

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Article, Published Version

**Schuppener, Bernd**

## **Eine Proberammung vor einer Stützwand mit unzureichender Standsicherheit**

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102774>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Schuppener, Bernd (1995): Eine Proberammung vor einer Stützwand mit unzureichender Standsicherheit. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 72. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 38-47.

### **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.



# Eine Proberammung vor einer Stütz wand mit unzureichender Standsicherheit

Dr.-Ing. B. Schuppener

Bundesanstalt für Wasserbau, Außenstelle Berlin

## Zusammenfassung

Die Holzspundwand der Ufersicherung am Landwehrkanal war an den Fugen von oben nach unten verrottet, und da die Stützmauer ohnehin über weite Strecken keine ausreichende rechnerische äußere Standsicherheit aufwies, sollte eine Stahlspundwand vor der alten Ufersicherung gesetzt werden. Um eine weitere Gefährdung der unter Denkmalschutz stehenden Ufermauer durch die Baumaßnahme zu vermeiden, war zunächst geplant, die neue Spundwand einzupressen, statt sie einzurammen oder einzurütteln. Wegen der nicht unbeträchtlichen Mehrkosten des Einpreßverfahrens entschloß man sich, zuvor in einer Versuchsstrecke die mögliche Gefährdung der Standsicherheit der Ufersicherung beim Einrütteln der Spundwände genauer zu untersuchen.

An einer Versuchsstrecke von 10 m Länge wurden während und nach dem Einrütteln einer Spundwand Verformungsmessungen an der Stütz wand durchgeführt. Der Versuch zeigte, daß die Verformungen der alten Ufersicherung so klein blieben, daß es weder zu sichtbaren Schäden noch zu einer Gefährdung der Standsicherheit des Geländesprungs kam. Daher konnte ohne Bedenken das wirtschaftlichere Rüttelverfahren zum Einbringen von Spundwänden empfohlen werden.

Die Herstellung der 720 m langen Spundwand mit dem Rüttelverfahren verlief ohne größere Probleme. Eine unangenehmere Überraschung gab es ganz zum Schluß, als die letzten 30 m Spundwand eingerüttelt wurden. Hier versagte die alte Ufersicherung und sackte überwiegend senkrecht um etwas mehr als 40 cm ab. Doch auch diese Schäden ließen sich mit einem Kostenaufwand beheben, der in keinem Verhältnis zu den Einsparungen steht, die durch die Umstellung des Einpressens der Spundwände auf das Einrütteln erreicht wurden.

## 1 Einführung

Eine der schwierigsten bodenmechanischen Probleme ist bis heute die zahlenmäßige Vorhersage der Auswirkungen von Schwingungen auf Bauwerke und auf den Baugrund. Das liegt daran, daß wir in vielen Fällen

- weder die Größe, Dauer und Verteilung der dynamischen Einwirkung hinreichend genau voraussagen,
- noch die Reaktion des Baugrunds oder des Bauwerks auf eine dynamische Beanspruchung hinreichend genau mathematisch beschreiben können.

Wenn zuverlässige rechnerische Nachweisverfahren fehlen, hat man zwei Möglichkeiten. Entweder man vermeidet dynamische Beanspruchungen so weit wie möglich, indem man die Konstruktion ändert oder ein anderes Bauverfahren wählt. Beides ist in der Regel mit einem erheblichen Mehraufwand verbunden. Oder man führt einen Großversuch durch, in dem die dynamischen Belastungen des Baugrunds und des Bauwerks gemessen und daraufhin in ihren Auswirkungen beurteilt werden. Dies geschieht natürlich in der Hoffnung, trotz der dynamischen Beanspruchungen die Standsicherheit und Funktionsfähigkeit gewährleisten zu können. Auch ein solcher Großversuch kostet natürlich Zeit und Geld.

Bodenmechaniker sind in der Regel nicht gleichzeitig auch Spezialisten für Baugrunderdynamik. Deshalb neigen sie dazu, dynamische Belastungen sehr kritisch zu beurteilen. Daher versuchen sie in schwierigen Situationen z.B. Rammerschütterungen weitgehend zu vermeiden. In vielen Fällen lohnt es sich jedoch, der Frage in einem Großversuch eingehender nachzugehen, ob die dynamischen Beanspruchungen nicht doch schadlos aufgenommen werden können. In dem folgenden Beitrag soll an einem Beispiel gezeigt werden, daß sich selbst in zunächst hoffnungslosen Situationen der Aufwand eines Großversuchs bezahlt machen kann.

## 2 Bauwerk, Baugrund und Aufgabenstellung

Der Landwehrkanal (LWK) in Berlin wird bislang lediglich durch Sportboote und Fahrgastschiffe genutzt, deren Motorleistung und Tiefgang verhältnismäßig gering sind. Für die großen Baumaßnahmen im zentralen Bereich Berlins soll der Kanal in Zukunft auch für den Transport von Baustoffen und Aushubmaterial mit Binnenschiffen genutzt werden, die eine erheblich größere Strömungsbelastung des Kanalbetts erzeugen.

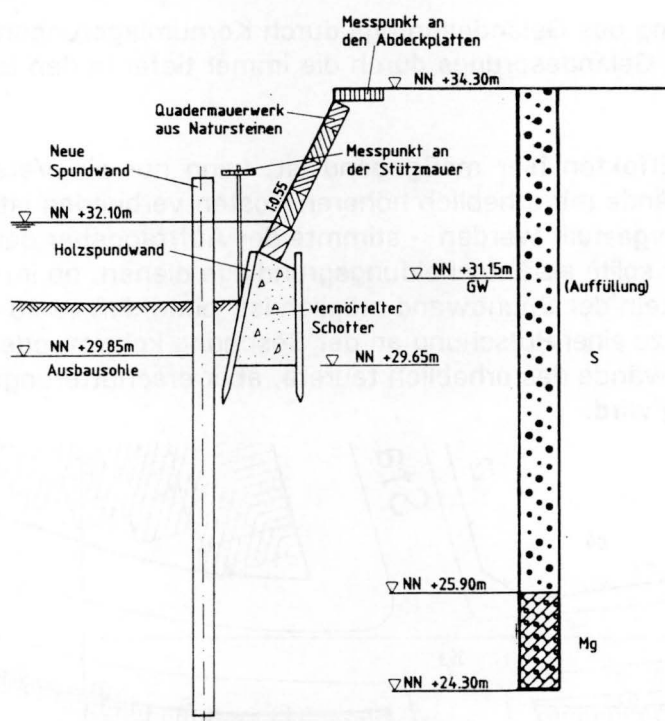


Bild 1 Ufersicherung am LWK im Bereich der Bendlerbrücke

Die aus dem Jahr 1890 stammende Stützkonstruktion an beiden Ufern besteht unter Wasser aus zwei geneigten Holzspundwänden, zwischen die vermörteltes Schotter eingebaut wurde (siehe Bild 1). Die wasserseitige Holzspundwand bindet etwa 2 m unterhalb der planmäßigen Gewässersohle in den Baugrund ein. Auf dieser Stützkonstruktion wurde zur Böschungssicherung über Wasser ein Quadermauerwerk aus Natursteinen mit einer Neigung von 1 : 0,55 aufgesetzt, das bis in eine Höhe von etwa NN 34,30 m reicht. Die tatsächliche Wassertiefe vor der alten Stützwand beträgt z.Z. etwa 1,4 m.

Für diese Ufersicherung ist ein Ersatz bzw. eine Sanierung erforderlich, da

- die Holzbohlen an den Fugen von oben nach unten verrotten und damit die innere Standsicherheit des Stützkörpers auf Dauer nicht mehr gewährleistet ist, und
- die Stützmauer keine ausreichende rechnerische äußere Standsicherheit aufweist, wenn vor der Stützwand wegen der zunehmenden Belastung durch den Verkehr durch Binnenschiffe Kolke entstehen.



kundung des Baugrunds wurden eine Kleinbohrung und drei Sondierungen mit der schweren Rammsonde durchgeführt. Danach stehen unter einer Auffüllung aus Schutt und Sand von zwei bis drei Meter Mächtigkeit mit sehr geringer bis geringer Festigkeit Mittelsande und Feinsande an, die geringe, erst in tieferen Bereichen auch mittlere Festigkeit aufweisen. In einer Tiefe von etwa NN + 26 m wird der Sand durch Geschiebemergel unterlagert (siehe Bild 1). Das Grundwasser wurde bei NN + 31,25 m festgestellt. Es steht in diesem Bereich damit etwa 0,8 m unter dem Kanalwasserstand an, so daß hier keine ungünstig wirkende Überlagerung von Erddruck und Strömungsdruck auftritt.

### 3 Versuchsdurchführung

Zunächst war geplant, drei Einbringverfahren - das Rammen, das Rütteln und das Einpressen - im Hinblick auf ihre Auswirkungen auf die Ufersicherung zu untersuchen. Da das Rammen im Innenstadtdgebiet Berlins verboten ist, entfiel dieses Verfahren. Auch vom Einpressen wurde Abstand genommen, da das Anmieten eines solchen Gerätes sehr teuer ist und die berechtigte Aussicht bestand, durch den Versuch die Anwendbarkeit des Einrüttelns von Spundbohlen nachweisen zu können. So wurde nur das Einrütteln untersucht, wobei zwei Typen von Rüttlern zum Einsatz kamen:

- DELMAG PE 2001
- ICE 1423

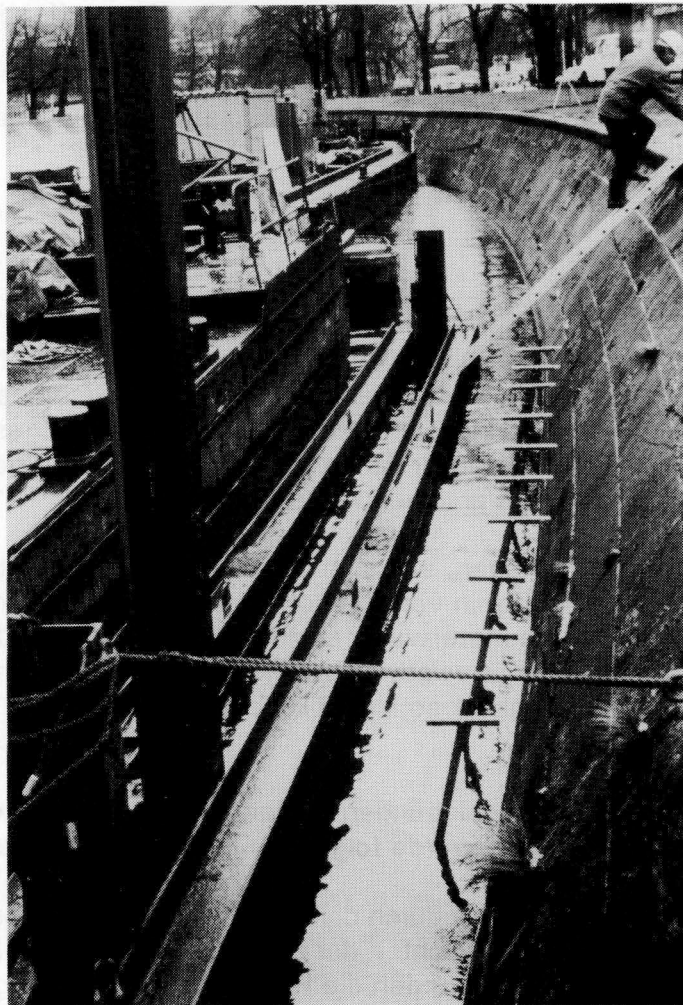


Bild 3 Rammzange und Meßpunkte am Ufer des LWK

Die Probestrecke (siehe Bild 2) war insgesamt 10 m lang. Zur Führung des Rammgutes war eine Rammzange hergestellt worden, die an zwei zuvor eingerüttelten Pfählen befestigt war (siehe Bild 3). Von einem Ponton aus wurden Spundbohlen (Larsen 24) von 9 m Länge gerammt, zuerst 10 Einzelbohlen mit dem PE 2001 Rüttler, dann 5 Doppelbohlen mit dem Rüttler ICE 1423. Die Zeitdauer zum Einrütteln der Bohlen schwankte zwischen 1 und 2,5 Minuten. In der Regel sank die Bohle zunächst sehr schnell ein, erst auf den letzten 2 Metern - im Geschiebemergel - wurde der Fortschritt merkbar kleiner und die Leistungsaufnahme der Rüttler größer. In dieser Phase war dann auch durch den Theodolithen an den Meßmarken deutlich die Horizontalverschiebung der Wand zu erkennen.

## 4 Messungen der Verschiebungen

### 4.1 Meßeinrichtung

Zur Beobachtung der Verschiebungen der Stützwand wurden besondere Meßpunkte hergestellt, die aus Winkleisen bestanden, die von Tauchern mit Holzschrauben unter Wasser an den Holzbohlen der alten Spundwand befestigt wurden. An den aus dem Wasser ragenden Enden war zum einen ein Aufsetzpunkt für die Höhenmessung hergerichtet worden. Außerdem wurde horizontal ein etwa 30 cm langer Abschnitt eines Zollstocks befestigt (siehe Bild 3), an dem die Horizontalverschiebungen beobachtet werden konnten. Da die Horizontalverschiebungen der Stützwand an einem "Hebel" gemessen werden, entsprechen sie nicht den tatsächlichen Bewegungen der Wand, die sich aus Translations- und Rotationsbewegungen zusammensetzen. Trotzdem geben die Meßwerte einen hinreichend zutreffenden Anhaltswert über die Größenordnung der Bewegungen.

Darüber hinaus wurden die Setzungen an allen Abdeckplatten des Quadermauerwerks an der Böschungsoberkante (siehe Bild 1) gemessen.

### 4.2 Durchführung der Messungen

Zwei Tage vor dem Rüttelversuch und unmittelbar vor Versuchsbeginn wurde an allen Meßpunkten eine Nullmessung durchgeführt. Zwischen der 1. und der 2. Nullmessung war die Rammzange eingebaut worden, wobei zwei Pfähle als Träger der Rammzange 4 m eingerüttelt worden waren. Außerdem war die erste Einzelbohle mit Rüttelhilfe aufgestellt worden, die bei einer Einbindung von etwa 2 m Tiefe sicher senkrecht stand. Zwischen der 1. und 2. Nullmessung waren keine nennenswerten Verschiebungen festzustellen.

Da noch keinerlei Erfahrungen vorlagen, wie sich der sehr steile und rechnerisch nicht stand-sichere Geländesprung beim Einrütteln von Spundbohlen verhalten würde, war zunächst geplant, zumindest die ersten Bohlen meterweise einzurütteln und nach jedem Meter die aufgetretenen Verformungen zu messen. Es zeigte sich dann aber schon bei der ersten Einzelbohle, daß die Verschiebungen der Stützmauer so klein blieben, daß die Bohlen ohne Unterbrechung eingerüttelt werden konnten.

Da die Messung der Horizontalverschiebungen wesentlich weniger Aufwand bedeuteten als die Messung der Höhenänderungen, wurde folgendes Meßprogramm durchgeführt:

- Während des Rüttelvorgangs wurde durch den Theodolithen die Horizontalverschiebung der Stützwand an dem Meßpunkt beobachtet, der der einzurüttelnden Bohle am nächsten lag.
- Nach dem Einrütteln jeder Bohle wurden die Horizontalverschiebungen an allen 10 Meßpunkten der Stützwand abgelesen.
- Die Vertikalverschiebungen wurden nur nach Einrütteln der 5. und 10. Einzelbohle sowie

nach der 5. Doppelbohle, d.h. nach Abschluß der Rammarbeiten gemessen. Zu diesem Zeitpunkt fand auch die erste Messung der Setzungen der Abdeckplatten an der Oberkante der Böschung statt.

- Da damit gerechnet werden mußte, daß die Verformungen der Stützwand und der Böschung auch nach Abschluß der Rüttelarbeiten noch nicht sofort zur Ruhe kommen würden, wurden alle Meßpunkte am nächsten Tag (18.03.94) ein weiteres Mal durchgemessen. Dabei zeigte sich, daß über Nacht Horizontal- und Vertikalverschiebungen von bis zu 2 cm aufgetreten waren, so daß 4 Tage später am 22.3. noch einmal eine Abschlußmessung durchgeführt wurde.

#### 4.3 Kriterien für die Bewertung der Meßergebnisse

Vor Beginn des Versuchs war gemeinsam mit dem Auftraggeber festgelegt worden, daß im Hinblick auf die Standsicherheit und Funktionsfähigkeit der Wand keine Bedenken bestehen, solange

- die Horizontal- und Vertikalverschiebungen sowie die Setzungen 5 cm nicht überschreiten, und
- das Kriechmaß der Verformungen kleiner als  $k_s < 2$  mm bleibt.

Der Grenzwert für die Setzung von  $s = 5$  cm war in Anlehnung an Skempton und McDonald (siehe Schultze, 1980) angesetzt worden, die für Einzelfundamente als zulässige Setzung 5 cm empfehlen.

Die Grenze für das Kriechmaß wurde in Anlehnung an die DIN 4125 für Verpreßanker festgelegt. Trägt man über der Zeit (im logarithmischen Maßstab) die Verschiebungen (im linearen Maßstab) auf, so liegen die Meßpunkte in der Regel auf einer Geraden. Der Tangens der Neigung dieser Zeitsetzungskurve ist das Kriechmaß  $k_s$ :

$$k_s = \frac{s_1 - s_2}{\log t_1 - \log t_2}$$

Einem Kriechmaß von 2 mm entspricht eine Kriechverformung von 12 mm nach 2 Jahren.

#### 4.4 Meßergebnisse

Im Bild 4 oben sind ausgewählte Ergebnisse der Horizontalverschiebungen und darunter die Vertikalverschiebungen der Meßpunkte an der Stützwand aufgetragen. Zur Veranschaulichung der Zuordnung der Meßpunkte zu den einzelnen Spundbohlen ist am unteren Bildrand die Spundwand mit der Numerierung der Spundbohlen dargestellt. Man erkennt folgende charakteristische Verformungen:

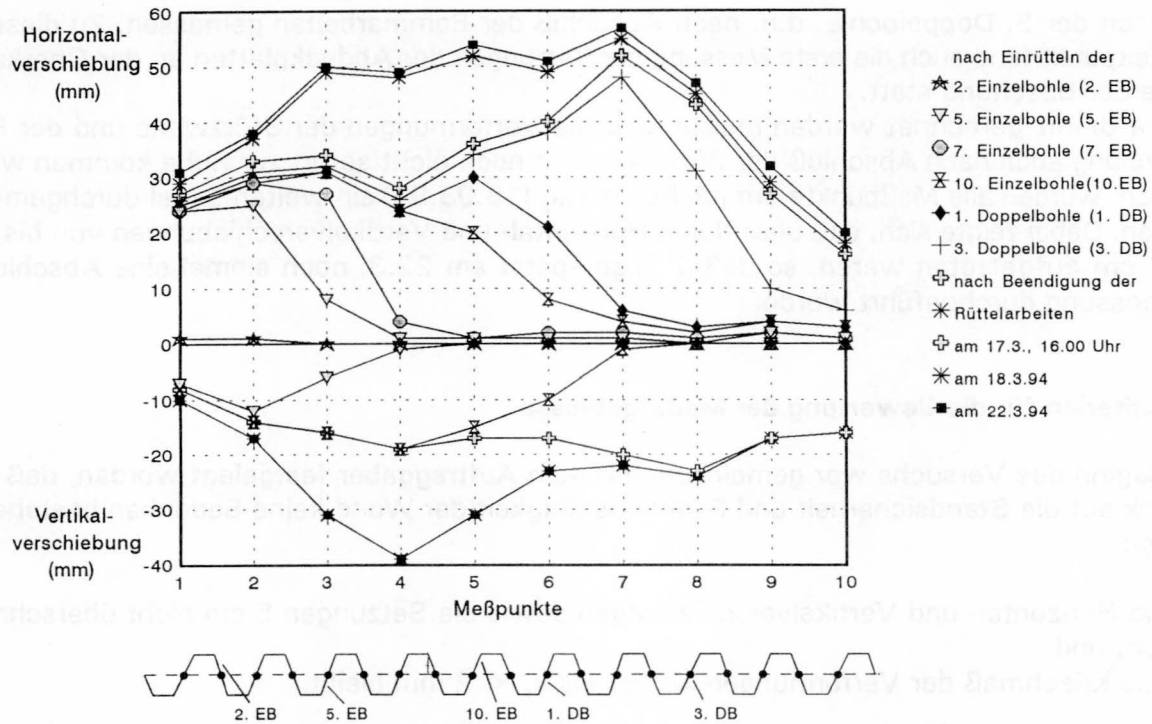


Bild 4 Verschiebungen der Stützwand

- Nach dem Einrütteln der ersten beiden Einzelbohlen lagen die Horizontalverformungen noch unter einem mm. Die durch das Rütteln im Baugrund unter der Stützwand hervorgerufenen Verformungen waren offensichtlich örtlich auf so kleine Bereiche begrenzt, daß die Belastungen noch ohne nennenswerte Verformungen der Wand auf die angrenzenden Nachbarbereiche umgelagert werden konnten.
- Erst ab der 3. Einzelbohle stellten sich Horizontal- und Vertikalverschiebungen in cm-Größenordnung ein. Dabei ist festzustellen, daß das Maximum der Verschiebungen nicht dort auftrat, wo gerade eine Bohle eingerüttelt wurde, sondern etwa 1 m davon entfernt im Bereich der zuvor eingerüttelten Bohlen.
- Mit dem Einrütteln weiterer Bohlen nahmen die Verformungen zu. Allerdings wurde der Einfluß der Rüttelarbeiten auf den zuvor durch die Spundwand gesicherten Bereich in einem Abstand von 3 m bis 4 m so gering, daß nur noch Verschiebungen in der Größenordnung von Millimetern auftraten.
- Nach Abschluß der Rüttelarbeiten am 17.03.94 um 16 Uhr lagen die Vertikalverschiebungen verhältnismäßig gleichmäßig zwischen 1 und 2 cm, während die Horizontalverschiebungen zwischen 2 und 5 cm schwankten, mit dem kleinsten Werte am Rand und dem Maximum etwa in der Mitte.
- Die Verformungen kamen allerdings mit dem Abschluß der Rüttelarbeiten noch nicht zur Ruhe. Zum nächsten Tag wurde eine Zunahme der Horizontal- und Vertikalverschiebungen um bis zu 2 cm festgestellt. Der Verlauf der Verformungen ähnelte dann dem einer Setzungsmulde.
- Eine Kontrollmessung nach weiteren 4 Tagen ergab eine erneute Zunahme der Horizontalverschiebungen um 2 mm, während die Vertikalverschiebungen unverändert blieben.



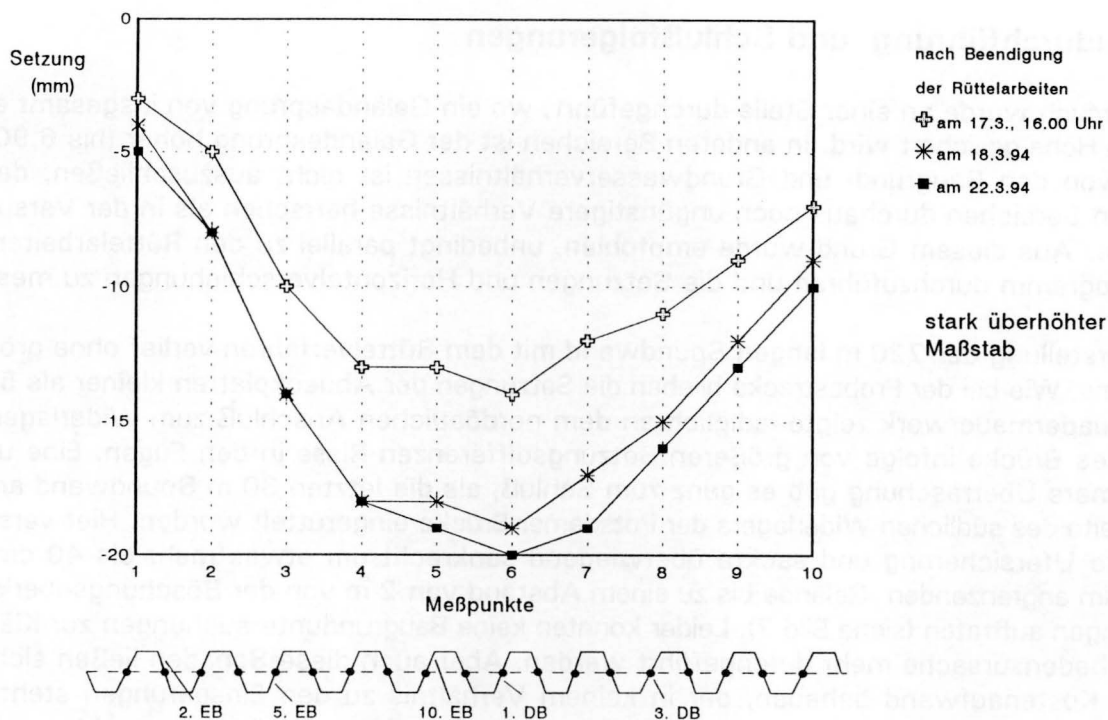


Bild 5 Setzungen der Abdeckplatten

Im Bild 5 sind - in stark überhöhtem Maßstab! - die Setzungen der Abdeckplatten an der Böschungsoberkante dargestellt. Hier war der zeitliche Abstand der Messungen wesentlich größer. Es bestätigt sich aber das Bild, das bei den Horizontal- und Vertikalverschiebungen an der Stützwand gewonnen wurde, doch sind wegen des größeren Abstands von der Spundwand die Setzungen nur halb so groß. Auch hier wurde ein deutliches "Nachsacken" von einem halben Zentimeter in den ersten 18 Stunden nach Abschluß der Rüttelarbeiten beobachtet. In den folgenden 4 Tagen traten dann noch Setzungen von 1 mm auf.

Die Meßergebnisse zeigen, daß die vorgegebene Grenze für die Verschiebungen von  $s = 5$  cm mit Ausnahme von 3 Meßpunkten eingehalten wurde. Die Überschreitungen blieben allerdings kleiner als 1 cm.

Auch das geforderte Kriechmaß von  $k_s = 2$  mm wurde bei der überwiegenden Zahl der Meßpunkte eingehalten, lediglich bei 5 Meßpunkten waren die Horizontalverschiebungen und bei einer Abdeckplatte die Setzungen größer, doch bleibt das Kriechmaß immer kleiner als  $k_s = 3$  mm, das entspricht einer Setzung von 1,5 cm in den nächsten 10 Jahren.

Wie die fotografische Bestandsaufnahme des unter Denkmalschutz stehenden Quadermauerwerks vor und nach den Rüttelarbeiten zeigt, sind auch 2 Wochen nach dem Versuch nur wenige Risse von nicht mehr als 10 cm Länge und maximal 2 mm Breite in dem Mörtel der Fugen aufgetreten. Sie sind unbedeutend und erfordern keinerlei Sanierungsarbeiten. Daher war eine örtliche Überschreitung der ohnehin sehr vorsichtig angesetzten Grenzwerte für die zulässigen Verschiebungen und das Kriechmaß vertretbar. Nach diesen Meßergebnissen waren sich alle Beteiligten sofort einig, daß das Rüttelverfahren zum Einbringen von Spundwänden hier grundsätzlich geeignet ist und angewendet werden soll.

## 5 Baudurchführung und Schlußfolgerungen

Der Versuch wurde an einer Stelle durchgeführt, wo ein Geländesprung von insgesamt etwa 4,40 m Höhe gesichert wird. In anderen Bereichen ist der Geländesprung höher (bis 6,90 m). Auch von den Baugrund- und Grundwasserverhältnissen ist nicht auszuschließen, daß in anderen Bereichen durchaus noch ungünstigere Verhältnisse herrschen als in der Versuchsstrecke. Aus diesem Grund wurde empfohlen, unbedingt parallel zu den Rüttelarbeiten ein Meßprogramm durchzuführen und die Setzungen und Horizontalverschiebungen zu messen.

Die Herstellung der 720 m langen Spundwand mit dem Rüttelverfahren verlief ohne größere Probleme. Wie bei der Probestrecke blieben die Setzungen der Abdeckplatten kleiner als 5 cm. Das Quadermauerwerk zeigte lediglich an dem nordöstlichen Anschluß zum Widerlager der Herkules Brücke infolge von größeren Setzungsdifferenzen Risse in den Fugen. Eine unangenehmere Überraschung gab es ganz zum Schluß, als die letzten 30 m Spundwand an der Westseite des südlichen Widerlagers der Potsdamer Brücke eingerüttelt wurden. Hier versagte die alte Ufersicherung und sackte überwiegend senkrecht um etwas mehr als 40 cm ab, wobei im angrenzenden Gelände bis zu einem Abstand von 2 m von der Böschungsoberkante Sackungen auftraten (siehe Bild 7). Leider konnten keine Baugrunduntersuchungen zur Klärung der Schadensursache mehr durchgeführt werden. Aber auch diese Schäden ließen sich mit einem Kostenaufwand beheben, der in keinem Verhältnis zu den Einsparungen steht, die durch die Umstellung des Einpressens der Spundwände auf das Einrütteln erreicht wurden.



Bild 6 Schäden an der Ufersicherung westlich des südlichen Widerlagers der Potsdamer Brücke

Zusammenfassend läßt sich daher feststellen, daß sich selbst in diesem besonders ungünstigen Fall - die Standsicherheit der Stützwand war rechnerisch nicht ausreichend - eine Proberammung zur Optimierung des Bauverfahrens als sinnvoll und wirtschaftlich erwiesen hat. Dies Beispiel sollte Mut machen, bei dynamischen Belastungen wenn immer möglich die Tragfähigkeit des Baugrunds durch einen Großversuch genauer zu untersuchen und damit noch besser auszunutzen.

## 6 Literatur

- Neugebauer, P.      Stabilisierung und Erneuerung der Ufermauern des Landwehrkanals, Berliner Bauvorhaben, Heft 25, 1989
- Neugebauer, P.      Großversuch zur experimentellen Bestimmung der Tragfähigkeit einer Uferwand am Landwehrkanal in Berlin, interner Bericht
- Schultze, E.        Setzungen, Grundbautaschenbuch, 3.Auflage, Teil 1, Verlag W. Ernst & Sohn, 1980