

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Article, Published Version

**Palloks, Werner; Dietrich, Rolf**

## **Erfahrungen mit Lockerungssprengungen für das Einbringen von Spundbohlen im Mergelgestein**

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102778>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Palloks, Werner; Dietrich, Rolf (1995): Erfahrungen mit Lockerungssprengungen für das Einbringen von Spundbohlen im Mergelgestein. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 72. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 69-78.

### **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.



# **Erfahrungen mit Lockerungssprengungen für das Einbringen von Spundbohlen im Mergelgestein**

**Palloks, W.**, Bundesanstalt für Wasserbau, Außenstelle Berlin

**Dietrich, R.**, Wasserstraßen-Neubauamt Berlin (bis 03/95 WNA Datteln)

## **1 Einführung**

Das Wasserstraßen-Neubauamt Datteln betreut im Auftrag der Wasser- und Schifffahrtsdirektion West in Münster seit über 45 Jahren Aus- und Neubaumaßnahmen an den westdeutschen Binnenschifffahrtskanälen. Neben dem Bau von Anlagen bildet traditionell der Kanalstreckenausbau einen besonderen Aufgabenschwerpunkt. Im Laufe der Jahre konnten dabei umfangreiche Erfahrungen mit der Herstellung von verschiedenartigen Uferereinfassungen gesammelt werden, wobei sich in weiten Bereichen Stahlspundbohlen für die Uferbefestigung bewährt haben. Senkrechte Uferereinfassungen aus Stahlspundbohlen werden beim Streckenausbau von Binnenwasserstraßen heute überall dort eingesetzt, wo aufgrund der örtlichen Randbedingungen ein möglichst geringer Flächenverbrauch sichergestellt werden muß. Das Einbringen von Stahlspundbohlen ist dabei grundsätzlich überall möglich. Die Grenzen der herkömmlichen Einbringmethoden werden dort erreicht, wo der Baugrund ein Einbringen der Spundbohlen ohne vorherige Baugrundaufbereitung nicht zuläßt.

Beim Ausbau des Bauloses 1 am Datteln-Hamm-Kanal (km 0,5 bis km 5,0) war auf über 1000 m Länge das Einbringen von Stahlspundbohlen in den anstehenden Sand- und Tonmergel (GK 6 nach DIN 18300) nur unter Einsatz einer Rammhilfe möglich. Im Rahmen des Wettbewerbes wurden dafür Lockerungssprengungen beauftragt und im Jahr 1994 erfolgreich ausgeführt. Die Arbeiten wurden durch die Bundesanstalt für Wasserbau, Außenstelle Berlin in baudynamischen Fragen gutachterlich begleitet. Im Rahmen der Beweissicherung wurden für insgesamt rd. 1400 Sprengereignisse Erschütterungsmessungen an den benachbarten Bauwerken vorgenommen.

Aus Sicht des Baudynamikers hat die Auswertung einer großen Anzahl gemessener Sprengerschütterungen gezeigt, daß die Abhängigkeit der Erschütterungsgröße von der Entfernung der Sprengung und der eingesetzten Lademenge gut beschrieben werden kann. Eine Unterteilung der betroffenen Bauwerke in leichte und massive Bauwerke hat sich dabei als sinnvoll erwiesen. Auf der Grundlage der Ergebnisse der Auswertungen können für vergleichbare Fälle Lademenge und/oder Sicherheitsabstände bestimmt werden.

## **2 Bauvertrag/Beweissicherung, Baudurchführung**

### **2.1 Bauvertrag**

Die vom Auftraggeber ausgeschriebenen Leistungen überließen den Bietern sowohl die Wahl des Spundwandsystems (unter Einhaltung von Mindestanforderungen zur minimalen Wandstärke und zum maximalen Ankerabstand) als auch die Wahl des Einbringverfahrens unter Vorgabe von einzuhaltenden maximalen Erschütterungswerten. Im Rahmen des Wettbewerbes wurden sowohl zum Spundwandsystem als auch zum Rammhilfungsverfahren zahlreiche verschiedene Angebote abgegeben. Beauftragt wurde ein einfach verankertes Spundwandsystem aus Larssen 602, StSp 37 (in Teilbereichen aufgrund statischer Erfordernisse StSp S). Die besonders hohe Wirtschaftlichkeit der beauftragten Lösung resultierte jedoch aus dem Angebot, die notwendigen Rammhilfeleistungen durch die Ausführung von

Lockerungssprengungen zu erbringen. Wie bei jeder erschütterungsintensiven Bauleistung war dabei die Frage der Schadenshaftung der Vertragsparteien zu klären.

Der Beweis des ersten Anscheins bei Vergrößerung bereits vorhandener oder Entwicklung neuer Bauwerksschäden während der Bauzeit bewirkt grundsätzlich die Schadenshaftung des "störenden" Bauherren im Außenverhältnis gegenüber Dritten. Insbesondere geht bei nachgewiesenermaßen während der Bauzeit eingetretenen Schäden die Beweislast in der Regel vom Anspruchsteller auf den mutmaßlichen Schadensverursacher über. Eine Weitergabe der Ersatzforderungen ist nur möglich, wenn dem Auftragnehmer ein schuldhafter Verstoß gegen die im Bauvertrag auferlegte besondere Sorgfaltspflicht nachgewiesen werden kann.

Bei den in die Abwägung einzubeziehenden Bauwerken handelte es sich um eine Straßenbrücke und ein Sicherheitstor (beide jüngeren Baualters), einen Sportboothafen und fünf verschiedene Privatanwesen, die teils landwirtschaftlich, teils gewerblich genutzt wurden. Diese Bauwerke sind den Gebäudearten nach Zeile 1 bzw. Zeile 2 Tabelle 3 nach DIN 4150 Teil 3 zuzuordnen. Die in DIN 4150 vorgegebenen Anhaltswerte für zulässige Schwinggeschwindigkeiten gelten für Bauwerke, die nach den anerkannten Regeln der Bautechnik errichtet wurden. Die Schadenshaftung des Bauherren als "Störer" gilt aber grundsätzlich für alle nachweisbar während der Bauzeit eingetretenen Schäden, so daß wegen der Unwegbarkeiten im Hinblick auf die oftmals nur bedingt nach den Regeln der Baukunst errichteten älteren Wohn- und Gewerbebauten durch den Bauherren und Auftraggeber die Einhaltung der Anhaltswerte nach Zeile 3 DIN 4150 Teil 3 für "Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z. B. unter Denkmalschutz stehend) sind" gefordert wurde.

Soweit keine permanente frequenzabhängige Schwinggeschwindigkeitsmessung vorgesehen war, sollte bei allen erschütterungsintensiven Arbeiten grundsätzlich eine Schwinggeschwindigkeit von 2 mm/s an den betroffenen Bauwerken nicht überschritten werden. Die permanente Überwachung der Erschütterungsimmissionen auf die vorhandene Bauwerks-substanz war Sache des Auftragnehmers, wobei der Standort des Permanentmeßgerätes im Einvernehmen mit dem Auftraggeber entsprechend dem Rammfortschritt festgelegt wurde. Zusätzlich wurden auftraggeberseitig veranlaßte Kontrollmessungen durchgeführt.

In Abwägung des hohen wirtschaftlichen Nutzens in Bezug zu dem vergleichsweise geringen Schadenspotentials an den verhältnismäßig wenigen Bauwerken im Einflußbereich der Erschütterungen wurde die Ausführung der Lockerungssprengungen beauftragt, wobei der Auftragnehmer die Schadenshaftung bei nachgewiesener Überschreitung der vertraglich vorgesehenen Grenzwerte für Erschütterungsimmissionen übernahm.

## **2.2 Beweissicherung und Baudurchführung**

Da im Zuge der Baumaßnahme in jedem Fall erschütterungsintensive Arbeiten durchgeführt werden mußten, erfolgte eine fotodokumentarische Beweissicherung der bereits vor Beginn der Baumaßnahme vorhandenen Bauwerksschäden. Auf Anregung des Fachgutachters wurde der Bereich der Beweissicherung im Hinblick auf die Lockerungssprengungen auf einen Korridor von max. 300 m Entfernung zur Baustelle erweitert. Wegen des ländlichen Charakters des Baustellenumfeldes war dadurch jedoch lediglich die Beweissicherung zweier zusätzlicher Anwesen erforderlich. Die permanente Überwachung der Einhaltung der beauftragten Schwinggeschwindigkeit war Sache des Auftragnehmers und somit vertraglich abgegolten, so daß auch während der Baudurchführung kein signifikant erhöhter Aufwand an baubegleitenden Beweissicherungsmaßnahmen notwendig war. Insgesamt wurden somit durch die Beauftragung der Lockerungssprengungen nur geringfügige zusätzliche Beweissicherungsmaßnahmen erforderlich. Die Abschätzung der durch die erschütterungsintensi-

ven Arbeiten während der Bauzeit entstandenen und durch den Bauherren zu vertretenden Schäden läßt erwarten, daß die Aufwendungen für zusätzliche Beweissicherungsmaßnahmen und Schadensregulierungen bei ca. 20 bis 25 % des Preisnachlasses in Folge der Beauftragung von Lockerungssprengungen gegenüber dem nächst günstigsten Rammhilfungsverfahren liegen werden. Damit abgegolten sind aber auch Schäden, die nur dem ersten Anschein nach auf Sprengerschütterungen aus der Baumaßnahme zurückzuführen sind und Schäden, die mutmaßlich auch bei anderen erschütterungsintensiven Arbeiten entstanden wären.

Die Baudurchführung selbst konnte auf qualitativ hochwertigem Niveau abgeschlossen werden. Das Einbringen der Spundbohlen erfolgte dabei im Bereich der schluffigen Feinsande mittels Vibrationsramme und im Bereich des aufgelockerten Mergelgesteins durch Nachschlagen mittels Dieselrammbär (D 20 ). Spundwandverformungen traten dabei nur in der Anlaufphase auf. Je nach Mächtigkeit der zu durchrammenden Mergelschicht waren "Nachsprengungen" erforderlich. Da sich das gelockerte Mergelgestein während des Einbringvorganges der Spundbohlen sehr schnell wieder konsolidierte wurden die Lockerungssprengungen als Einzellochsprengung in unmittelbarem Vorlauf zum Einbringvorgang ausgeführt.

### 3 Baugrund und Spundwand

Auflockerungssprengungen fanden in dem Kanalbereich km 1,369 - 2,1 (Nordseite) und km 1,775 - 2,1 (Südseite) statt. In diesem Bereich stehen unter einer Auffüllungsschicht und einer gewachsenen Schicht aus schluffigem Feinsand und/oder feinsandigem Schluff ab 54 - 55,5 m NN (Nordseite) und 53 - 55,5 m NN (Südseite) eine ca. 0,5 - 1 m mächtige Schicht aus Sandmergel (feinsandiger, toniger Schluff, halbfest bis fest) und darunter Tonmergel (stark toniger Schluff, halbfest bis fest) an. Der Kanalwasserstand liegt bei 56,5 m NN.

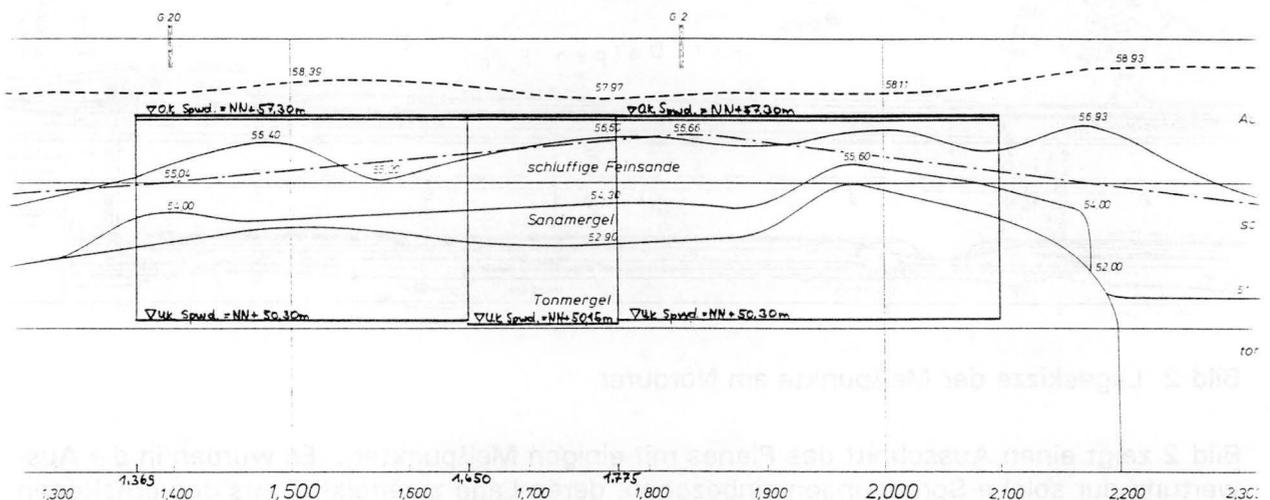


Bild 1 Baugrundprofil und Spundwand Nordufer

Die Unterkante der Spundwand ist mit 50,3 m NN (Nordseite km 1,65 - 1,775 mit 50,15 m NN) vorgesehen. Damit ergeben sich notwendige Einbindetiefen der Spundbohlen in den Tonmergel von 2,5 - 4,5 m (Nordseite) und 3,5 - 4,7 m (Südseite). Die Oberkante der Spundwand liegt einheitlich bei 57,3 m NN (Bild 1).

### 3.1 Sprengverfahren

Die Auflockerungssprengungen erfolgten in verrohrten Bohrlöchern (Kunststoffrohr) im allgemeinen in 0,6 m und 0,8 m Bohrlochabstand entlang der Spundwandachse vor Einbringen der Spundwand. Es wurden gestreckte Ladungen in der Größe 0,2 kg bis 1,4 kg je Bohrloch verwendet, die mit Momentzündung zur Detonation gebracht wurden. Stellenweise wurden mehrere Bohrlöcher gleichzeitig gezündet.

## 4 Auswertung der Schwingungsmessungen

### 4.1 Schwingungsmessungen

Zur Überwachung der Sprengarbeiten und zur Kontrolle der Einhaltung vorgegebener Anhaltswerte für die unterschiedlichen Bauwerke wurden von der Sprengfirma Schwingungsmessungen bei allen Sprengungen durchgeführt. Die hier ausgewerteten Messungen erfolgten mit einem Gerät ZEB/SM-3D, das die Sprengerschütterungen automatisch bei Überschreitung eines eingestellten Triggerwertes registrierte und zahlenmäßig die Größe der Schwinggeschwindigkeit der drei Komponenten sowie der dazugehörigen Frequenzen ausdrückte. Die Messungen fanden in der Regel an dem der Sprengung nächstgelegenen Bauwerk (Wohnhäuser, Bootshaus, Turm Sperrtor, Brückenwiderlager) statt.

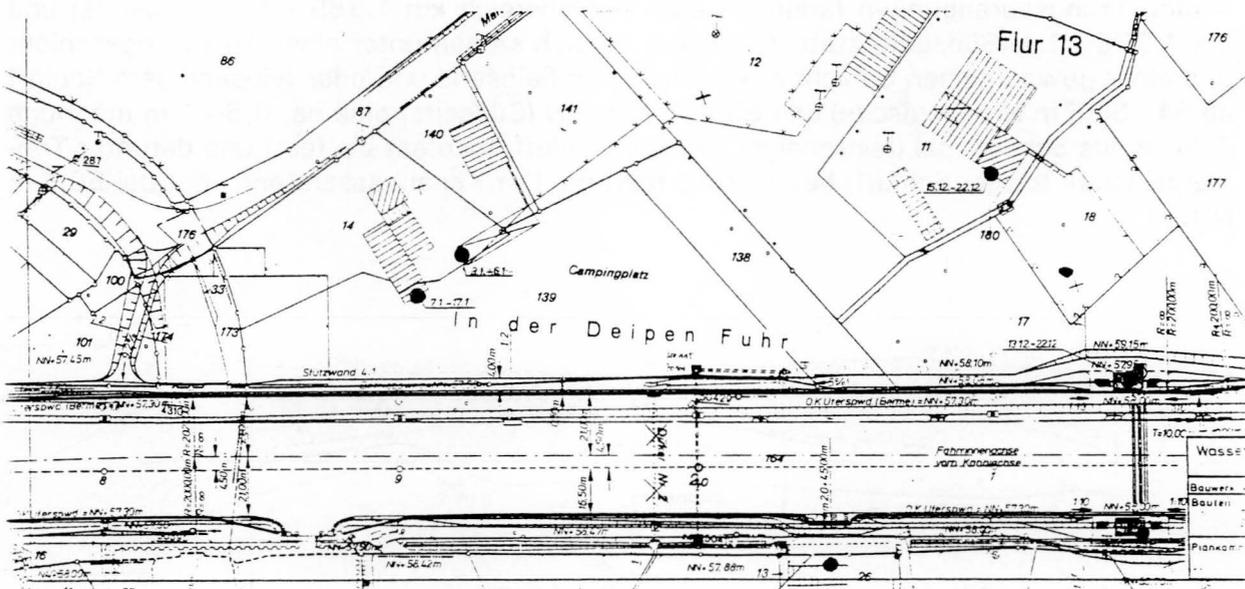


Bild 2 Lageskizze der Meßpunkte am Nordufer

Bild 2 zeigt einen Ausschnitt des Planes mit einigen Meßpunkten. Es wurden in die Auswertung nur solche Sprengungen einbezogen, deren Lage zweifelsfrei aus den erhaltenen Unterlagen festgestellt werden konnte.

### 4.2 Ergebnisse der Messungen

Die Ergebnisse der Überwachungsmessungen zeigt Bild 3. Aufgetragen ist für alle Meßpunkte und Sprengungen die Größe der gemessenen Schwinggeschwindigkeit  $v_i$  (größte aufgetretene Einzelkomponente der Schwingungskomponenten  $v_x$ ,  $v_y$  und  $v_z$ ) in Abhängigkeit von der Entfernung  $r$  des Meßpunktes zur Sprengstelle. Im allgemeinen brachte die

vertikale Komponente  $v_z$  die größten Werte. Die Größe der Sprengladung ist hier noch nicht berücksichtigt.

Für die Auswertung der Meßergebnisse wurde eine gewisse Auswahl der Meßwerte getroffen. Meßpunkte, die keinen Bauwerksmeßpunkt darstellen, wurden nicht berücksichtigt. Ebenso sind Meßwerte, die auf Grund einer abschirmenden Wirkung (s. Bild 7) herausfallen, nicht für die Parameterbestimmung herangezogen worden.

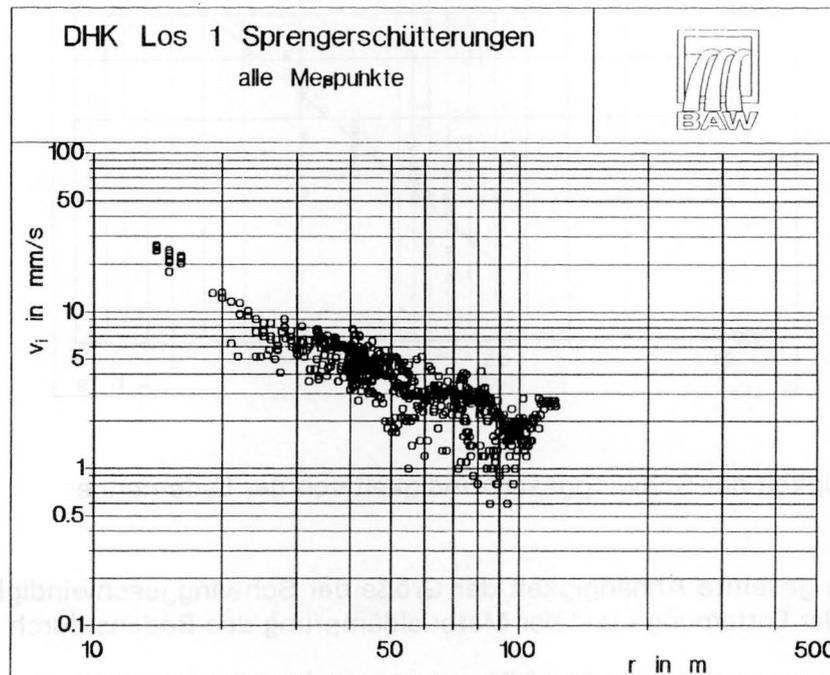


Bild 3 Ergebnisse der Messungen

#### 4.2.1 Einfluß der Entfernung und der Lademenge

Mit zunehmendem Abstand  $r$  von der Sprengstelle verringert sich die Größe der Schwinggeschwindigkeit infolge der geometrischen Dämpfung mit dem Abstand (Verteilung der Erschütterungsenergie auf ein immer größer werdendes Bodenvolumen bzw. eine Halbraumoberfläche,  $v \sim r^{-n}$ ) sowie der Bodendämpfung ( $v \sim e^{-\alpha r}$ , Abklingkoeffizient  $\alpha \approx 2 \cdot \pi \cdot D / \Lambda$ ,  $D$  = Dämpfungskonstante,  $\Lambda$  = Wellenlänge):

$$v_i \sim r^{-n} \cdot e^{-\alpha r}$$

Die statistische Auswertung einer großen Zahl von Sprengerschütterungsmessungen [1] sowie eigene Ergebnisse zeigen, daß zwischen der Schwinggeschwindigkeit  $v_i$  der Sprengerschütterung und der eingesetzten Lademenge  $L_w$  (maximale Lademenge je Zündstufe oder Gesamtladung bei Momentzündung) der Zusammenhang

$$v_i \sim L_w^{0,6}$$

besteht. Dies hat sich auch hier bestätigt (Bild 4).

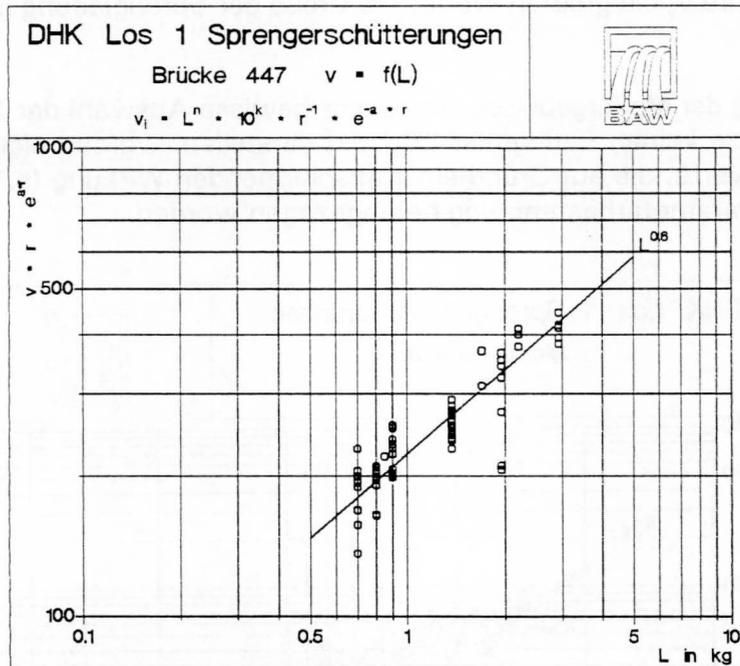


Bild 4 Abhängigkeit der Schwinggeschwindigkeit von der Lademenge

Damit kann die gesamte Abhängigkeit der Größe der Schwinggeschwindigkeit  $v_i$  von der Lademenge  $L$ , der Entfernung  $r$  und der Materialdämpfung des Bodens durch die Beziehung

$$v_i = 10^k \cdot (L/L_0)^{0,6} \cdot (r/r_0)^{-n} \cdot e^{-\alpha \cdot (r-r_0)} \cdot 1 \text{ mm/s}$$

ausgedrückt werden ( $r_0 = 1 \text{ m}$ ,  $L_0 = 1 \text{ kg}$ ). Für punktförmige impulsartige Erschütterungsquellen ist nach [2] für das Fernfeld  $n = 1$ .

#### 4.2.2 Statistische Auswertung

Zur Bestimmung der Koeffizienten des Ausbreitungsgesetzes wird zunächst der Einfluß der Lademenge eliminiert. Die auf die Lademenge bezogene Schwinggeschwindigkeit ist dann nur noch von den Ausbreitungsparametern  $k$ ,  $r$  und  $\alpha$  abhängig:

$$v_i/L^{0,6} = 10^k \cdot r^{-1} \cdot e^{-\alpha r}$$

Der Dämpfungskoeffizient  $\alpha$  und die Größe  $10^k$  kann aus der Beziehung

$$r_j \cdot v_{i,j} / L_j^{0,6} = 10^{k_j} \cdot e^{-\alpha r_j}$$

durch exponentielle Regression erhalten werden, die Größe  $k_j$  der Einzelereignisse ist zusätzlich aus

$$k_j = \lg(v_{i,j}) - 0,6 \cdot \lg(L_j) + \lg(r_j) + 0,4343 \cdot \alpha \cdot r_j$$

zu errechnen ( $j = \text{Index der einzelnen Sprengung}$ ).

Mit Hilfe des für  $k$  errechneten Mittelwertes und der Standardabweichung  $\sigma_{n-1}$  kann bei Vorliegen einer Normalverteilung der Meßwerte die Wahrscheinlichkeit gegen Überschrei-

tung (z.B. 95%:  $k + a_1 \cdot \sigma_{n-1}$  oder 99%:  $k + a_2 \cdot \sigma_{n-1}$ ) für den gefundenen Zusammenhang angegeben werden. Die Größe von  $a_1$  und  $a_2$  hängt wegen der statistischen Unsicherheit der Standardabweichung auch von der Zahl der Vorgänge ab [3].

Bild 5 zeigt oben den ermittelten k-Wert und unten die Größe der verwendeten Lademenge in Abhängigkeit von der Entfernung r. Es ist erkennbar, daß keine signifikante Abhängigkeit zwischen k und L bzw. r besteht, der Einfluß der Lademenge und Entfernung also richtig beschrieben wurde.

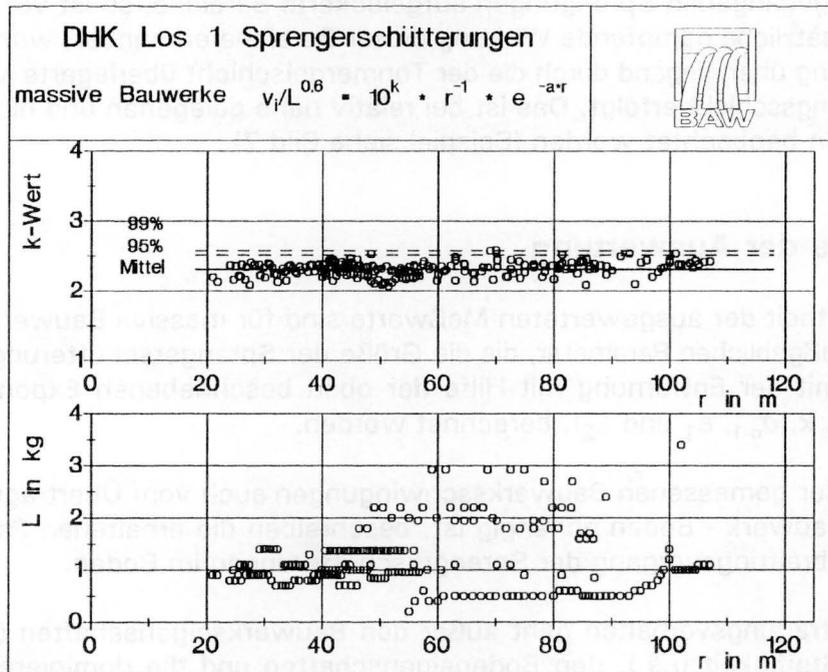


Bild 5 k-Wert und eingesetzte Lademenge

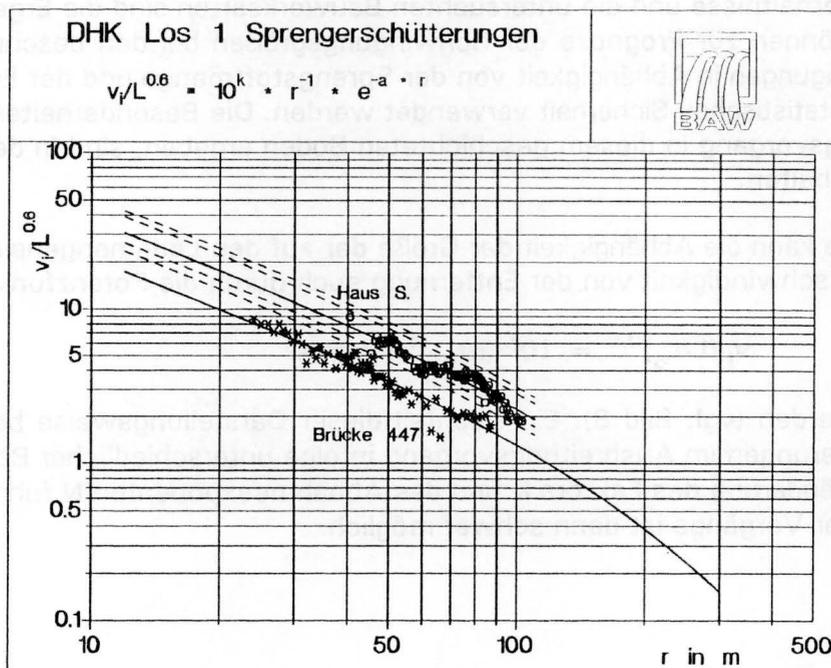


Bild 6 Unterschied massives Bauwerk und leichtes Gebäude

Die Größe  $k$  kann mit den Baugrundverhältnissen im jeweiligen Sprengbereich verglichen werden, um Aufschlüsse über die Umsetzung der Sprengenergie in Erschütterungen für die jeweils örtlich vorhandene Baugrundsituation zu erhalten. In stärkerem Maße als durch die sich in Los 1 nur relativ wenig ändernden Baugrundverhältnisse wurde die Größe  $k$  jedoch durch das Bauwerk bestimmt, an dem sich der Meßpunkt befand. Hier ist zumindest die Unterscheidung in schwere, massive Bauwerke (Türme Sperrtor, Brückenwiderlager) und leichte Bauwerke (Wohnhäuser, Bootshaus u.ä.) angebracht (Bild 6). Auch die Lage der Sprengstelle zum Bauwerk kann einen Einfluß haben. Bewegt sich die Sprengung an dem Bauwerk vorbei, liegen beim Entfernen also zwischen Bauwerk und Sprengstelle bereits durch die vorangegangenen Sprengungen aufgelockerte Bereiche, so ist vor allem im Nahbereich eine zusätzliche dämpfende Wirkung dieser Bereiche erkennbar, wenn die Schwingungsübertragung überwiegend durch die der Tonmergelschicht überlagerte Verwitterungs- und Aufschüttungsschicht erfolgt. Das ist bei relativ nahe gelegenen und nicht tiefgegründeten Gebäuden beobachtet worden (Beispiel siehe Bild 7).

## 5 Ergebnisse der Auswertung

Aus der Gesamtheit der ausgewerteten Meßwerte sind für massive Bauwerke und leichte Gebäude die maßgeblichen Parameter, die die Größe der Sprengerschütterungen und deren Verringerung mit der Entfernung mit Hilfe der oben beschriebenen Exponentialfunktion beschreiben ( $\alpha$ ,  $k$ ,  $\sigma_{n-1}$ ,  $a_1$  und  $a_2$ ), berechnet worden.

Da die Größe der gemessenen Bauwerksschwingungen auch vom Übertragungsverhalten des Systems Bauwerk - Boden abhängig ist, beschreiben die erhaltenen Parameter nicht den reinen Ausbreitungsvorgang der Sprengerschütterungen im Boden.

In dieses Übertragungsverhalten geht außer den Bauwerkseigenschaften (Masse, Gründungsfläche, Steifigkeit u.ä.), den Bodeneigenschaften und die dominierende Frequenz auch die Anregungsdauer der Bodenschwingungen ein. Letztere ist unter anderem von der Entfernung zur Quelle abhängig und führt häufig mit zunehmender Dauer auch zu einer Vergrößerung der durch das Bauwerk übernommenen Bodenschwingungen. Für die gegebenen Baugrundverhältnisse und die untersuchten Bauwerksarten sind die Ergebnisse repräsentativ und können zur Prognose der Schwingungsgrößen bei den beschriebenen Auflockerungssprengungen in Abhängigkeit von der Sprengstoffmenge und der Entfernung mit der gewählten statistischen Sicherheit verwendet werden. Die Besonderheiten, die sich für den Ausbreitungsvorgang in diesem geschichteten Boden ergeben, sind in den ermittelten Parametern enthalten.

Näherungsweise kann die Abhängigkeit der Größe der auf den Lademengeneinfluß bezogenen Schwingungsgeschwindigkeit von der Entfernung auch durch die Potenzfunktion

$$v_i/(L/L_0)^{0,6} = 10^K \cdot (r/r_0)^{-N} \cdot 1 \text{ mm/s}$$

ausgedrückt werden (vgl. Bild 8). Ein Nachteil dieser Darstellungsweise besteht jedoch darin, daß Änderungen im Ausbreitungsvorgang infolge unterschiedlicher Baugrundeigenschaften zu Veränderung des Faktors  $K$  und des Abnahmeexponenten  $N$  führen. Ein direkter Vergleich der Vorgänge ist dann schwer möglich.

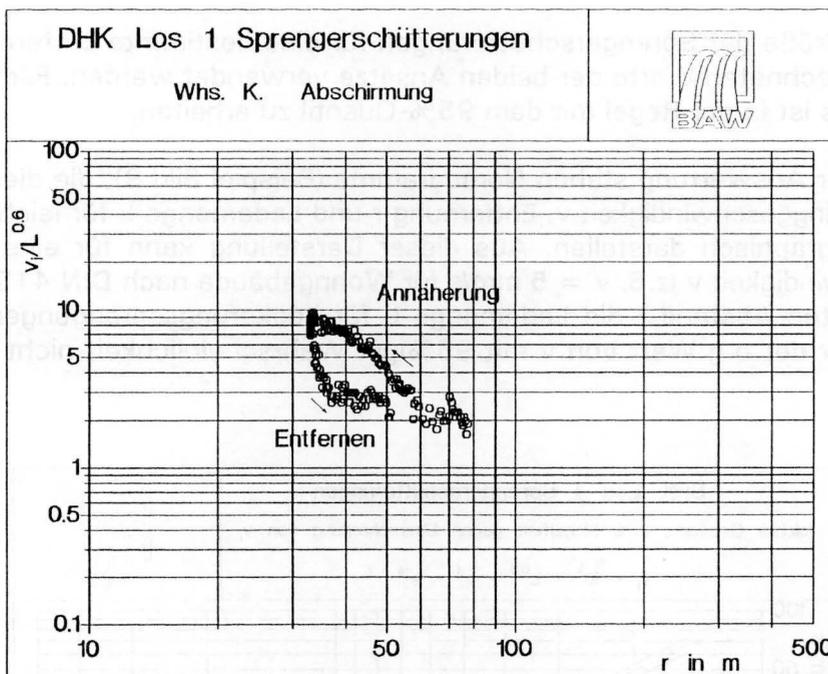


Bild 7 Einfluß aufgelockerter Bereiche im Übertragungsweg

Vorteilhaft ist die Potenzfunktion zur gleichzeitigen Beschreibung der Vorgänge sowohl für den Fern- als auch den Nahbereich der Sprengung, für die nach dem o.g. exponentiellen Zusammenhang zwei Funktionen mit unterschiedlichen Koeffizienten  $n$  anzusetzen wären.

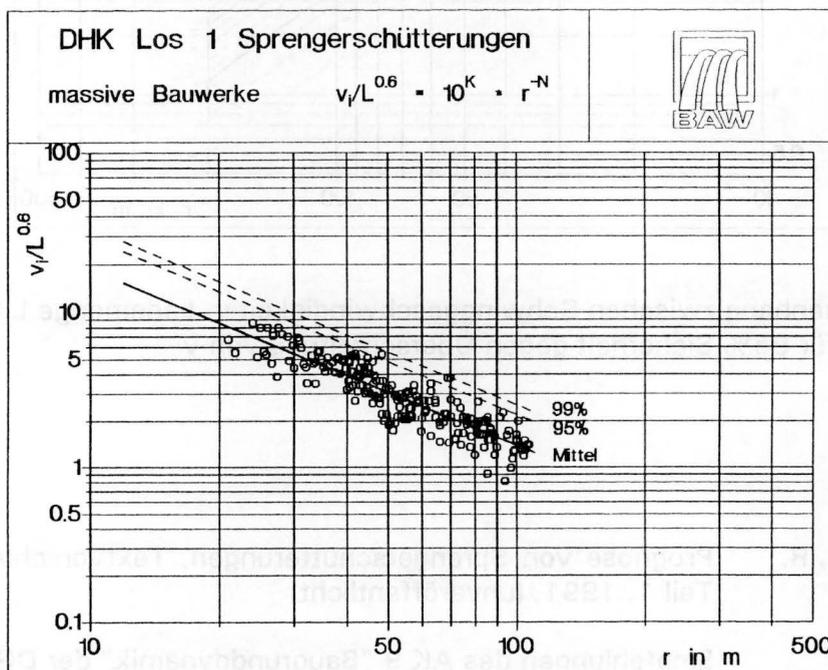


Bild 8 Darstellung als Potenzfunktion

## 6 Anwendungsmöglichkeit

Die exponentiellen und potentiellen Ansätze zur Beschreibung des Abnahmevorganges der Bauwerksschwingungen mit der Entfernung unterscheiden sich voneinander vor allem im Nahbereich der Sprengung und in großen Entfernungen. Zur Erhöhung der Sicherheit der

Prognose der Größe der Sprengerschütterungen für eine bestimmte Entfernung sollte der größere der errechneten Werte der beiden Ansätze verwendet werden. Für die Sicherung eines Gebäudes ist in der Regel mit dem 95%-Quantil zu arbeiten.

Im Ergebnis der Auswertung stehen Nomogramme (Beispiel Bild 9), die die Abhängigkeit zwischen Schwinggeschwindigkeit  $v$ , Entfernung  $r$  und Lademenge  $L$  für leichte und massive Bauwerke graphisch darstellen. Aus dieser Darstellung kann für eine vorgegebene Schwinggeschwindigkeit  $v$  (z.B.  $v = 5$  mm/s für Wohngebäude nach DIN 4150, Teil 3) und einen bestimmten Abstand  $r$  die Lademenge  $L$  für Lockerungssprengungen entnommen werden, bei der der o.g Wert von  $v$  mit 95%iger Wahrscheinlichkeit nicht überschritten wird.

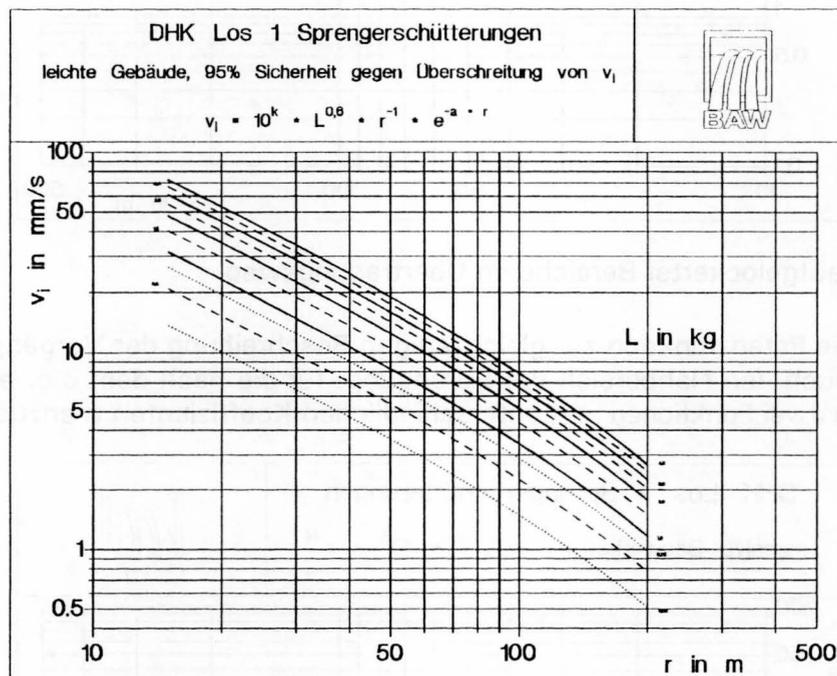


Bild 9 Zusammenhang zwischen Schwinggeschwindigkeit  $v$ , Lademenge  $L$  und Abstand  $r$  für 95% Sicherheit gegen Überschreitung von  $v$

## 7 Literatur

- [1] Lüdeling, R. Prognose von Sprengerschütterungen, Textvorschlag DIN 4150, Teil 1, 1991, (unveröffentlicht)
- [2] Empfehlungen des AK 9 "Baugrunddynamik" der DGEG, Bautechnik 69, (1992), H. 9, S. 518 - 534
- [3] Hultsch, E. Ausgleichsrechnung, Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G., Leipzig, 1971