchmesser in St 140 an als gerammte Larssen-Wand ausgebildeten Ankerplatten zu verankern. Länge der Kaimauer 590 m, gegenseitiger Ankerabstand 10 m. Die Vorspannung wurde auf 200 t je Anker festgesetzt.

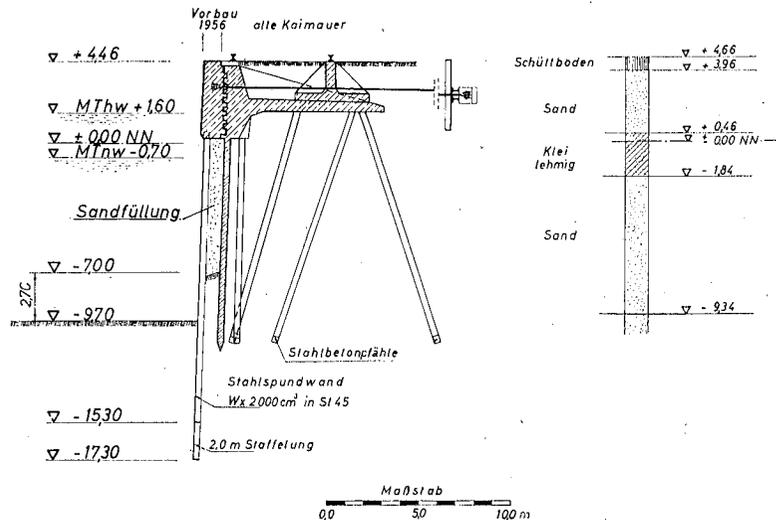


Bild 13

Kaimauerverstärkung am Grenzkanal

Der Zwischenraum zwischen alter Stahlbeton- und neuer Stahlspundwand wurde mit Sand ausgefüllt. Wie die Skizze zeigt, ist, um neuere Portalkräne mit $5,20$ m Spurweite auf dem Kai verwenden zu können, die hintere Kranschiene nachträglich aufgebracht, Mithilfe einer lastverteilenden, breitfüßigen Konstruktion des Kranschienenträgers. Die wasserseitige Ausrüstung zeigt Reibehölzer im Bereich oberhalb des MTnw.

4.32 Verstärkung Kaimauer Roßkai vor Schuppen 84

Baujahr: 1960/61; Baulänge: 250 m

Sicherung einer jahrelang in Bewegung befindlichen Kaistrecke durch Davorrammen einer durch aufgeschweißte Lamellen verstärkten Stahlspundwand Hoesch IV unter

gleichzeitiger, an dieser Stelle besonders notwendig erscheinender Gewinnung einer um 2,70 m vergrößerten Sohllentiefe von $-10,70$ m NN.

Der alte Kaimauerkörper ist in vollem Umfang als Bestandteil der neuen konstruktiven Kombination erhalten geblieben und nur im oberen Teil durch den oberhalb Mittelhochwasser angeordneten Stahlbetonkopf mit der Spundwand alle 4,80 m gemeinsam verankert durch 28 m lange Stahlkabelanker, die in kreiszylindrisch geformten Ankerkörpern

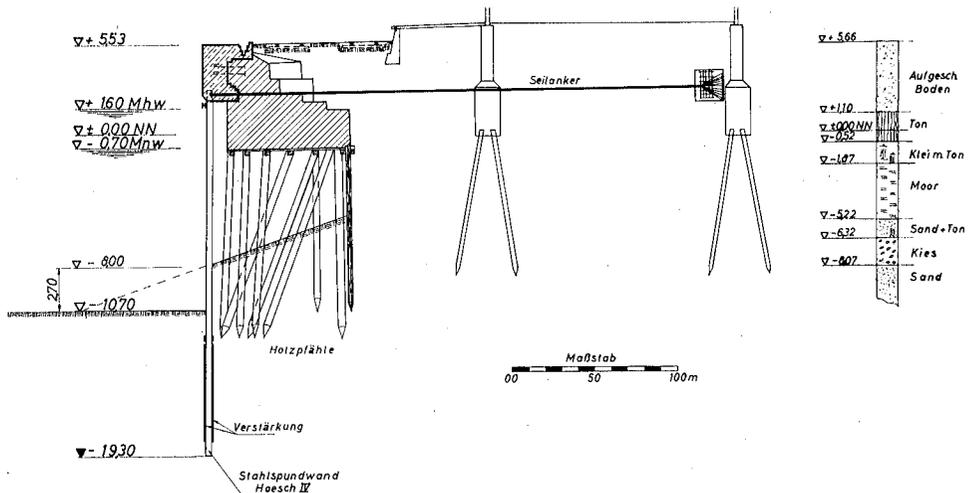


Bild 14
Verstärkung Kaimauer Roßkai vor Schuppen 84

im mittleren Kaischuppenbereich abgefangen werden. Wegen der hier vor allem zu erwartenden größeren Seeschiffe hat man auf Fenderschürzen verzichtet und zwecks Vermeidung von Tidearbeit bei der Herstellung des Stahlbetonkopfes die Betonunterkante auf $+ 2,0$ m NN gelegt.

4.4 Kaiusbildung als Pierplatte vor älteren Mauern

4.41 Neubau Australiakai

Baujahr: 1953/54; Baulänge: 565 m

Der im Kriege stark angeschlagene und zum Teil völlig zerstörte Australiakai sollte erneuert werden, wobei sich aus planerischen Gründen ein Vorziehen der neuen vor die alte Kaimauerflucht um rd. 12,50 m als notwendig ergab. Streckenweise konnte die alte, durch Vorschütten von Sand zu sichernde Kaimauer als hinterer Abschluß und zur Auflagerung einer von Stahlbetonpfählen gestützten hochliegenden Pierplatte verwendet werden. Die vorhandene Stahlspundwand war dem geringeren Geländesprung entsprechend als Wellenprofil Krupp III bzw. V auszubilden. Die erreichte Vertiefung betrug 3,20 m. Die für Hamburg verhältnismäßig leicht erscheinende Konstruktion ist in jedem Block mit einer Fenderschürze ausgestattet, trägt die Krangleise und 2 bzw. 3 wasserseitige Eisenbahngleise vor der Rampe. Die Steifigkeit des Systems wird vor allem durch die in waagerechter Richtung als Scheibe ausgebildete Pierplatte gewährleistet, die auf der Störungsstrecke der Blöcke 2—5 im hinteren Teil anstelle der alten Kaimauer auf

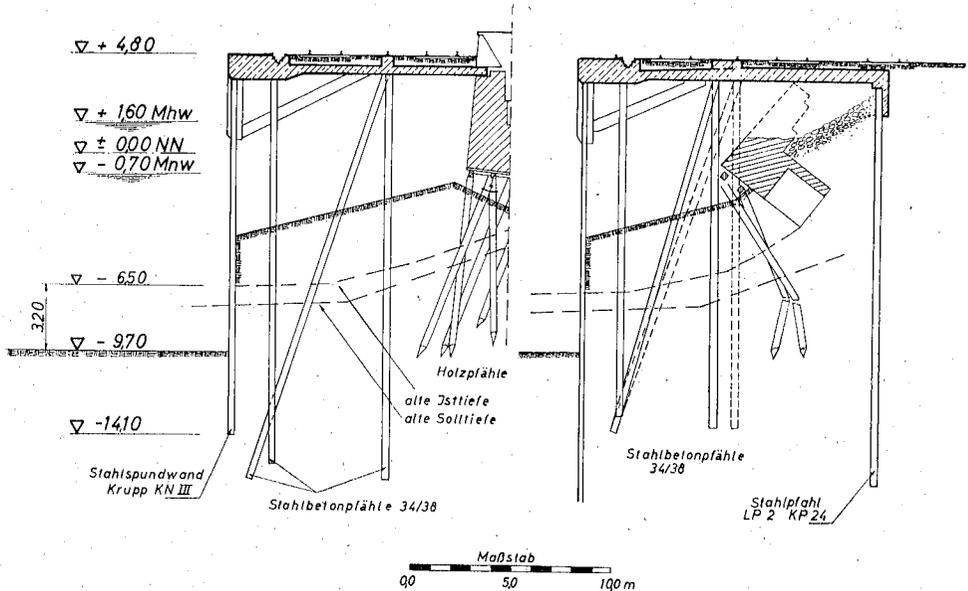


Bild 15
Neubau Australiakai

einer Stahlpfahlreihe von 20 m Länge alle 3 m gestützt werden mußte. Beachtlich ist auch hier der auf 2,30 m Tiefe bemessene Sporn zur Sicherung der Böschung unterhalb der Platte am landseitigen Ende.

4.42 Neubau Mönckebergkai vor Schuppen 76/77

Baujahr: 1958; Baulänge: 733 m

Der zwar veraltete, aber im ganzen intakte Kaimauerquerschnitt des Jahres 1901, der seinerzeit schon einmal verankert worden war, galt für die bisherige Wassertiefe von $-8,24$ m NN als einigermaßen ausreichend, mußte aber aus zwei Gründen einer Neugestaltung unterworfen werden. Die neue Hamburger Kaiaufteilung mit 3 wasserseitigen Gleisen ließ eine zweckmäßige Verwirklichung dieser Anordnung bei genügend breiter Schuppenrampe nicht mehr zu, so daß man sich bemühte, ein praktisch und wirtschaftlich günstig erscheinendes durch Vergleichsrechnung ermitteltes Vorbaumaß von i. M. 12,50 m konstruktiv zu überbrücken. Dies gelang nach Art einer im Vergleich zum Australiakai viel stärker ausgebildeten Pierplatte in Kastenform mit durchgehenden tragenden Wänden, sowohl wasserseitig über der Stahlpundwand (Larssen IV neu) wie landseitig zugleich als Kranbahnbalken ausgebildet über der Tragpfahlreihe in Spezialausführung. Diese Pfähle sind im Boden als Stahlpfähle K 24 im oberen Teil, als Stahlbeton, Querschnitt 34/38, hergestellt und durch eine sinnreiche, alle Kräfte und Momente übertragende Verbindungs konstruktion gestoßen, da man im Wasserbereich ein Korrodieren von reinen Stahlpfählen befürchtete. Die schwache Spreizung ist aus Gründen der besseren Druckübertragung in den Untergrund gewählt; sie hat nicht etwa eine Bockwirkung auszuüben, da sämtliche Horizontalkräfte der alten Kaimauer und des neuen Baukörpers durch Stahlseilanker $\phi 54$ in 26 m Länge und i. M. 5,0 m Abstand an Stahlbetonankerplatten 2×2 m mit Vorspannung auf rd. 50 t aufgenommen werden. Die bemerkenswerte

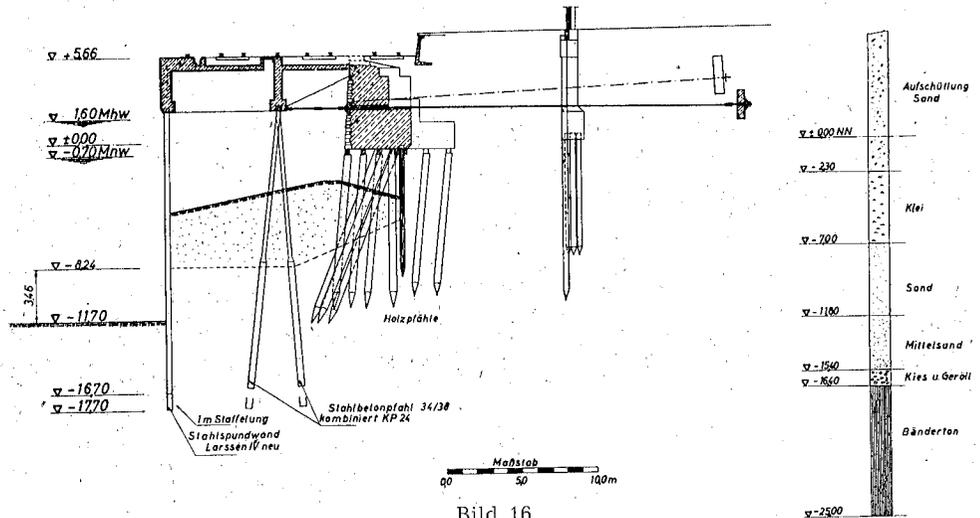


Bild 16
Neubau Mönckebergkai vor Schuppen 76/77

Neukonstruktion hatte das Ziel, an dieser modernsten Stückgut-Kaistrecke des Hamburger Hafens eine künftige Sohlentiefe von $-11,70$ m für die größten Frachtschiffe dieser Verkehrssparte möglich zu machen. Die erreichte Vertiefung an dieser Stelle beträgt also rd. $3,50$ m.

4.5 Mit Stahlbetonüberbauten versehene, an Schrägpfählen verankerte Kaimauern

4.51 Verstärkung vor Kaispeicher A am Schiffbauerdafen (Norderelbe)

1. Bauabschnitt = $126,5$ m; Baujahr: 1962

An der Südfront des im Wiederaufbau befindlichen, für Seeschiffe zugänglichen Kaispeichers A am Kaiserhöft war künftig eine Sohlentiefe von $-9,70$ m NN herzustellen, wozu die alte, auf Senkbrunnen gegründete, aus Gewölben bestehende gemauerte Ufer-

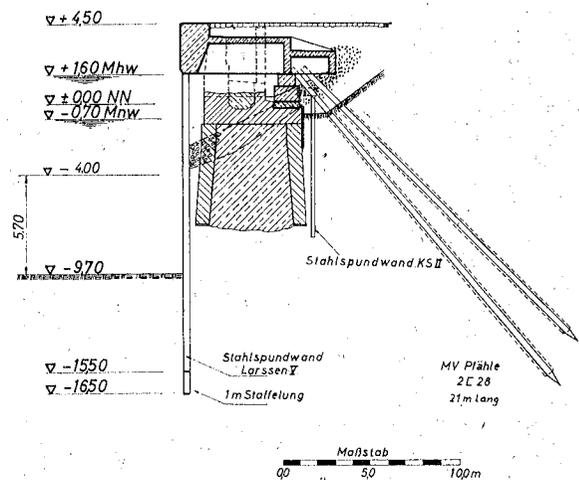


Bild 17
Verstärkung vor Kaispeicher A
am Schiffbauerdafen

einfassung mit nur rd. 4 m Wassertiefe nicht ausreichte. Wie der Querschnitt zeigt, hatte man eine Stahlspundwand Larssen V mit Stahlbeton-Holm und Überbau in Kastenbauweise verwendet und diese Konstruktion landseitig auf die Brunnen gesetzt, die als Gründungselemente in gutem Baugrund dafür ausreichend erschienen. Die Horizontalkräfte mußten allerdings zusätzlich von Schrägpfählen in Spezialbauart (sog. MV-Pfählen) von je 21 m Länge aufgenommen werden. Dazu war eine bereits vorhandene Stahlspundwand hinter den schon beschädigten Mauerteilen zwischen den Brunnen zur Aufnahme des Erdangriffs im unteren Bereich geeignet. Das Beispiel zeigt eine moderne Seeschiffsmauer als besonders wirtschaftliches Beispiel einer für Hamburg typischen Modernisierung.

4.52 Verstärkung des Petersenkai vor Schuppen 27

Baujahr: 1963/64; Länge: 290 m

In Abwandlung der Beispiels 4.51 wurde hier die an sich für geringere Wassertiefe -5,60 m doch intakte Kaimauer auf Holzpfahlrost mitverwendet und durch Verzahnung in das statische System des tragenden Stahlbetonüberbaues auf vorderer Spundwand Hoesch IV und hinterer Stahlbetonpfahlreihe 34/38 einbezogen. Die Horizontalkräfte werden wiederum durch MV-Pfähle, die hier nur 16,50 m lang zu sein brauchen (günstige Kraftübertragung im Mittelsand) äußerst wirtschaftlich aufgenommen. Pfahlabstand 4,30 m entsprechend der Kastenbreite des Stahlbetonüberbaues, woraus sich die relativ schwache Ausbildung der hinteren Kastenwand mit 2 m Konstruktionshöhe ergeben hatte. Diese Höhe wurde auch hafengebäulich für vertretbar gehalten, zumal die Erfahrung der Schifffahrt in neuerer Zeit eine relativ hohe Lage der Gummifender oberhalb + 2,0 m NN ermöglichten, wodurch die in früheren Jahren angeordneten Fenderschürzen hier entbehrlich erschienen. Denkt man sich in diesem Beispiel den Rest der alten Kaimauer mit ihrem Holzpfahlrost fort, so verbleibt ein Querschnitt, wie er in letzter Zeit konstruktiv als Optimum für den Durchschnitt der Hamburger Bodenverhältnisse im Hafen anzusehen ist.

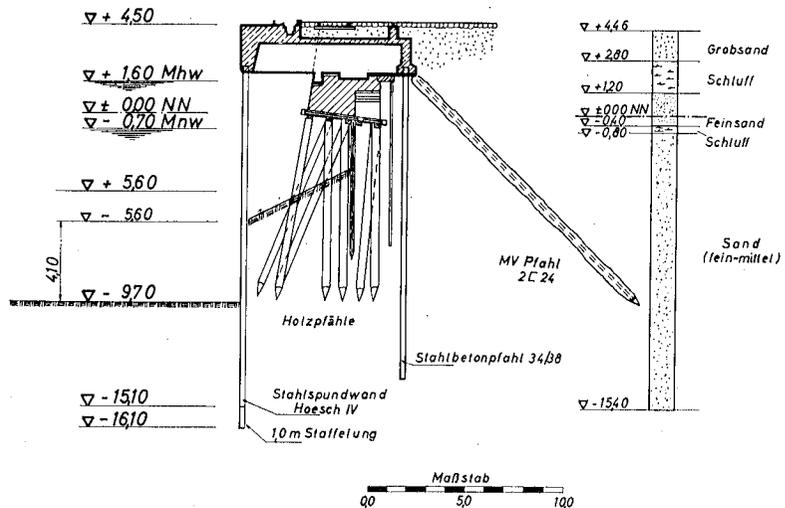


Bild 18
Verstärkung des Petersenkai vor Schuppen 27

Als zusätzliches Beispiel sei daher der Kamerunkai (Brooktorkai) vor Schuppen 63 genannt.

4.53 Kamerunkai (Brooktorkai) vor Schuppen 63

Baujahr 1962/64, Baulänge: 361 m

In der Abbildung ist die alte vorhandene hölzerne Vorsetze an dieser Stelle zwar noch enthalten, wirkt aber praktisch im System nicht mehr mit. Als Variante im Vergleich zu den bisherigen Beispielen ist die vorhandene tragende Spundwand als Larsen-Profil in Winkelform W 32 ausgeführt worden. Die Technologie des Stahlbetons hatte sich inzwischen so weit vervollkommnet, daß man in manchen Fällen den rd. 10 Jahre streng gemiedenen Tidebau wieder zuließ, so daß in dem Beispiel Kamerunkai die Unterkante des Stahlbetonüberbaues auf + 1,0 m NN zwar im Tidebereich liegt, aber nur kurze Zeit bei Hochwasser überflutet wird, so daß mit Hilfe zweckmäßiger Schalung und schneller Betonierfolge nachteilige Einflüsse aus diesem Tidebau auf die Qualität der Kaimauer vermieden werden konnten.

Der Querschnitt ist insofern bemerkenswert, als in geringer Abwandlung ein Hamburger Beispiel am binnenschiffstiefen Wasser (Brooktorkai) einen weiteren Schritt zur konstruktiven Vereinfachung bildet, die bei Bremerhaven bereits erkennbar war. Der Schrägpfeiler greift nicht mehr an der hinteren Wand des Kastens im Lotpfahlbereich an, sondern ist sogleich neben der Spundwand mit seinem Kopf im vorderen holmartigen Abschluß des Uferbauwerkes geschlagen.

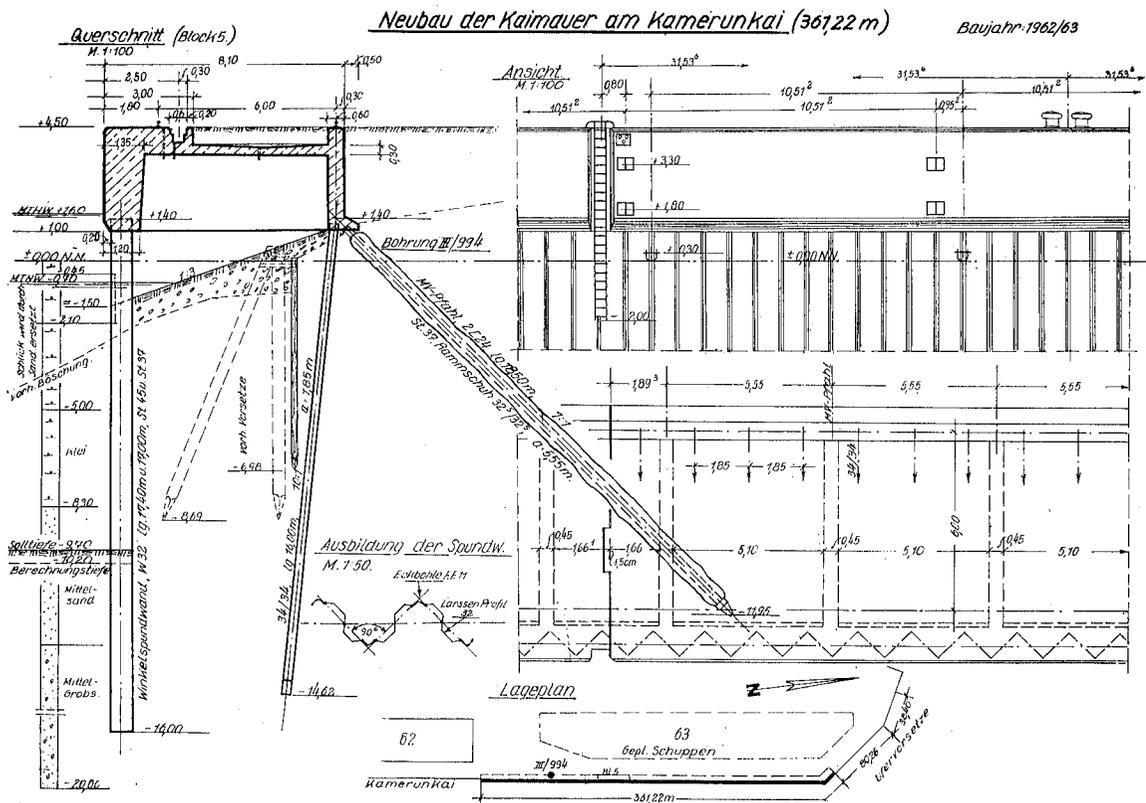


Bild 19
Neubau der Kaimauer am Kamerunkai