

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Zierach, Rahula; Zerrenthin, Uwe

Methoden der Baugrunderdynamik im Wasserbau

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/105347>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Zierach, Rahula; Zerrenthin, Uwe (2009): Methoden der Baugrunderdynamik im Wasserbau. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Aktueller Stand und Herausforderungen der Geotechnik im Verkehrswasserbau. S. 61-69.

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.



Methoden der Baugrunddynamik im Wasserbau

Dipl.-Phys. Rahula Zierach u. Dr.-Ing. Uwe Zerrenthin, Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Ilmenau Referat Baugrunddynamik

1 Einführung

Das Referat Baugrunddynamik befasst sich mit der Emission, der Ausbreitung und den Auswirkungen von Erschütterungen aus Baumaßnahmen und betrieblichen Vorgängen an und auf Wasserstraßen. Erschütterungen an Wasserstraßen entstehen z. B. beim Einbringen von Spundwänden, bei Lockerungs- und Abbruchsprengungen, bei Meißelarbeiten, bei der Oberflächen- und Tiefenverdichtung des Baugrundes, aus dem Schifffahrtsbetrieb durch den Antrieb, durch Schiffsstoß beim Anlegen und durch stationäre Anlagen wie Pumpen, Maschinen sowie durch Strömungsvorgänge z. B. in Schleusen. Eine wesentliche Aufgabe des Referats ist es, die möglichen Gefährdungen und unzulässige Belästigungen bei Bauvorhaben der WSV rechtzeitig zu erkennen und im Einzelfall geeignete Lösungen zur Schadensabwehr vorzuschlagen.

Wird bei einem bestimmten Bauvorhaben ein größeres Maß an Sicherheit der Aussagen verlangt, bei dem auch die gegebenen Baugrund- und Gründungsverhältnisse voll einbezogen werden sollen, dann führt das Referat im Bedarfsfall eigene messtechnische Untersuchungen durch. Neben Erschütterungsmessungen vor Ort zur Feststellung der gegebenen dynamischen Belastung werden refraktionsseismische Messungen zur Ermittlung dynamischer Baugrundkennwerte und der Bodenschichtung, dynamische Laborversuche zum Setzungsverhalten von Böden, dynamische Modellversuche (z. B. Schiffsstoß) und Feldversuche zur Simulation bestimmter Bauverfahren durchgeführt.

Auf der Grundlage langjähriger Erfahrungen konnten kostengünstige Feldversuche und Auswertungsverfahren entwickelt werden, die aufwändige und teure Maßnahmen wie Proberammungen und Probesprengungen ersetzen können. Dazu gehören die Simulation von Schlagrammungen durch Fallversuche mit Fallmassen bis 2,5 t, die Simulation der Wirkung von Vibrationsrammungen mit einem mechanischen Unwuchtschwingungserreger bis 20 kN Fliehkraft (siehe Bild 1) und die Nutzung von Unterwasserversuchsprengungen zur Simulation der Erschütterungen bei Abbruchsprengungen von Bauwerken im Wasser.

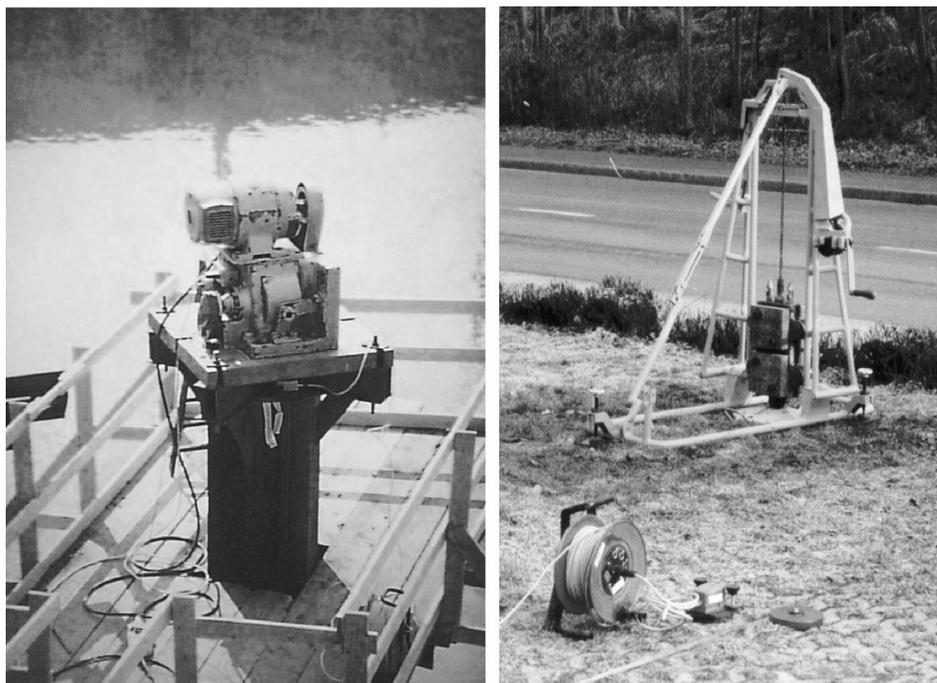


Bild 1: Schwingungserreger und Fallapparat zur Simulation von Bauerschütterungen

Diese Maßnahmen haben den Vorteil, dass sie keine genehmigungspflichtigen Baumaßnahmen darstellen. Die in den Baugrund eingetragene Energie kann sehr gut dosiert werden, so dass schädliche Auswirkungen dieser Untersuchungen durch Einsatz zunächst sehr kleiner Energien sicher ausgeschlossen werden können.

Im Folgenden wird an Beispielen einiger jüngerer WSV-Aufträge die Abarbeitung von Aufgaben des Referates Baugrunderdynamik dargestellt.

2 Unterführung der Bahn unter der Havel-Oder-Wasserstraße bei Eberswalde

Im Rahmen des Ersatzneubaus der HOW Kreuzungsanlage bei Eberswalde wurde ein Tunnelbauwerk zur Unterführung der Eisenbahn unter der Neue Fahrt der Havel-Oder-Wasserstraße errichtet. Der Tunnel besteht aus offenen Wannensegmenten und geschlossenen Tunnelsegmenten mit einer Breite von ca. 16 m.

Nach Fertigstellung der Unterführung musste eine 441 m lange bauzeitliche Stahlspundwand im Nahbereich des Tunnelbauwerkes zurückgebaut werden (Bild 2). Die Spundwand befand sich unmittelbar neben dem Tunnelbauwerk. Der seitliche Abstand zur Spundwand variierte zwischen 0 m und 2,85 m. Die 8 m bis 13 m langen Bohlen der Spundwand banden bis zu 6,9 m unter der Bauwerkssohle in den Baugrund ein. Örtlich standen bis ca. 7 m unter der Sohle setzungsempfindliche Sande geringer bis mittlerer Festigkeit an.



Bild 2: Fertiggestellte Unterführung mit temporärer Spundwand

Die Aufgabe des Referates BD bestand darin, die Auswirkungen des Ziehens der Spundwand mit einem Vibrationsbär abzuschätzen, d.h. in der Prognose der maximal zu erwartenden Bauwerkserschütterungen und der maximal zu erwartenden Bauwerksverschiebungen.

Zum Ziehen wurde ein etwa baugleicher Vibrationsbär wie beim Einbau genutzt. Grundlage für die Prognose der Bauwerkserschütterungen waren Freifeld-Schwingungsmessungen, die bereits beim Einbringen der Spundwand vom Referat BD durchgeführt wurden. Die daraus abgeschätzten größtmöglichen Bau-

werkerschütterungen von $v_i \approx 10$ mm/s lagen bei maximal 25 % des Anhaltswertes der DIN 4150, so dass Schäden aus direkter Schwingungseinwirkung nicht zu erwarten waren.

Wesentlich schwieriger war die quantitative Abschätzung der möglichen Setzungen. Aufgrund der zu erwartenden starken Baugrunderschütterungen, die mit dem Abstand schnell abnehmen, konnten Verkippen der Tunnelsegmente nicht ausgeschlossen werden. Praxistaugliche Prognoseverfahren zur quantitativen Abschätzung von Bauwerksverschiebungen im Nahbereich von Rammarbeiten liegen bis heute in der Literatur nicht vor. Nach den Informationen der DIN 4150-3, Anhang C wäre das Ziehen der Spundwand möglicherweise mit einem großen Schadenspotential für das Tunnelbauwerk verbunden, da die empfohlenen Sicherheitsabstände wesentlich unterschritten wurden.

Auf der Grundlage von Schwingungs- und Setzungsmessungen an Erdbauwerken bei 10 Bauvorhaben der WSV in den Jahren von 1995 bis 2005 wurde ein empirisches Modell zur Prognose der Setzungen von locker bis mitteldicht gelagerten Sanden bei Vibrationsrammung von Spundwandelementen entwickelt. Dieses Modell wurde dann für die Prognose der Setzung von Flachgründungen im Nahbereich von Vibrationsrammungen erweitert. Maßgebende Eingangsgrößen sind die Schlagzahl der schweren Rammsonde, die Vertikalspannungsverteilung im setzungsempfindlichen Boden und die Größe der Schwingungseinwirkung (Schwinggeschwindigkeit, Zahl der Lastwechsel). Die Größen der eingeführten Modellparameter erwiesen sich für alle untersuchten Bauvorhaben als identisch (Bild 3).

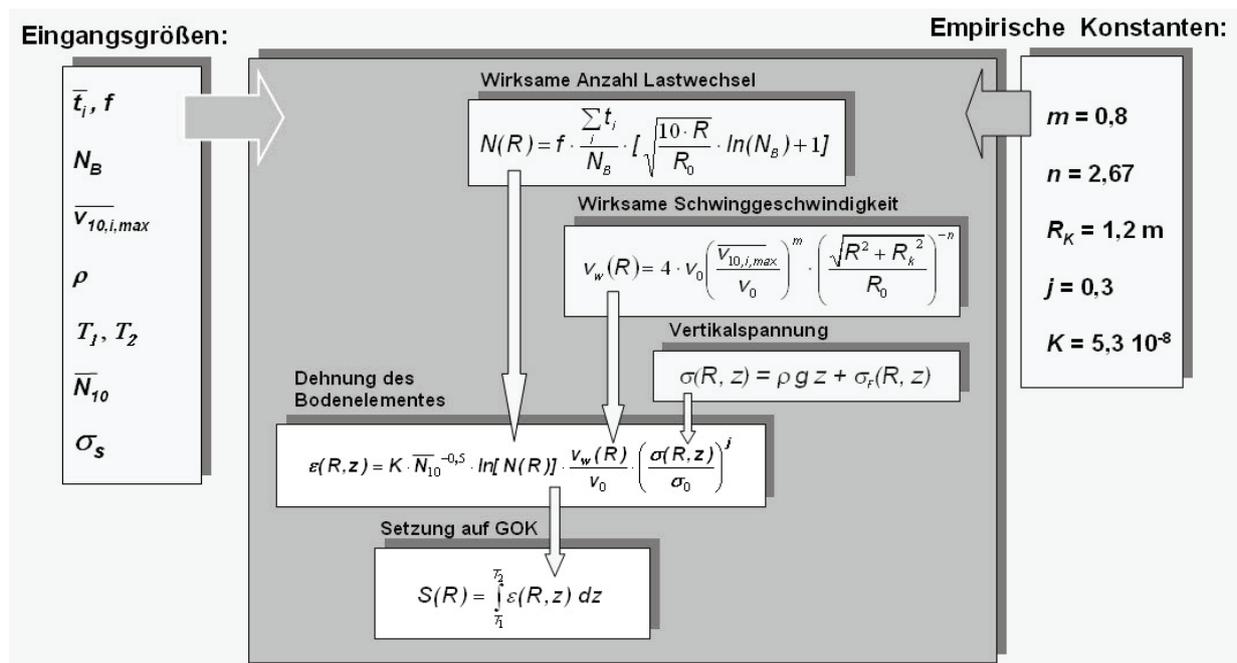


Bild 3: Empirisches Modell für die Abschätzung von Baugrundsetzungen im Nahbereich einer linearen Spundwandtrasse bei Vibrationsrammung (σ_s - Sohlspannung; σ_f - Spannungsanteil des Fundamentes, t_i - mittlere Vibrierdauer je Bohle, f - Frequenz, N_B - Anzahl Bohlen; $v_{10,i,max}$, v_0 - Schwinggeschwindigkeiten; R , R_0 - Abstände; ρ - Dichte; T_1 , T_2 - Lagegrenzen der setzungsempfindlichen Schicht; N_{10} - Schlagzahl der schweren Rammsonde; z - Tiefe ab GOK)

Mit dem entwickelten empirischen Prognosemodell konnten die Baugrundverschiebungen unter den flachgegründeten Tunnelsegmenten auf der Grundlage der beim Einvibrieren der Spundwand gemessenen Schwingungseinwirkung quantitativ abgeschätzt werden. Örtlich wurden Verschiebungen von $s < 20$ mm beim Ziehen der Spundwand prognostiziert, die nach Aussagen der Betreiber schadlos aufgenommen werden konnten. Der Auftraggeber entschied sich daraufhin zum Ziehen der Spundwand.

Nachfolgende Bauwerksmessungen bestätigten die Prognosen. Nach Abschluss der Arbeiten lag die größte gemessene, durch das Ziehen der Spundwand hervorgerufene Setzung des Tunnels mit $s = 8$ mm

im erwarteten Bereich (Bild 4). Damit konnten 441 m Spundwand ohne Bauwerksschäden wieder gewonnen werden (die Stahlpreise lagen zur Bauzeit auf höchstem Niveau).

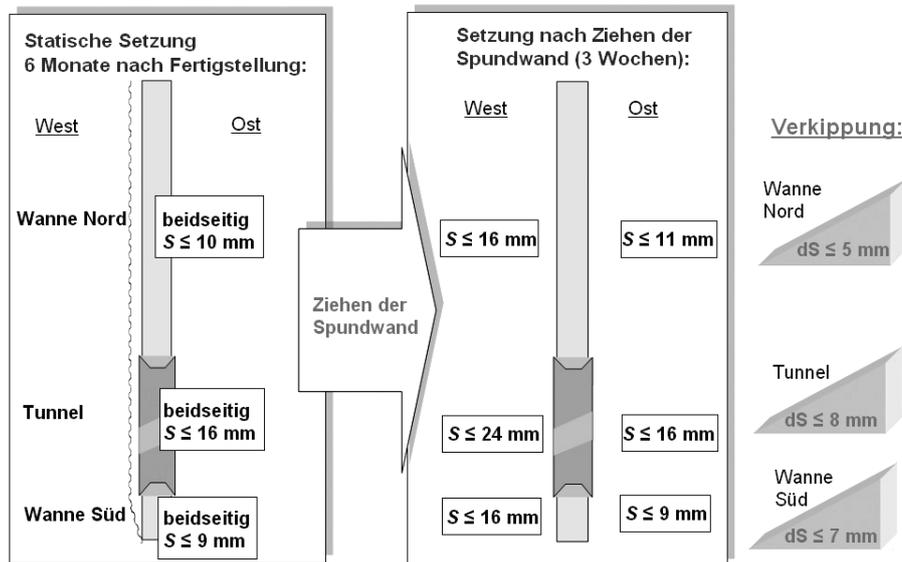


Bild 4: Setzungsmessungen nach Fertigstellung des Tunnels und nach dem Ziehen der temporären Spundwand

3 Elbuferspundwand im Rothenseer Verbindungskanals (RVK)

Im südlichen Abschnitt des Rothenseer Verbindungskanals (RVK) wurde zur dauerhaften Sicherung der durch den Schiffsverkehr stark beanspruchten Böschung eine ca. 450 m lange, verankerte Uferspundwand eingebracht. Im Nahbereich der geplanten Spundwand befinden sich zwei Windkraftanlagen und bei RVK-km 324,825 kreuzt der 1998 neu gebaute Elbedüker Nord die Spundwandtrasse. Das Referat Baugrunderdynamik wurde vom WNA Magdeburg damit beauftragt, die Rammarbeiten zu überwachen. Schäden an den Bauwerken, auch schon kleinste Haarrisse, sollten ausgeschlossen werden können. Der 630 m lange, begehbare Düker besteht aus Stahlbetonrohrelementen mit einem Innendurchmesser von 2,6 m und einem Außendurchmesser von 3,16 m. Bei einer Begehung des Dükers vor Beginn der Baumaßnahmen zeigten sich an einigen Segmentfugen bereits kleine Undichtigkeiten mit geringem Wasserzutritt.

Im Kreuzungsbereich zwischen Spundwandachse und Dükerachse waren kürzere Bohlen als im Regelbereich geplant, so dass zwischen Oberkante Düker und Unterkante Spundwand ein Abstand von ca. 2 m eingehalten werden konnte (Bild 5). Bei Vibrationsrammung war eine Überschreitung der Anhaltswerte für die Erschütterungen aus der DIN 4150-3 (für erdverlegte Leitungen) nicht zu erwarten. Bei Schlagrammung konnte eine Überschreitung des Anhaltswertes prognostisch nicht ausgeschlossen werden.

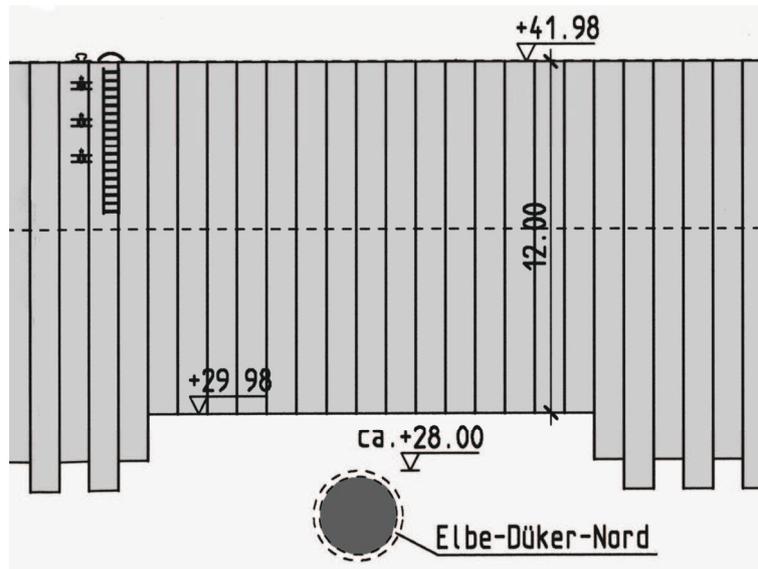


Bild 5: Spundwand im Kreuzungsbereich der Dükerachse

Vor Beginn der Rammarbeiten wurde ein automatisches Messsystem für die Dauerüberwachung der Schwinggeschwindigkeit an je drei Messpunkten der Windkraftanlagen und an drei Rohrsegmenten im Düker unter der Rammachse sowie auf einem Träger des Rohrleitungssystems im Düker installiert. Das Einbringen der Stahlspundbohlen erfolgte bis oberhalb des Tonhorizontes bzw. bis ca. 4 m über Dükeroberkante mit Hilfe einer leistungsstarken Hochfrequenz-Vibrationsramme. Auf Endtiefe wurden die Bohlen mit einer hydraulisch angetriebenen Schlagramme gebracht. Bei den Rammarbeiten im Nahbereich des Dükers ($R \leq 10$ m) wurden die Erschütterungen der zwei nächstliegenden Tunnelsegmente mit einem zusätzlichen Messsystem gemessen und vor Ort sofort bewertet. Dieses Messsystem erlaubte eine Echtzeitdarstellung der Schwingungen auf einem Monitor, so dass bei zu großen Erschütterungen das Rammen sofort gestoppt werden konnte (Bild 6).



Bild 6: Mobiles Messsystem des Referates BD

Beim Vorbeirammen an den Windkraftanlagen wurde nur ein sehr geringer Teil ($< 2\%$) der Bodenerschütterungen auf die Fundamente übertragen. Die Erschütterungen aus den Rammarbeiten lagen unter 10% der Eigenschwingungen der Windanlagen (z.B. durch Wind). Die Entwicklung der gemessenen Schwingungen beim Überrammen des Dükers (Schlagrammung auf Endtiefe) ist im Bild 7 getrennt nach horizontalen (y) und vertikalen (z) Schwingungsanteilen dargestellt.

Die Aufzeichnung des zeitlichen Verlaufes der Schwinggeschwindigkeit erlaubte auch durch Differentiation bzw. Integration die Bestimmung von Beschleunigungswerten und Wegamplituden. Ein Vergleich der Wegamplituden zweier benachbarter Rohrsegmente in Fugennähe zeigte eine maximale Wegdifferenz von nur $\Delta s \leq 5 \mu\text{m}$. Insgesamt ergaben alle Messungen geringere Schwingungswerte, als die vorausgehenden Prognosen vermuten ließen. Gründe dafür sind einerseits die Plastizität und Konsistenz des Septarientones, in dem der Düker und die Gründung der Windkraftanlagen einbinden und andererseits auch die relativ große Ausdehnung des Gründungskörpers der Windanlagen. Alle gemessenen Schwingungswerte blieben weit unter den vorgegebenen Anhaltswerten, so dass Schäden durch direkte Schwingungseinwirkungen an den untersuchten Bauten mit hoher Sicherheit ausgeschlossen werden konnten.

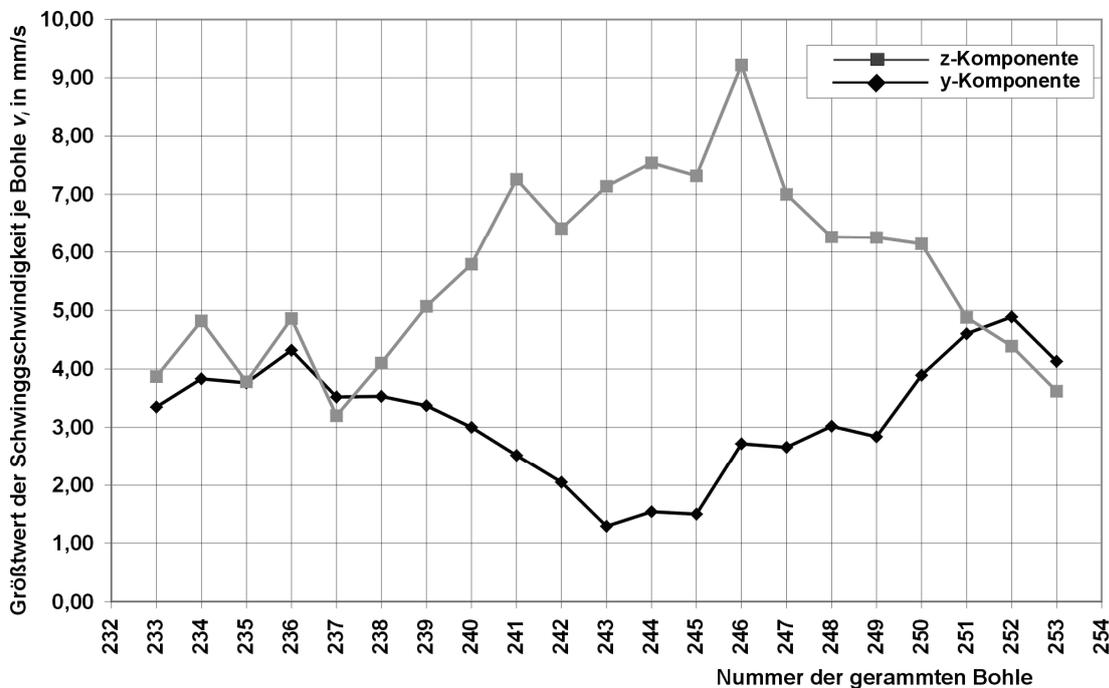


Bild 7: Größtwerte der Schwinggeschwindigkeit je Bohle beim Überrammen des Dükers

4 Fernüberwachung der Schwingungsausbreitung bei Baumaßnahmen

Die Betreuung einer Vielzahl von Baumaßnahmen in der WSV hat dazu geführt, dass das Referat BD inzwischen über eine große Anzahl von Messeinrichtungen zur Dauerüberwachung von Baustellen verfügt. Ausgehend von Untersuchungen mit der bereits oben genannten mobilen Messeinrichtung und den durchgeführten Feldversuchen zeigte sich in zunehmendem Umfang die Notwendigkeit, während des Bauablaufes die Einhaltung der vorgegebenen Anhalts- oder Grenzwerte für die zulässigen Erschütterungen zu überwachen und (notfalls auch gerichtsverwertbar) aufzuzeichnen. Der Einsatz der in Bild 8 dargestellten modularen Anlage ermöglicht den Einsatz von bis zu 16 Messstellen (für Erschütterungen oder auch Schall). Die Messstellen werden über Kabel oder Funkstrecken mit dem Grundgerät verbunden. Die Kommunikation mit der Anlage zur Datenfernabfrage und Parametrierung ist über das Festnetz oder GSM-Funkmodem möglich. Über einstellbare Alarmwerte ist eine Fernalarmierung über SMS und vor Ort eine Alarmierung über eine Rundumleuchte (oder weitere Alarmmittel) möglich. Neben der vollständigen Dokumentation der während der Baumaßnahme aufgetretenen Erschütterungen liefern diese Messungen einen wertvollen Datenschatz für Prognosen an zukünftigen Baustellen der WSV. Als Bei-

spiel für den Einsatz der beschriebenen Mess- und Überwachungstechnik kann hier der Abruch eines bauffälligen Gebäudes am Teltowkanal in Berlin angeführt werden. An dem in Bild 9 dargestellten Kreuzungspunkt von mehreren Verkehrswegen sollte am Südufer des Kanals eine Auflast zur Sicherung der Böschung vor dem Wohngebäude aufgebracht werden. In der Folge musste der Kanal zu diesem Zweck zeitweise gesperrt bzw. Einspurverkehr eingerichtet werden. Die bereits vorliegende schwere Schädigung des Bauwerkes ließ keine „normale“ Bewertung des Gebäudes in Bezug auf Anhaltswerte aus der DIN 4150-3 zu. Für die Baumaßnahme wurde, unter anderem aus der bisher vorliegenden Verkehrsbelastung abgeleitet, ein Grenzwert von $v_i = 1 \text{ mm/s}$ für die zulässige Erschütterungsbelastung vorgegeben.

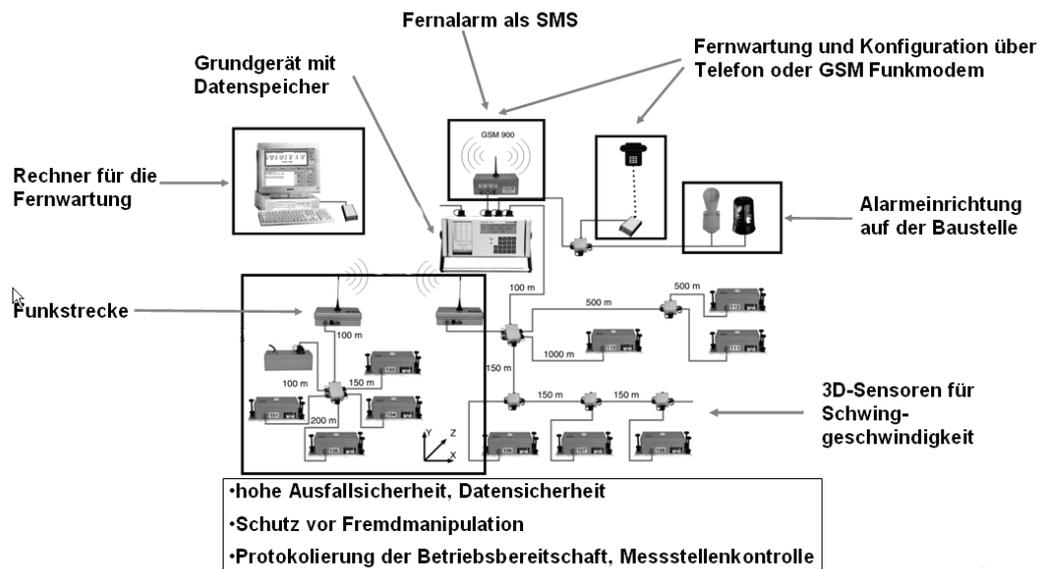
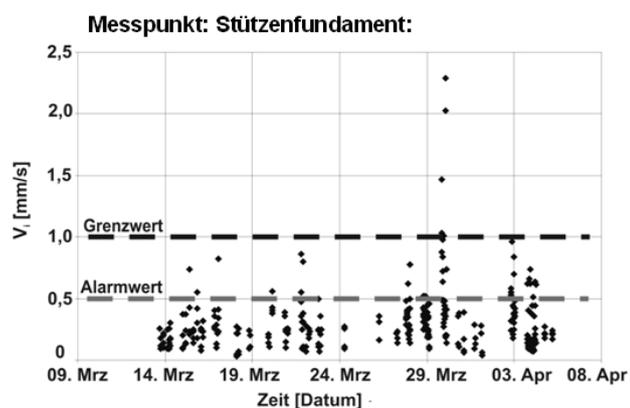


Bild 8: Automatisches Messsystem zur Erfassung der Schwinggeschwindigkeit mit Alarmsystem und Fernübertragung



Dauererschütterungsmessungen mit Alarmsystem



Ergebnis: besondere Sensibilisierung der Baufirma durch häufige Alarmierung

Bild 9: Dauermessungen an einem einsturzgefährdeten Haus bei Ufersicherungsmaßnahmen

Um die Einhaltung dieser Größe sicherzustellen, wurde bereit bei einem Wert von $v_i \geq 0,5 \text{ mm/s}$ eine Alarmierung der Baufirma vorgenommen. Die Graphik in Bild 9 zeigt, dass der vorgegebene Grenzwert bis auf einzelnes größeres Ereignis sicher eingehalten werden konnte. Der bei 50 % des Grenzwertes

angelegte Alarmwert führte zu einer deutlichen Sensibilisierung der Baufirma, die so ihre Arbeitsweise der besonderen Problematik anpassen konnte.

5 Rammarbeiten am Landwehrkanal vor dem Bauhausarchiv Berlin

Das folgende Beispiel für Rammarbeiten am Berliner Landwehrkanal zeigt die „besonderen Herausforderungen“ von Bauarbeiten im innerstädtischen Bereich. Die Uferwand des Landwehrkanals gilt seit bereits ca. 20 Jahren als sanierungsbedürftig. Trotz vielfältiger Voruntersuchungen (auch seitens der BAW) gab es bis Anfang des Jahres kein schlüssiges Sanierungskonzept. Das WSA Berlin wurde in dieser Situation damit überrascht, dass ein großer Teil der Böschungen einschließlich der Uferbäume durch Unterspülungen abrutschgefährdet ist. Eine geplante Fällaktion als Sicherungsmaßnahme führte zu massiven Bürgerprotesten und im weiteren zu einer innovativen Variante einer Baumsicherung wie im Bild 10 dargestellt.

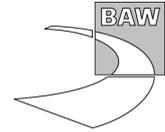


Bild 10: Baumsicherungen, Rammarbeiten am Landwehrkanal, Plakat

Zum Rückbau dieser Sicherungen war an verschiedenen Stellen im Landwehrkanal die Einbringung einer Spundwand vor dem Fuß der als Schwergewichtsmauer ausgeführten Uferwand erforderlich. Diese sollte überwiegend durch Pressen eingebracht werden. Wegen hierbei auftretender technologischer Probleme wurde ein Nachrammen der Bohlen mit einer Schlagramme erforderlich. Hierbei traten nun erneut Probleme durch den vehementen Widerstand vieler Anlieger auf.



Bild 11: Ausstellungsraum mit Vitrinen im Bauhausarchiv



Insbesondere die Leitung des Bauhausarchives meldete massive Bedenken wegen der Sicherheit der ausgestellten Kunst- und Kulturgegenstände an (Bild 11, Ausstellungsraum mit Keramiken).

Im Abstand von minimal 10 m zu dem Gebäude musste hier die Spundwand eingebracht werden. Eine Vorhersage der für das Gebäude zu erwartenden Erschütterungen war hierbei kein Problem, sondern die Abschätzung der Auswirkungen auf die Ausstellungsgegenstände, denn an dieser Stelle hilft die DIN 4150-3 nicht weiter. Auch der letzte Ausweg für das Amt, dass bei einem eventuellen Schadensfall Schadenersatz geleistet würde, war hier nicht akzeptabel. Eine Lösung war hier nur in Zusammenarbeit mit den Betroffenen möglich. Hierfür wurde eine Proberammung anberaumt, bei der Teile der Ausstellungsgegenstände abgebaut und neben den üblichen Gebäudemessungen auch an den Vitrinen gemessen wurde. Gleichzeitig wurden die Innenräume durch Mitarbeiter überwacht. Nach der Auswertung der Messungen konnten erst die folgenden Gespräche und Erläuterungen die Leitung des Bauhausarchives davon überzeugen, einer Fortführung der Arbeiten zuzustimmen. Die Befürchtungen über Gefährdungen des Gebäudes konnten ausgeräumt werden. Als eine für beide Seiten vertretbare Lösung wurden die Rammarbeiten erst dann fortgeführt, nachdem (wegen bereits geplanter Umbauarbeiten im Museum) Teile der Ausstellungsgegenstände abgebaut und eingelagert wurden. Dieses Beispiel zeigt, dass man nicht immer auf rein technische Lösungen zurückgreifen kann, sondern dass daneben häufig das Herstellen einer Vertrauensbasis sowie die Zusammenarbeit und offene Kommunikation mit den Betroffenen vor Ort der Schlüssel zum Erfolg ist.

