

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Eißfeldt, Fritz P.

Stand sicherheitsbeurteilung alter Hafenanlagen am Beispiel der Woltmann Kaje Cuxhaven

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102902>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Eißfeldt, Fritz P. (1986): Standsicherheitsbeurteilung alter Hafenanlagen am Beispiel der Woltmann Kaje Cuxhaven. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 58. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 71-88.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

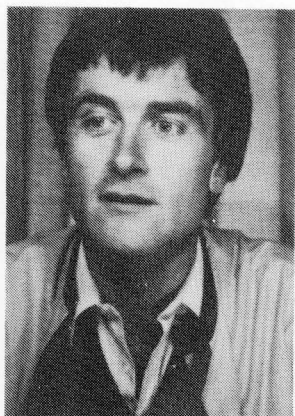
Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Dipl.-Ing. Fritz P. E i ß f e l d t

STANDSICHERHEITSBEURTEILUNG ALTER HAFENANLAGEN
AM BEISPIEL DER WOLTMANKAJE CUXHAVEN

Stability analysis of old harbour structures
illustrated by the Woltmankaje Cuxhaven



Fritz P. Eißfeldt, Dipl.-Ing. Wissenschaftlicher Angestellter in der Bundesanstalt für Wasserbau.

Geboren 1954, Studium des Bauingenieurwesens an der Technischen Hochschule Braunschweig von 1975 bis 1981. Stellvertretender Referatsleiter im Referat Erd- und Grundbau der Außenstelle Küste, seit 1981 bei der Bundesanstalt für Wasserbau, Außenstelle Küste.

Inhaltsangabe

Alte Hafenanlagen sind im Hinblick auf ihre zukünftige Nutzung und auf ihre Standsicherheit zu untersuchen. An der Woltmankaje Cuxhaven wird beispielhaft gezeigt, welche Untersuchungen erforderlich sind und wie eine Standsicherheitsbeurteilung durchgeführt wird.

Summary

Old harbour structures have to be examined in view of their stability and their further use. The necessary examinations and the performance of the stability analysis are shown by the Woltmankaje Cuxhaven.

I N H A L T

	Seite
1 Einleitung	73
2 Voruntersuchungen	73
2.1 Studium vorhandener Planunterlagen	73
2.2 Loch- und Rißaufnahme	75
2.3 Verformungs- und Setzungsmessungen	76
2.4 Höhenlage der Hafensohle	77
2.5 Höhenlage des anstehenden Bodens hinter der Hafenwand	77
3 Baugrunduntersuchungen	78
4 Untersuchungen des baulichen Zustandes der Bauteile	79
5 Statische Untersuchungen	80
5.1 Lastannahmen	80
5.2 Standsicherheit der Kajenwand	81
5.3 Tragfähigkeit der Pfahlrostplatte	81
5.4 Standsicherheit der Pfahlgründung	81
6 Probelastungen des Pfahlsystems	82
7 Empfohlene Sanierungsmaßnahmen	85
7.1 Vorsetzen der neuen Wand	85
7.2 Kajenüberbau	86
8 Schlußbemerkung	87

1 Einleitung

Die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung schaltet die BAW in den letzten Jahren zunehmend ein, um zum einen den baulichen Zustand und zum anderen die vorhandene Standsicherheit bestehender Hafenanlagen zu untersuchen. Hierbei handelt es sich um Bauwerke, die 50 Jahre und älter sind. Bei diesen Hafenanlagen bestehen die Spundwand- und Ankerkonstruktionen meist aus Stahl, während die Tragpfähle und der Kajenüberbau in der Regel in Stahlbeton ausgeführt sind. Gerade im Hafengebiet und da besonders im Küstenbereich werden die Bauteile durch Wasseraggressivität, hohe Luftfeuchtigkeit und starke Temperaturschwankungen (Eisbildung) extrem beansprucht. Diese Beanspruchungen führen zu Schäden: im Stahlbeton zu Rissen und Abplatzungen und im Stahl zur Korrosion. Weitere Schadensursachen sind oftmals darauf zurückzuführen, daß zum einen die Hafensohle gegenüber den ursprünglichen Planungen tiefergelegt wurde und zum anderen höhere Belastungen als rechnerisch angenommen beim Umschlag der Güter aufgetreten sind. Teilweise sind die Schäden auch noch auf Kriegseinwirkungen zurückzuführen.

Da die im Laufe der Zeit zunehmenden Bauwerksschäden das Tragverhalten der Bauteile erheblich reduzieren können, ist bei einer weiteren Nutzung der alten Hafenanlagen eine eingehende Standsicherheitsuntersuchung unbedingt erforderlich. Auf der Grundlage dieser Standsicherheitsuntersuchung können dann alternative Sanierungsmöglichkeiten statisch und ausführungstechnisch untersucht und angegeben werden.

An der Woltmankaje Cuxhaven soll beispielhaft gezeigt werden, wie die Standsicherheitsbeurteilung einer alten Hafenanlage durchzuführen ist.

2 Voruntersuchungen

Für eine Standsicherheitsbeurteilung eines Bauwerkes muß neben den Baugrundverhältnissen und den Bauwerksabmessungen vor allem der bauliche Zustand bekannt sein. Je sorgfältiger und umfassender der bauliche Zustand aufgenommen und dokumentiert wird, umso fundierter läßt sich die Standsicherheit einer Hafenanlage beurteilen. Bei der Woltmankaje wurden dazu folgende Voruntersuchungen durchgeführt:

2.1 Studium vorhandener Planunterlagen

Die Woltmankaje wurde in mehreren Bauabschnitten hergestellt bzw. erneuert (siehe Bild 1). Der erste Kajenteil wurde 1913, der neuere Kajenbereich im Jahre 1923 erbaut. Im Jahre 1935 wurde die Kajenanlage verlängert und umgebaut. Welche Maßnahmen wann und wo im einzelnen durchgeführt wurden, ist nicht bekannt.

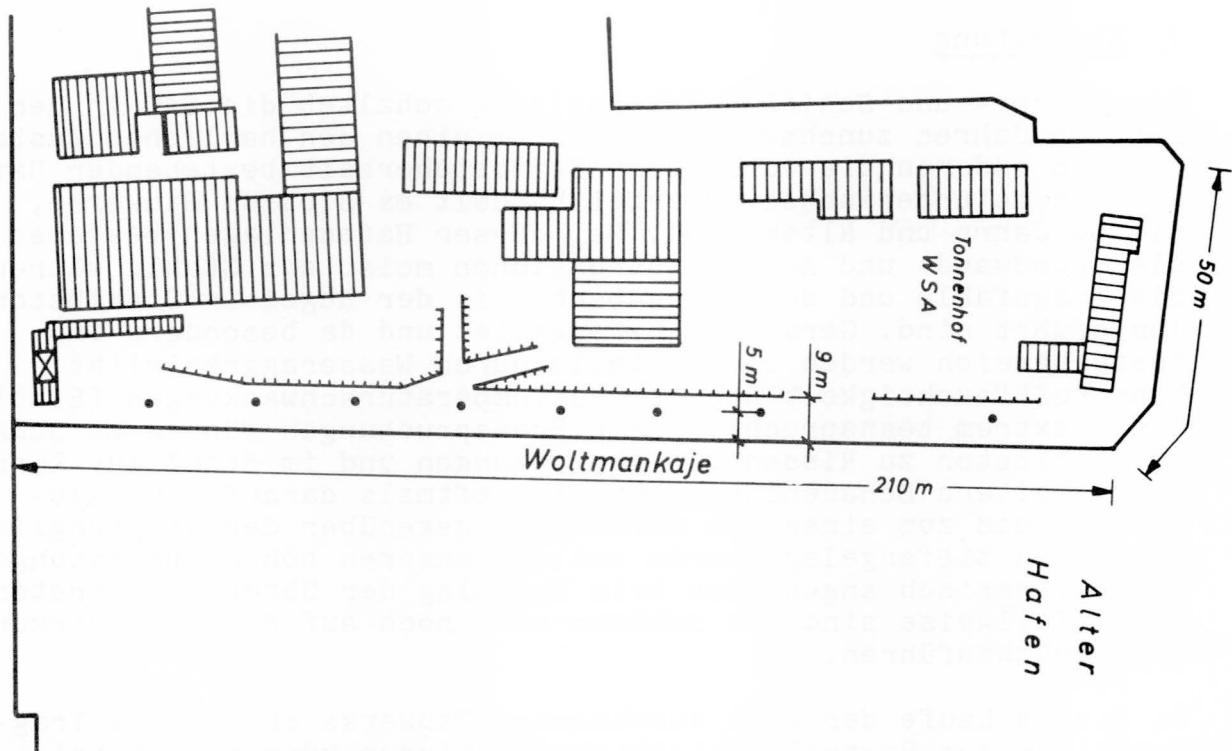


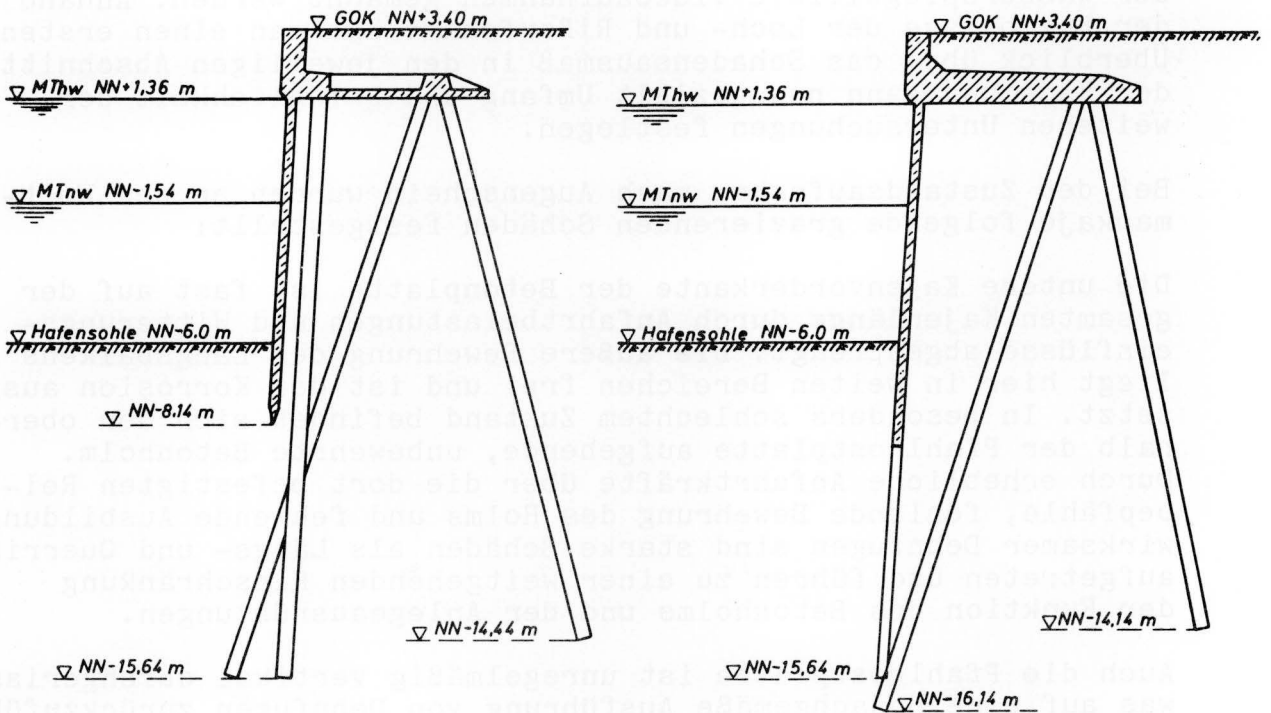
Bild 1 Lageplan der Woltmankaje

Nach den vorliegenden Querschnittszeichnungen und Rammplänen ist davon auszugehen, daß im Bereich der ca. 260 m langen Hafenanlage 2 verschiedene Pfahlrostquerschnitte ausgeführt wurden. Dies bestätigen auch die Beobachtungen hinter der Kajenwand, soweit es beim Ziehen der Stahlbetonkerne durch die Bohrlöcher mit Spiegel und Taschenlampe erkennbar war.

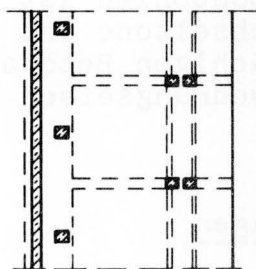
Beim 1. Kajenquerschnitt (siehe Bild 2) handelt es sich um eine auf Pfählen gegründete Pierplatte, an deren Vorderseite eine 1 : 15 geneigte Spundwand aus Stahlbetonbohlen angeordnet ist. Beim 2. Kajenquerschnitt (siehe Bild 3) ist der vordere Lotpfahl in die Spundwandachse integriert. Der wesentliche Unterschied in den Pfahlrostquerschnitten liegt demnach in der Lage des vorderen Tragpfahles. Außerdem sind geringe Abweichungen in den Pfahlquerschnitten, den Pfahlabständen und den Pfahlneigungen vorhanden. Die Pfahlfüße liegen bei beiden Kajenquerschnitten in der gleichen Gründungsebene, so daß hinsichtlich der Lastabtragung aus dem Kajenüberbau keine wesentlichen Unterschiede bestehen. Ein mehrfacher Wechsel der Pfahlrostquerschnitte entlang der Woltmankaje ist auch nach amtsseitigen Angaben nicht auszuschließen, da bei der Aufhöhung und Verstärkung des benachbarten Helgoländer Kais ähnlich wechselnde Verhältnisse festgestellt wurden. Der Helgoländer Kai hat den gleichen konstruktiven Aufbau und stammt aus gleicher Bauzeit wie die Woltmankaje. Nach den vorliegenden Planunterlagen konnte somit nicht eindeutig gesagt werden, in welchem Abschnitt der Woltmankaje welcher Kajenquerschnitt vorhanden ist.

Dies läßt sich auch vor Ort nicht feststellen, da das Pfahl-
system durch den Überbau und die Kajenwand verdeckt wird.
Bei der Standsicherheitsbeurteilung mußte also von 2 Pfahlrost-
querschnitten ausgegangen werden.

Über die Baugrundverhältnisse gaben die vorhandenen Planunter-
lagen nur ungenügende Informationen.



Grundriß



Grundriß

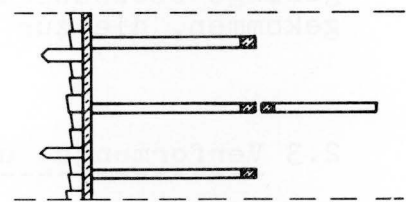


Bild 2 Kajenquerschnitt 1

Bild 3 Kajenquerschnitt 2

2.2 Loch- und Rißaufnahme

Um einen Überblick über Art und Umfang der Schäden entlang
einer Hafenanlage zu bekommen, sollte zunächst eine grundlegen-
de Bestandsaufnahme der Löcher und Risse erfolgen. Dabei wird
so vorgegangen, daß die Kajenwand und der Überbau Meter für
Meter auf augenscheinlich erkennbare Schäden zu untersuchen
sind.

Als Schäden treten vornehmlich Löcher und Risse auf, die mit dem Zollstock aufzumessen sind und deren Lage und Größe zu protokollieren ist. Die Schadensaufnahme unterhalb der Wasserspiegellinie hat mit Taucherhilfe in gleicher Art und Weise zu erfolgen, um auf der gesamten Höhe des Geländesprunges eine Aussage über das Schadensmaß zu erhalten. Um auch jemandem, der die Hafenanlage nicht kennt, einen Eindruck über das Schadensausmaß zu geben, sollten zusätzlich Fotos bzw. unterhalb der Wasserspiegellinie Videoaufnahmen gemacht werden. Anhand der Ergebnisse der Loch- und Rißaufnahme hat man einen ersten Überblick über das Schadensausmaß in den jeweiligen Abschnitten der Kaje und kann nun gezielt Umfang und Dringlichkeit der weiteren Untersuchungen festlegen.

Bei der Zustandsaufnahme nach Augenschein wurden an der Woltmankaje folgende gravierenden Schäden festgestellt:

Die untere Kajenvorderkante der Betonplatte ist fast auf der gesamten Kajenlänge durch Anfahrtbelastungen und Witterungseinflüsse abgesprengt. Die äußere Bewehrung des Längsbalkens liegt hier in weiten Bereichen frei und ist der Korrosion ausgesetzt. In besonders schlechtem Zustand befindet sich der oberhalb der Pfahlrostplatte aufgehende, unbewehrte Betonholm. Durch erhebliche Anfahrtskräfte über die dort befestigten Reibepfähle, fehlende Bewehrung des Holms und fehlende Ausbildung wirksamer Dehnfugen sind starke Schäden als Längs- und Querrisse aufgetreten und führen zu einer weitgehenden Einschränkung der Funktion des Betonholms und der Anlegeausrüstungen.

Auch die Pfahlrostplatte ist unregelmäßig vertikal durchgerissen, was auf eine unsachgemäße Ausführung von Dehnfugen zurückzuführen ist.

Der Oberflächenzustand der Stahlbetonbohlen ist sehr unterschiedlich. Insbesondere in der Wasserwechselzone ist es durch zu geringe Betonüberdeckung zu weitflächigen Betonabplatzungen gekommen, die zur Korrosion der Bewehrungseisen geführt haben.

2.3 Verformungs- und Setzungsmessungen

Im Rahmen der Standsicherheitsbeurteilung können eingetretene Verformungen und Setzungen im Bereich der Hafenanlage eine wertvolle Aussage sein. Wandverformungen von nur wenigen Zentimetern können bereits mit dem bloßen Auge bemerkt werden. Wenn bei der Ortsbesichtigung Verformungen an der Kajenwand und Setzungsdifferenzen in den Blockfugen augenscheinlich erkennbar sind, dann sollten diese aufgemessen werden. Setzungsdifferenzen treten vornehmlich in den Blockfugen und in der Kajenabdeckung (z.B. Pflasterung) auf und sind gut zu erkennen. An der Woltmankaje jedoch konnten keine Verformungen und Setzungen festgestellt werden, die auf Bewegungen im Pfahlrost und der Kajenwand zurückzuführen sind. Deshalb waren hier keine Verformungs- und Setzungsmessungen erforderlich.

2.4 Höhenlage der Hafensohle

Um einen Standsicherheitsnachweis durchführen zu können, muß die Höhenlage der Hafensohle bekannt sein. Durch den Bau größerer Schiffe in den letzten Jahrzehnten reichten die ursprünglich geplanten Hafentiefen nicht mehr aus. Die Hafensohlen wurden daher durch Baggermaßnahmen oder aber durch Kolke beim An- und Ablegen der Schiffe zunehmend vertieft. Dies führt zu einer Verringerung des Erdwiderstandes der Hafenwand und gefährdet die Standsicherheit der Hafenwand. Deshalb ist bei Standsicherheitsuntersuchungen immer zu empfehlen, die Höhenlage der Hafensohle durch Peilungen zu erkunden und mit der ursprünglich geplanten Hafensohle zu vergleichen. Im Tidegebiet mit hohem Schlickanfall sollte zusätzlich durch Stangenpeilung untersucht werden, ob die derzeitige Höhenlage der Hafensohle anzusetzen ist oder ab nicht durch frühere Baggermaßnahmen eine wesentlich tiefer liegende Sohle anzusetzen ist. Der sedimentierte Schlick hat meist nur eine flüssige breiige Konsistenz und sollte beim Ansatz des Erdwiderstandes nicht berücksichtigt werden. Im Bereich der Woltmankaje wurden insgesamt 8 Peilprofile vor der Hafenwand angelegt. Die Ergebnisse wurden mit den ursprünglichen Sohlentiefen und der vorhandenen Einbindelänge der Hafenwand verglichen. Danach ergab sich, daß die tatsächliche Hafensohle bis zu 1,7 m unter der Solltiefe liegt und die Hafenwand damit nur noch 1,2 m in den Untergrund einbindet.

2.5 Höhenlage des anstehenden Bodens hinter der Hafenwand

Bei den Standsicherheitsuntersuchungen an alten, überbauten Kajen ist immer wieder festgestellt worden, daß sich unter der Pierplatte bzw. hinter der Spundwand eine natürliche Böschung ausgebildet hat. Dies ist darauf zurückzuführen, daß der Boden unter der Pierplatte bei ständig wechselnden Wasserständen durch die undichten Fugen der Hafenwand austreibt. Da es sich bei der Woltmankaje um eine Spundwand aus aneinandergesetzten Stahlbetonbohlen handelt, treten Undichtigkeiten zwischen den Stahlbetonbohlen auf. In der Regel befindet sich unter der Pierplatte nicht tragfähiger Boden aus Klei oder schluffigem Feinsand. Beim Rückgang der Flut entweichen die Bodenteilchen dann mit dem ablaufenden Wasser durch die Fugen der Kajenwand und es bilden sich allmählich Hohlräume unter der Pierplatte. Der Bodenaustrieb wird durch den Tideeinfluß solange fortgesetzt, bis sich eine natürliche Böschung eingestellt hat. Für die Erddruckermittlung und Nachrechnung des Wandquerschnittes sollte neben der Bodenart auch die Höhenlage des anstehenden Bodens und die Böschungsneigung bekannt sein. Die Höhenlage des anstehenden Bodens läßt sich durch Ablotungen hinter der Wand ermitteln. Diese Ableitungen können entweder durch die Fuge zwischen OK Spundwand und Pierplatte oder wie bei der Woltmankaje durch die Bohrlöcher in der Kajenwand erfolgen. Hinter der Woltmankaje steht der Boden etwa 2,8 m unter der Pierplatte in Höhe des MTnw an. Die Böschung steigt von dort aus mit einer Neigung von 1 : 2 an.

3 Baugrunduntersuchungen

Die alten Baugrundaufschlüsse aus Zeiten vor dem Kajenbau reichten für die eindeutige Bewertung der Baugrundverhältnisse nicht aus. Im Zusammenhang mit Neubauplanungen auf dem Bau- und Tonnenhof wurden hinter der Woltmankaje Aufschlußbohrungen durchgeführt. Die Festigkeitseigenschaften der angetroffenen Bodenschichten wurden durch Drucksondierungen und bodenmechanische Laborversuche bestimmt, so daß Bodenkennwerte für die einzelnen Bodenarten vorlagen. Danach ergibt sich im Kajenbereich eine für das norddeutsche Küstengebiet typische Schichtenfolge von Auffüllungssand, holozänem Sand und Klei und pleistozänem Sand mit großer Festigkeit. Die Bodenschichten entlang der Woltmankaje sind horizontbeständig. Erstaunlicherweise binden die Pfahlfüße der vorderen Pfahlreihen nur wenige dm in den tragfähigen Sand ein, während die hintere Pfahlreihe sogar im Klei endet (siehe Bild 4). Hinter der Kajenwand steht im oberen Teil feinsandiger Klei und im unteren Teil schluffiger Feinsand an. Sie endet im Bereich der Schichtgrenze zwischen schluffigem Feinsand und Klei.

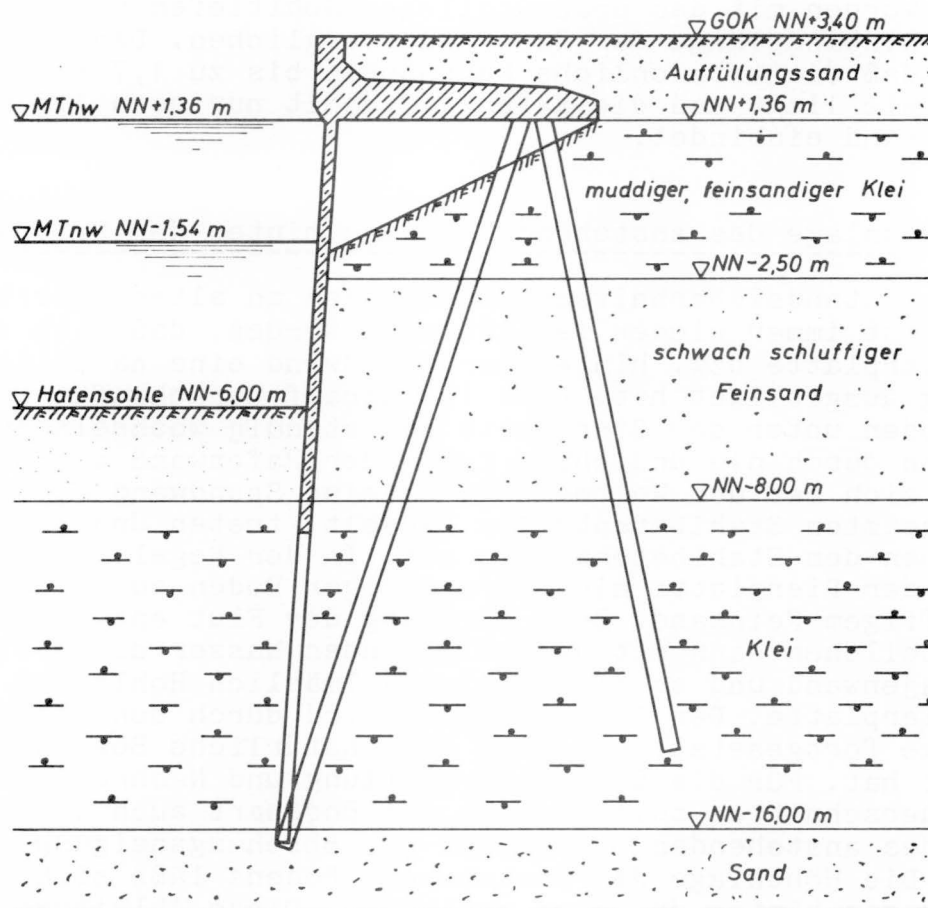


Bild 4 Baugrundverhältnisse

4 Untersuchungen des baulichen Zustandes der Bauteile

Durch die Alterungs- und Schadenseinflüsse reduziert sich die Tragfähigkeit der Bauteile. Um das heutige Tragverhalten bei der Standsicherheitsbeurteilung zu berücksichtigen, sind Untersuchungen über den Verbund und die Festigkeitseigenschaften der Baustoffe erforderlich.

Die Tragpfähle, der Überbau und die Spundbohlen bei der Woltmankaje bestehen aus Stahlbeton. Meist sind die Spundwände und Anker bei vergleichbaren Hafenanlagen zwar aus Stahl, jedoch für den Stahl wie auch für den Stahlbeton sind gleichermaßen Materialuntersuchungen durchzuführen.

Bei stählernen Bauwerken verringern die Korrosionseinflüsse besonders in der Wasserwechselzone die vorhandenen Profilstärken. Durch Ultraschallmessungen kann die tatsächlich vorhandene Wandstärke der Spundbohlen punktuell gemessen werden. Dabei sind entlang einer Spundbohle im Abstand von 0,5 - 1,0 m an verschiedenen Meßstellen in Berg, Steg und Tal die Restwanddicken zu ermitteln. Für die Restwanddicken der Spundwandbohlen wird dann das aufnehmbare Moment ermittelt und mit dem vorhandenen der Spundwandberechnung verglichen.

Die Stahllanker werden durch Probelastungen nicht nur hinsichtlich ihrer äußeren Tragfähigkeit (tiefe Gleitfuge) sondern auch hinsichtlich der Längskraftaufnahme durch den Stahlquerschnitt untersucht. Die Probelastungen sind meist auf den ersten Blick sehr aufwendig; jedoch zeigen die alten Anker meist nur geringe Verluste in ihrem Tragverhalten und können daher oftmals noch wiederverwendet werden. Auch die Werkstoffeigenschaften des Stahls ändern sich nur geringfügig, was jedoch im Einzelfall an einem Probestück zu untersuchen ist.

An der Woltmankaje sind alle tragenden Bauteile aus Stahlbeton ausgeführt, so daß sich die Materialuntersuchungen auf den Verbund und die Güte des Stahlbetons beschränken. Dazu wurden in verschiedenen Querschnitten der Woltmankaje aus den Stahlbetonbohlen der Spundwand Betonbohrkerne entnommen. Die Bohrkernkerne stammen sowohl aus der Luft- als auch aus der Wasserwechselzone und wurden anschließend im Betonlabor untersucht. Neben der augenscheinlichen Befundaufnahme wurden die Druck- und Spaltzugfestigkeiten sowie das Mischungsverhältnis und die Wasseraufnahme an den Bohrkernen ermittelt. Die Untersuchungen zeigten, daß die Betonfestigkeitsklasse nach DIN 1045 unabhängig von der Entnahmestelle mindestens einem Beton B35 entspricht. Die Wasseraufnahmefähigkeit des Beton ist als gering zu bezeichnen. Ein Korrosionsbefall der Bewehrung im ungestörten Bereich der Prüfkörper konnte nicht festgestellt werden, während die durch Abplatzungen freigelegten Bewehrungsstähle durch Korrosionseinflüsse angegriffen sind.

5 Statische Untersuchungen

Nachdem die Bauwerksschäden, die Bauwerksabmessungen, der Baugrund sowie der bauliche Zustand des Bauwerks untersucht sind, liegen alle Voraussetzungen für eine statische Nachrechnung der inneren und äußeren Standsicherheit vor. Die Beurteilung der äußeren Standsicherheit wurde vom Referat Erd- und Grundbau der Außenstelle Küste durchgeführt; während die betontechnologischen Untersuchungen und die Berechnungen der inneren Standsicherheit von der Abteilung Bautechnik in Karlsruhe vorgenommen wurden.

5.1 Lastannahmen

Um Aussagen über die Standsicherheit der Kaje treffen zu können, wurden im Hinblick auf die weitere Nutzung folgende Lastannahmen berücksichtigt.

- Eigengewicht gemäß den Querschnittsabmessungen der Planunterlagen
- Verkehrslasten nach EAU, Abs. 5.5 und DIN 1055, Bl. 3
- Wasserdruck nach EAU, Abs. 4.3
- Pollerzug nach amtsseitigen Angaben über Lage und Größe der Poller
- Erddruckbelastung gemäß Schichtenaufbau und Bodenkennwerten
- Ansatz der rechnerischen Hafensohle bei NN -6 m

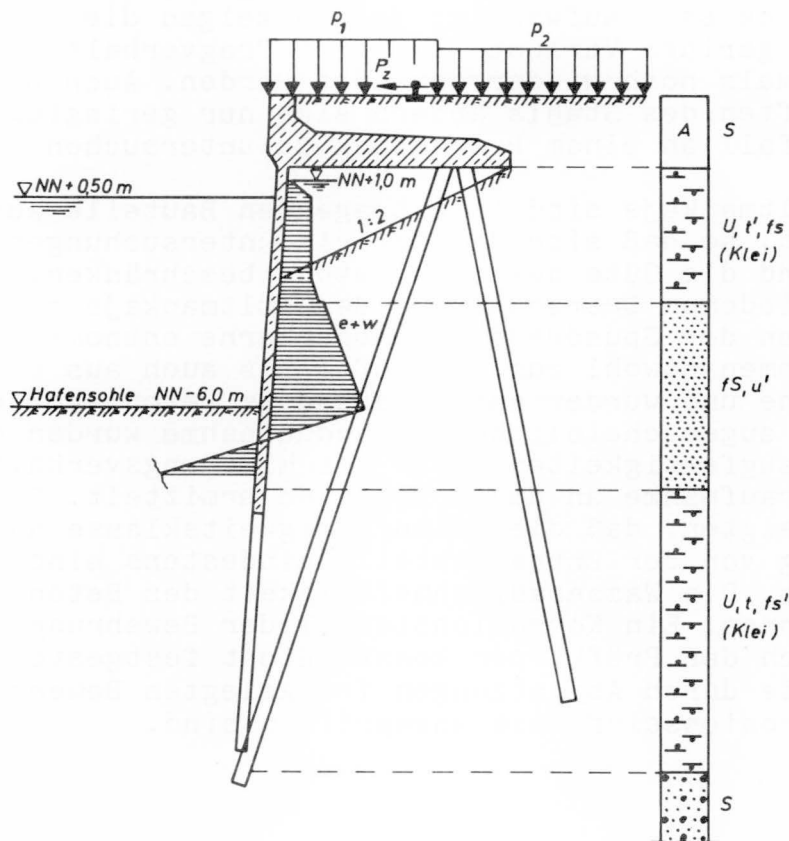


Bild 5 Lastannahmen

5.2 Standsicherheit der Kajenwand

Die Spundwandberechnung erfolgte nach dem in der Praxis bewährten Verfahren von Blum unter Anwendung der klassischen Erddruckverteilung und den in der EAU angegebenen Empfehlungen.

Die Nachrechnung der Kajenwand führte zu dem Ergebnis, daß im überwiegenden Kajenbereich die rechnerisch erforderliche Einbindetiefe der Stahlbetonbohlen bei einer zugrundegelegten Hafensohle von NN - 6,0 m nicht vorhanden ist. Die Peilergebnisse vor der Hafenwand ergaben streckenweise noch größere Hafentiefen als NN -6,0 m, so daß die dort vorhandene Einbindung in den Baugrund erst recht nicht der erforderlichen Einbindetiefe entspricht.

Wie die Berechnungsergebnisse zeigen, ist die nach heute gültigen Normen und Empfehlungen erforderliche Standsicherheit der Kajenwand nicht mehr gewährleistet. Wegen der in weiteren Bereichen viel zu geringen Einbindetiefe kann ein Ausweichen der Kajenwand im Erdwiderstandsbereich nicht ausgeschlossen werden.

Für die Tragfähigkeitsbeurteilung der Kajenwand ist außerdem maßgebend, inwieweit das maximale Biegemoment aus Erd- und Wasserdruck vom Querschnitt der Stahlbetonbohlen aufgenommen werden kann. Unter Zugrundelegung der Betonfestigkeitsklasse B35 und einem Bewehrungsstahl der Güteklasse BSt 220/340 wurde nachgewiesen, daß der vorhandene Bewehrungsgehalt gerade noch ausreicht, um die Biegebeanspruchung der Stahlbetonbohlen aus Erd- und Wasserdruck aufzunehmen.

5.3 Tragfähigkeit der Pfahlrostplatte

Der gesamte Regelquerschnitt der Pfahlrostplatte wurde statisch nachgewiesen. Hinsichtlich der Bewehrungsführung, insbesondere im Bereich negativer Momente, läßt die Konstruktion Schwächen erkennen, die auf die unvollständigen Erkenntnisse des Stahlbetonbaus zur Bauzeit zurückzuführen sind. Insgesamt kann jedoch davon ausgegangen werden, daß die Pfahlrostplatte für die bisher aufzunehmenden Belastungen ausreichend bemessen ist.

Die Beanspruchung der Stahlbetonspundwand aus Erd- und Wasserdruck kann aufgrund guter Betonqualität (B35) noch aufgenommen werden, wenn auch Einschränkungen hinsichtlich mangelnder Betonüberdeckung und fortschreitender Korrosion der Bewehrung im Bereich der Betonabplatzungen gemacht werden müssen.

5.4 Standsicherheit der Pfahlgründung

Die Verkehrs- und Eigenlasten des Pfahlrostüberbaus werden ausschließlich über die Stahlbetonpfähle in den tieferen Baugrund geleitet. Um die Standsicherheit der Pfahlgründung bzw. die Tragfähigkeit der Pfähle beurteilen zu können, wurden beide Kajenquerschnitte rechnerisch untersucht. Die Ermittlung der

Pfahlkräfte erfolgte nach dem graphischen Verfahren von Culmann für die Lastfälle "Eigengewicht und Verkehrslast" und "Eigengewicht ohne Verkehrslast". Eine Horizontalbelastung der Tragpfähle aus aktiver Erddruckbelastung der Kajenwand ist auszuschließen und bleibt rechnerisch unberücksichtigt, da sich bei den geringen Pfahlabmessungen im Verhältnis zu den relativ großen Pfahlabständen kaum eine Gewölbewirkung des Bodens zwischen den Pfählen ausbilden kann.

Die maximalen Pfahlkräfte liegen in der Größenordnung von vorh $P = 600$ kN. Rechnet man die vorhandene, rechteckige Pfahlquerschnittsfläche auf eine äquivalente Fläche quadratischer Pfähle um, so können die Pfahltragfähigkeiten nach DIN 4026 (Ramppfähle, Herstellung, Bemessung und zulässige Belastung) beurteilt werden. Für die Pfähle ergibt sich nach Tabelle 3 der DIN 4026 eine zulässige Pfahltragfähigkeit von zul $P = 600$ kN, wenn die Pfähle mindestens 4 Meter in den tragfähigen Baugrund einbinden. Da die erforderliche Einbindung in den tragfähigen Baugrund nicht gegeben ist, kann die Pfahltragfähigkeit nicht mit der DIN 4026 nachgewiesen werden.

Vergleichend dazu wurden die Grenzpfahltragfähigkeiten mit Werten für den Spitzendruck und die Mantelreibung nach Tab. 2 des Grundbautaschenbuchs, Teil 2, 3. Auflage, S. 485, ermittelt. Die ermittelten Grenzpfahltragfähigkeiten entsprechen dabei in ihrer Größenordnung den rechnerisch vorhandenen Pfahllasten. Demnach beträgt die rechnerische Sicherheit $\eta = 1$ und entspricht nicht dem erforderlichen Wert von mindestens $\eta = 1,5$. Im Sinne der DIN 1054 (zulässige Belastung im Baugrund), Tab. 8 wird die geforderte Sicherheit somit nicht erreicht. Der rechnerische Nachweis der Pfahltragfähigkeit führte zu dem Ergebnis, daß die vorhandenen Pfahllasten aus Eigengewicht und Verkehr rechnerisch nicht mit der erforderlichen Sicherheit aufgenommen werden können.

Da im Bereich des Kajenüberbaus bisher keine Setzungen durch Nachgeben oder Versagen der Pfähle festgestellt wurden, war jedoch zu vermuten, daß die tatsächliche Tragfähigkeit der Pfähle ausreicht, die bisher aufgetretenen Verkehrslasten in den tieferen Baugrund abzutragen.

Um die Tragfähigkeit der Pfahlgründung im Hinblick auf die zukünftige Nutzung der Hafenanlage eindeutig bewerten zu können, wurde empfohlen, eine Probelastung des Pfahlsystems durchzuführen.

6 Probelastungen des Pfahlsystems

Für die Planung der Instandsetzungsmaßnahmen war das Ergebnis der Pfahlprobelastung entscheidend. Können die geplanten Nutzlasten von der Pfahlgründung und der Pfahlrostplatte nicht aufgenommen werden, so sind umfangreiche Zusatzmaßnahmen an der gesamten Kajenkonstruktion erforderlich. Bestätigt die Probelastung die Aufnahme der zukünftig geplanten Nutzlasten,

so beschränken sich die Instandsetzungsarbeiten auf die Kajenwand und den Kajenüberbau. Naheliegender wäre gewesen, einzelne Pfähle freizulegen und diese mit einer Probelastung zu untersuchen. Dazu wäre ein großer technischer Aufwand notwendig gewesen, da die Pierplatte hohl liegt und die Pfahlköpfe ca. 3 m unter Geländeoberkante liegen. Eine Probelastung einzelner Tragpfähle hätte wegen der beengten Platzverhältnisse den Betrieb und Verkehr zum Bau- und Tonnenhof des WSA Cuxhaven über mehrere Tage erheblich behindert. Aus betrieblichen und technischen Gründen schied somit eine Probelastung einzelner Pfähle aus. Stattdessen wurde nicht ein einzelner Pfahl sondern das ganze Pfahlssystem eines Kajenabschnittes geprüft. Bei der Probelastung einer Pfahlgruppe ist eigentlich der gesamte Kajenabschnitt zu belasten. Die Lage der Blockfugen ließ sich jedoch augenscheinlich und anhand alter Planunterlagen nicht ermitteln. Außerdem wäre bei einer größeren Blocklänge eine sehr große Totlast erforderlich gewesen, die zur Belastung nicht zur Verfügung stand.

Um die Tragfähigkeit der Pfähle trotzdem ausreichend sicher beurteilen zu können, sind wir von folgendem Gedanken ausgegangen: Nach Bild 2 der DIN 1054 (siehe Bild 6) wird die Pfahltragfähigkeit bei einer Probelastung nach dem Lastsetzungsverhalten beurteilt. Für diesen Sonderfall der Probelastung wurden daraus folgende Bedingungen abgeleitet:

- Das Last-Setzungsverhalten des Pfahlrostes muß bei der Probelastung rein elastisch sein, d.h. es dürfen keine bleibenden Setzungen ($S_{bl} = 0$) auftreten. Denn nur, wenn die Lasten bzw. Setzungen im linearen Anfangsbereich der Lastsetzungskurve liegen, kann davon ausgegangen werden, daß die vorhandenen Pfahllasten einen hinreichenden Abstand von den Grenzlaster haben.

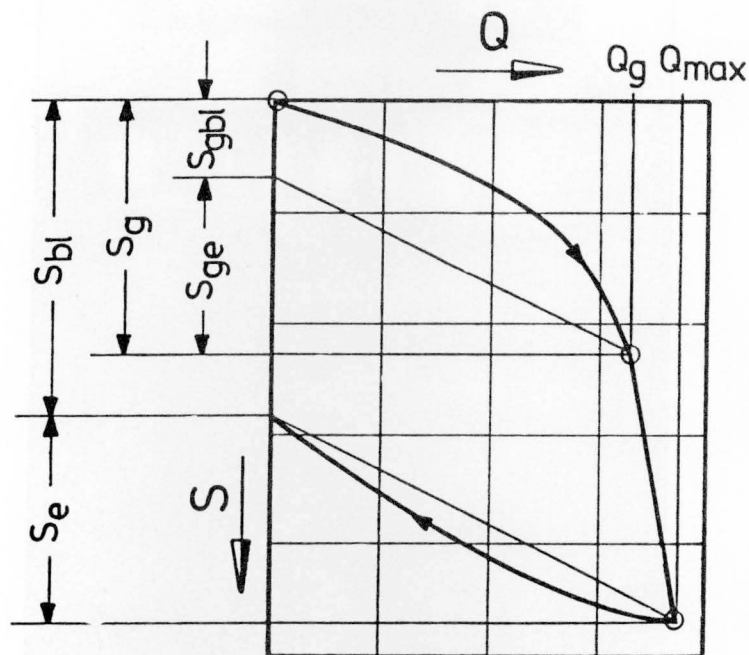


Bild 6 Last-Setzungsdiagramm bei der Probelastung von Pfählen nach DIN 1054

- Die zukünftigen Nutzlasten müssen bei ungünstiger Verteilung und Anordnung mit Sicherheit kleiner sein als die Lasten der Probelastung.

Aus diesem Grunde wurde gefordert, daß die aufzubringenden Lasten 50 % größer sein sollten als die Nutzlasten. Als Belastung des Pfahlrostes wurden die zur Verankerung von Seezeichen (Tonnen) hergestellten Stahlbetonfertigteile verwendet, deren Abmessungen und Gewichte bekannt sind. Diese Stahlbetonblöcke haben außerdem den Vorteil, daß sich durch einen Kran mit einem großen Ausleger mehrere Blöcke übereinanderstapeln lassen

(siehe Bild 7).

An der Woltmankaje wurden im Sommer '85 insgesamt 2 Probelastungen durchgeführt. Die Stahlbetonblöcke wurden in 3 Lagen auf die Belastungsfläche von 3 mal 6 Meter aufgebracht. Nach Aufbau jeder Lage wurden die Setzungen an insgesamt 12 Meßstellen gemessen. Die Setzungen wurden mit einem Feinnivellier beobachtet, wobei die Meßgenauigkeit des Gerätes bei 0,5 mm lag. Nachdem die letzte Belastungsstufe aufgebracht war, wurde über die Stahlbetonblöcke an der Kajenoberkante eine horizontale Belastung in der Größe des zukünftig zu erwartenden Pollerzuges eingetra-

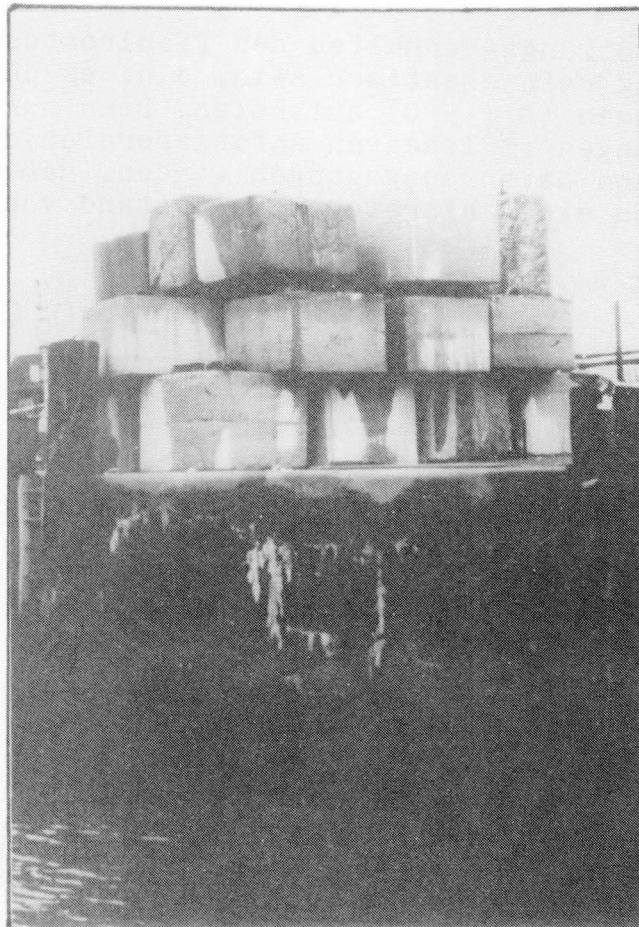


Bild 7 Belastung mit Stahlbetonblöcken

gen. Die horizontale Belastung erfolgte über eine hydraulische Presse, deren Widerlager eine hinter der Kajenwand vorhandene Stützwand war. Die horizontalen Verschiebungen wurden durch einen Theodoliten über die auf dem Stahlbetonbalken einbetonierten Meßpunkte ermittelt. Zusätzlich zu den Vertikal- und Horizontalmessungen wurden im Bereich der Belastungsfläche an der Vorderseite des Stahlbetonholms Gipsmarken gesetzt. Alle Messungen wurden vor, während und nach der Probelastung durchgeführt, um die elastischen und bleibenden Setzungsanteile bestimmen zu können.

Die Setzungsmessungen ergaben, daß die elastischen Setzungsanteile mit wenigen Millimetern nur sehr gering sind. Die bleibenden Setzungsanteile liegen im Rahmen der Meßgenauigkeit von 1 mm und sind vernachlässigbar klein. Die Setzungen befinden sich also im elastischen Bereich, so daß die Belastungen ausreichend weit unterhalb der Grenzlaster liegen.

Die Probelastungen führten somit zu dem Ergebnis, daß die zukünftig geplanten Nutzlasten mit ausreichender Sicherheit einwandfrei aufgenommen werden können. Durch diesen Sonderfall einer Probelastung konnte ohne großen technischen Aufwand und ohne betriebliche Störungen des Bau- und Tonnenhofes die Tragfähigkeit des Pfahlsystems nachgewiesen werden.

7 Empfohlene Sanierungsmaßnahmen

Da die Probelastungen die Aufnahme der zukünftig geplanten Nutzlasten durch die Pfahlgründung bestätigt haben, beschränken sich die Instandsetzungsarbeiten auf die Kajenwand und den Kajenüberbau.

7.1 Vorsetzen der neuen Wand

Bei einer geplanten Sohlenvertiefung auf NN -7,0 m sollte eine neue Spundwand etwa 1,0 m vor die vorhandene Kajenwand gerammt werden. Aber auch bei einer Beibehaltung der Hafensohle auf NN -6,0 m bzw. NN -5,5 m ist aufgrund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse das Vorsetzen einer neuen Kajenwand die einfachste und bautechnisch beste Lösung.

Bei der statischen Berechnung der neuen Kajenwand ist zu empfehlen, die abschirmende Wirkung der bestehenden Wand nicht in Ansatz zu bringen. Weiterhin sollte bei der neuen Wand eine Entwässerung vorgesehen werden, damit der Wasserstand hinter der Wand (Innenwasserdruck) möglichst niedrig gehalten wird. Eine Entwässerung der Kajenwand ist empfehlenswert, da sonst die von der Pfahlrostplatte aufzunehmende Ankerkraft durch den hohen Innenwasserdruck so groß wird, daß sie sich ungünstig auf das Tragverhalten der Pfahlgründung auswirkt. Außerdem kann durch eine Entwässerung ein günstigeres Spundwandprofil gewählt werden. Der Zwischenraum zwischen alter und neuer Kajenwand sollte mit Sand verfüllt werden. Wegen der dann relativ

geringen Ankerkraft wird vorgeschlagen, die Spundwand durch horizontale Felsanker in der unteren Pfahlrostplatte zu verankern.

7.2 Kajenüberbau

Konstruktive Mängel haben an den Massivbauteilen der Kajenanlage zu einer Reihe örtlicher Schäden sowie zur Einschränkung der Nutzung des Betonholms und der damit verbundenen Anlegeausrüstung geführt. Für die weitere Nutzung ist eine umfassende Instandsetzung erforderlich. Unabhängig von der geplanten Sohlenvertiefung wurden zur Erhaltung der Funktionsfähigkeit der Kajenausrüstungen und der Bausubstanz folgende Instandsetzungen empfohlen:

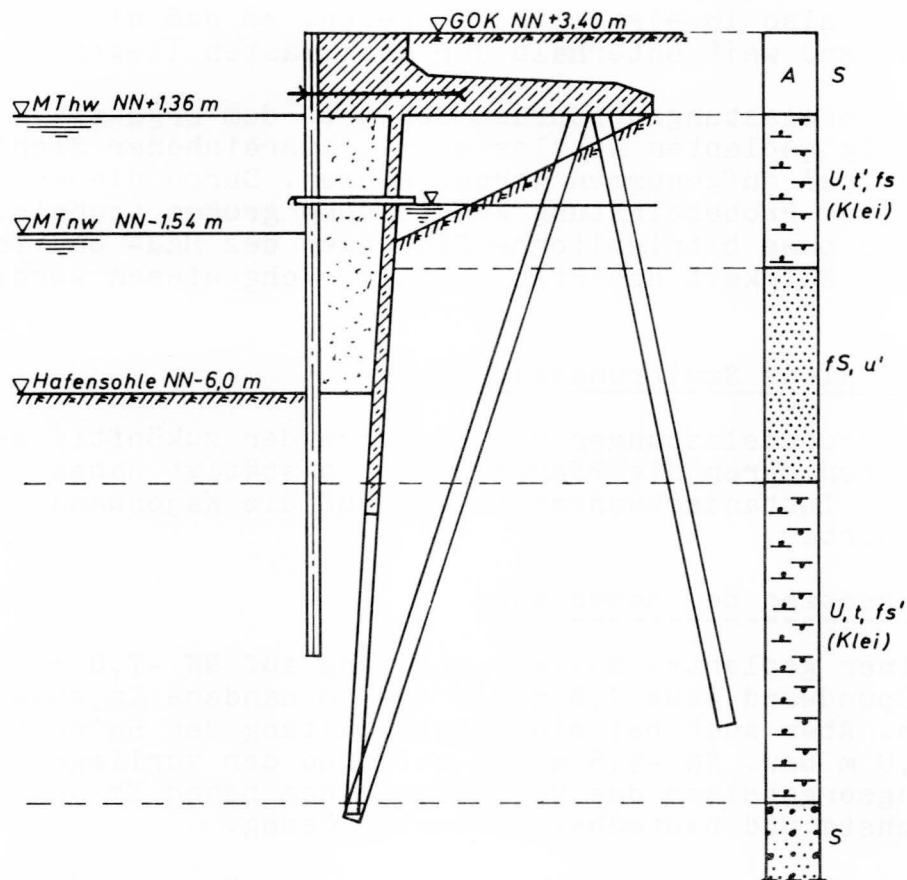


Bild 8 Sanierungsmaßnahmen

Der gesamte unbewehrte Betonholm ist abzutragen und durch einen neuen, bewehrten Betonholm in der Breite des Längsbalkens aufzubetonieren. Außer einer kräftigen Längsbewehrung des neuen Holms ist durch eine flächig angeordnete Verbundverankerung eine weitgehend innige Verbindung zwischen dem Altbeton der Pfahlrostplatte und dem Holmbeton herzustellen, wobei zur Herstellung einer rauhen und festen Oberfläche auch eine Sandstrahlung erfolgen sollte.

Auf die Ausbildung von Dehnfugen, die durch die alte Konstruktion vorgegeben wird, muß unbedingt geachtet werden. Der Einbau von weiteren Schwindfugen und temperaturbedingten Bewegungsfugen wird dann empfohlen, wenn die Abstände der alten Bauwerkfugen ein Maß von 15 m übersteigen.

Die vordere Unterkante der Pfahlrostplatte ist auf der gesamten Kajenlänge von losen Betonteilen und Schmutz zu säubern und durch Sandstrahlen aufzurauhen. Die Bewehrung ist nach der Strahlung mit einem Epoxidharz-Schutzanstrich zu konservieren. Danach ist nach Aufdübeln eines engmaschigen Betonstahlgewebes ein Spritzbetonauftrag von mindestens 5 cm vorzusehen. Dabei ist die Einhaltung der Ausbildung von Bewegungsfugen zu beachten. Ggf. ist ein stählerner Kantenschutz einzubauen.

8 Schlußbemerkung

Für die weitere Nutzung der ca. 70 Jahre alten Woltmankaje wurde für den derzeitigen baulichen Zustand eine umfassende Standsicherheitsbeurteilung durchgeführt. An diesem Beispiel sollte gezeigt werden, welche Unterlagen an alten Hafenanlagen für eine Standsicherheitsbeurteilung erforderlich sind. Dieses Untersuchungsprogramm kann mit Abweichungen auch auf andere Hafenanlagen und Stützbauwerke übertragen werden.

Auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse ist eine Nachrechnung der Hafenanlage möglich, so daß die derzeitige Standsicherheit umfassend beurteilt werden kann. Daraus ergeben sich dann die erforderlichen Instandsetzungsmaßnahmen, um die Hafenanlage auch zukünftig nutzen zu können.

