

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Article, Published Version

**Kunzelmann, H.; Schäffner, Hans-Joachim; Tölle, L.**

## **Horizontale Belastungsversuche mit verschiedenen Systemen von Stahldalben**

Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau; Schriftenreihe Wasser- und Grundbau

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/106219>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Kunzelmann, H.; Schäffner, Hans-Joachim; Tölle, L. (1985): Horizontale Belastungsversuche mit verschiedenen Systemen von Stahldalben. In: Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau; Schriftenreihe Wasser- und Grundbau 47. Berlin: Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau. S. 155-175.

### **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.



71 DK 627.341,3  
: 691.774

Dalben  
: Stahl

Horizontale Belastungsversuche mit verschiedenen Systemen  
von Stahldalben

Dipl.-Ing. H. Kunzelmann  
Dr. rer. nat. H.-J. Schöffner  
Dipl.-Ing. L. Tölle

Beitrag zum XXV. Internationalen Schiffahrtskongreß,  
Edinburgh 1981

## 1. Aufgabenstellung

Im Rahmen des Forschungsthemas "Neue Dalbenkonstruktionen" / 8 / sollte mit Hilfe genauer Dehnungs- und Verformungsmessungen der Kräfteverlauf in Stahldalben analysiert und mit einem neuen Berechnungsmodell / 11 / verglichen werden. Dies wurde vor allem deshalb erforderlich, weil die rahmenähnliche Konstruktion des Vierpfahldalbens durch die bisher üblichen Berechnungsmodelle nicht oder nicht zutreffend erfaßt wurde.

Vordringliches Ziel des durchzuführenden Großversuches im Maßstab 1 : 1 war es, im ökonomischen Interesse einen umfassenden Aufschluß über Tragverhalten, Schwachstellen und Reserven speziell für den Vierpfahldalben zu gewinnen. Darüber hinaus sollten die Ergebnisse wissenschaftlich verallgemeinert werden. Hierzu dienten auch die zusätzlichen Messungen der Eigenfrequenzen.

An der Vorbereitung und Durchführung des Großversuches waren folgende Betriebe und Institutionen beteiligt:

Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau  
- Theorie, Versuchsauswertung -

VEB Projektierungsbetrieb für Wasserstraßen  
- Thementräger, Projektbearbeiter -

Deutsche Reichsbahn, Versuchs- und Entwicklungsstelle für den Oberbau, Brücken und Hochbau  
- Dehnungsmessungen -

VEB Wasserstraßenbau Magdeburg  
- Rammarbeiten -

VEB IBK Rostock  
- Stahlbauarbeiten -

Wasserstraßenamt Magdeburg  
- Verschiebungsmessungen -

## 2. Versuchsstandort und Baugrundsituation

Der Versuchsstandort am Ufer eines Binnenschiffahrtskanales besitzt folgende Merkmale:

- a) das Rammplanum liegt in Höhe des Kanalwasserspiegels
- b) ab Rammplanum steht gleichförmig gelagerter mitteldichter Mittelsand an

(Kennwerte: Tab. 1, Sondier-Diagramm, Bild 1)

### 3. Versuchsaufbau

Typ und Abmessung der Dalben sind aus Bild 2 ersichtlich. Es werden im folgenden nur die Versuche am Einpfahl- und am Vierpfahldalben diskutiert. Im Bericht / 8 / sind zusätzlich die Versuche mit der Ankerwand dargestellt. Weiter enthält / 8 / die Auswertung eines Zugversuches mit einem ausmittig belasteten Dreipfahldalben, die unter Einbeziehung der Torsion für das räumliche System erfolgt. Der Vierpfahldalben wurde nach Rammung der Pfähle durch zwei starre Verbände IPE 360 ausgesteift. Als Meßwertaufnehmer wurden Dehnungsmeßstreifen (DMS) vom Typ Wg 30/2 (Widerstand  $R_{DMS} = 297 \Omega$  k-Faktor  $(\frac{R}{R} : \frac{\Delta l}{l}) = 2,08$  eingesetzt (Kleber: Schnellklebstoff X 60).

Gegen Feuchtigkeitseinflüsse wurden die aufgeklebten DMS (aktiv und passiv) mit Abdeckkitt AK 22 geschützt. Nach dem Anbringen der DMS wurden Schutzkappen / 10 / über den gesamten Lamellenbereich angeschweißt. Der Anschluß an die Universalmeßeinrichtungen UM 131 erfolgte über Hf-Kabel des Typs 7063.1.

Zur Schwingungsmessung wurde ein Lichtstrahloszilligraph 12 LS-1 benutzt. Für die Verformungsmessungen standen außer den 2 Stück UM 131 zur Verfügung: 2 Meßstellenumschalter MU 121, 2 Abgleichgeräte AG 131, 2 Digitalvoltmeter DVM 4014, 2 Meßwertumsetzer, 2 Meßwertdrucker, 2 Informationsverstärker, sowie 2 Meßwertlochsysteme. Zur weiteren Meßwertverarbeitung diente ein Kleinrechner MTR-I.

Die Lasteintragung erfolgte mittels zweier parallel gekoppelter hydraulischer Arbeitszylinder 180/110 x 1250 mit  $2 \cdot 407 = 814$  kN Gesamtzugkraft. Die Arbeitszylinder stützten sich gegen die Doppelgurtung der Ankerwand. Die Längsträger des Zugbandes wurden über und unter der Gurtung durch ent-

Tabelle 1

Erdart		SE : SN : Sm - Sg
$\gamma_n$	kN/m <sup>3</sup>	17
$\gamma_a$	kN/m <sup>3</sup>	11
$I_D$	-	0,33
$E_v^*$	MN/m <sup>2</sup>	40
$E_v$	MN/m <sup>2</sup>	60
$\phi$	grad	33
$\delta$	grad	11

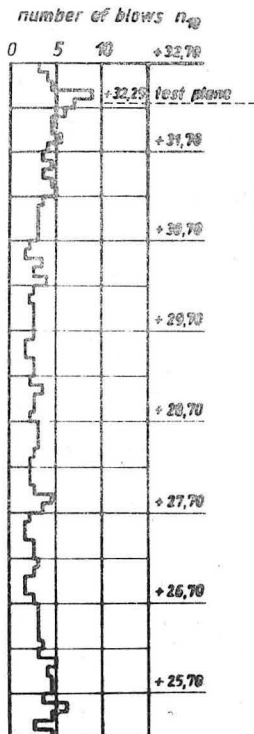


Abb. 1

Sondier-Diagramm, leichte Baumwolle

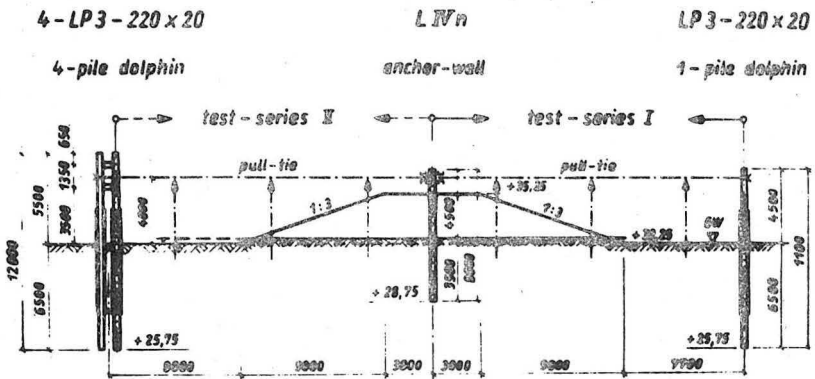


Abb. 2

Versuchsanordnung, Schnitt

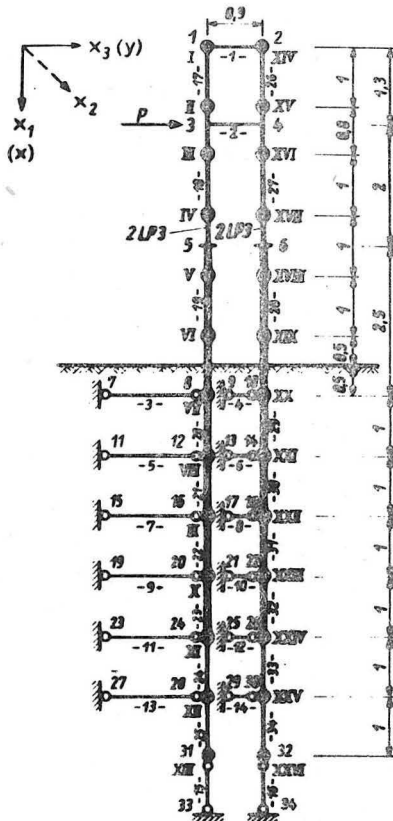


Abb. 3

Statisches und Dynamisches  
 Testsystem, Vierpfahldolben

sprechende Aussparungen der Ankerwand gezogen.

Am dalbenseitigen Ende des Zugbandes konnte wahlweise die Ausklinkvorrichtung oder die Traverse für den statischen Versuch montiert werden. An den Dalben waren in 1 m und 4 m Höhe über Planum horizontale Meßplatten befestigt, sowie an jedem Pfahl eine vertikale Meßplatte.

Alle Verschiebungen wurden von einer Seite durch Theodoliten und Nivellierinstrumente abgelesen. Die Ablesung erfolgte gleichzeitig mit der Dehnungsmessung nach jeder Laststufe. Die Belastung wurde kontinuierlich mit einer Handpumpe über die Hydraulikzylinder aufgebracht. Der Pumpvorgang wurde lediglich für die Zeitdauer der Ablesung unterbrochen.

#### 4. Versuchsdurchführung

##### 4.1. Einzelpfahl

Bei einer Belastung von 20 kN wurde die Zugvorrichtung ausgeklinkt und die Eigenfrequenz des Pfahles bestimmt. Anschließend wurde der Pfahl erneut belastet, diesmal in 23 Stufen bis kurz vor dem Erreichen der Fließgrenze bei 250 kN. Bei jeder Laststufe wurde der Pumpbetrieb für die Zeitdauer der Meßwertregistrierung (optisch und elektronisch) unterbrochen (im Mittel drei Minuten). Der gesamte Belastungszyklus dauerte ca. 90 Minuten.

##### 4.2. Vier-Pfahl-Dalben

Die Zugvorrichtung wurde bei einer Belastung von 100 kN ausgeklinkt und die Eigenfrequenz gemessen.

Nach Umrüstung der Zugvorrichtung fand der statische Versuch am folgenden Tag statt. Zunächst wurde die Belastung in vier Stufen von je 100 kN eingetragen. Anschließend folgen noch sieben Laststufen von je 50 kN bis zur Endbelastung von 750 kN. Der gesamte Belastungszyklus dauerte einschließlich der ca. 3 minutigen Pausen für die Meßwertregistrierung ca. 50 Minuten.

## 5. Versuchsauswertung

### 5.1. Statische und dynamische Ersatzsysteme

Allen Untersuchungen liegt ein Stabwerk als Modell zugrunde, das sich aus dem in Stababschnitte untergliederten Tragwerkssystem und den für die Wechselwirkung mit dem Baugrund maßgeblichen Koppelstäben zusammensetzt, die das Tragwerk mit den Aufliegerknoten verbinden (Bild 3).

Mit Hilfe des Programms / 1 / wird entsprechend der in / 11 /, / 12 /, / 13 / entwickelten Verfahrensweise jedem Koppelstab zusätzlich zu seiner Dehnsteifigkeit eine axiale Grenzkraft zugeordnet, deren Größe z. B. durch den Erdwiderstand oder die Grenzzugkraft eines Pfahles definiert wird.

Ist die Grenzkraft erreicht, so wird die Kopplung plastifiziert. Eine weitere Verschiebung erfolgt dann bei konstanter Kraft. Für die Berechnung der Eigenschwingungen werden die Ersatzstabsysteme durch Punktmassen ergänzt, die in konstanten Abständen längs der Pfahlachsen angeordnet sind. Die Berechnung erfolgt zunächst für die statische Auslenkung nach / 1 /. Anschließend wird die Eigenfrequenz für das in der Nähe der Geländeoberfläche entkoppelte System nach / 2 / ermittelt.

### 5.2. Eingabewerte

Die zur Berechnung der Bettungszahlen und der Erdwiderstandsprofile benutzten Baugrundkennwerte enthält Tabelle 1. Der Übergang von der Steifenzahl  $E_v$  zu  $E_v^*$  entspricht der beim Rammen zu erwartenden Verdichtung des Baugrundes in der unmittelbaren Umgebung des Pfahlschaftes. Im weiteren Umkreis bleibt die ursprüngliche Lagerung und damit auch der für die Ausbildung der Gleitflächen maßgebliche Reibungswinkel  $\phi$  erhalten. Die Federkonstante der horizontalen Stützstäbe eines Pfahles mit dem Durchmesser  $d$  ist

$$k = c_b \cdot d \cdot \Delta h \quad (1)$$

Mit der Definitionsgleichung der Bettungszahl

$$c_b = \frac{E_v^*}{d} \quad (2)$$



Tabelle 2

Dalbentyp	$h_i$	$k_0$	$\lambda_{pri}$	$e_{pri}$
	m	-	-	kN/m
1 IP 3-220x20 (b = 0,4 m)	0,5	0,8	18	50
	1,5	0,3	14	320
	2,5	0,2	13	810
4 IP 3-220x20 (b = 1 m)	0,5	2,0	27	70
	1,5	0,7	18	450
	2,5	0,4	15	1030
	3,5	0,3	14	1890

aus / 5 / wird

$$k = E_V \cdot \Delta h \quad (3)$$

( $\Delta h$  = vertikaler Abstand zweier Stützstäbe).

Der räumliche Erdwiderstand wird nach / 9 / berechnet, wobei entsprechend der nach der Tiefe zu fortschreitenden Mobilisierung der horizontalen Grenzspannungen von einem variablen Seitenverhältnis  $k = b/h$  ausgegangen wird (b-Breite des Pfahles bzw. des Dalbens h-Tiefe unter Geländeoberkante). Zahlenwerte siehe Tabelle 2. Die Grenzstützkräfte der horizontalen Stützstäbe sind:

$$N_{Gi} = e_{pri} \cdot \Delta h \quad (4)$$

( $e_{pri}$  - räumliche Erdwiderstandsordinate in der Tiefe  $h_i$ ).

Die Grenzzugkraft eines Rampaufhahles ist nach / 14 /

$$Z_G = K_R \cdot U \cdot L \cdot q_R \quad (5)$$

( $K_R$  - Korrekturfaktor

U - Pfahlumfang bzw. Umfang der Bruchfigur bei Pfählen aus Profilstahl

L - Einbindelänge

$q_R$  - Mantelreibungskoeffizient)

Im vorliegenden Fall wird

$$Z_G = 1,0 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 6,5 \cdot 40 = 326 \text{ kN}$$

Der Stützstab Nr. 15, der die axiale Kopplung von zwei LP 3-Pfählen mit dem Baugrund bewirkt, besitzt die Grenztützkraft für Zugbelastung

$$N_G = - 2 Z_G$$

Die Federkonstanten für den elastischen Bereich der axialen Kopplung sind

$$k_{15;16} = 2 C_0 \quad (6)$$

wobei nach / 10 /

$$C_0 \approx 1 \cdot 10^5 \text{ kN/m}$$

geschätzt wird.

Für die Stababschnitte des Rahmendalbens gilt:

$$I_{17;18;24...28;33;34} = 2 I (\text{LP 3}) = 0,0005 \text{ m}^4$$

$$I_{19...23;28...32} = 2 (I (\text{LP 3}) + 2 \cdot ab \cdot y^2)$$

$$= 2 (0,00025 + 2 \cdot 0,22 \cdot 0,02 \cdot 0,17^2) = 0,001 \text{ m}^4$$

Die Gewichtsanteile sind:

$$\text{LP 3} \quad p = 1,24 \text{ kN/m}$$

$$2 \text{ Zusatzlamellen } P_L = 2 \cdot 0,22 \cdot 0,02 \cdot 78 \text{ kN/m}$$

$$2 \text{ Schutzkappen } P_K = (2 \cdot 0,1 \cdot 0,01 + 4 \cdot 0,01 \cdot 0,05) 78 \\ = 0,31 \text{ kN/m}$$

$$p + P_L + P_K = 2,24 \text{ kN/m}$$

$$p + P_K = 1,55 \text{ kN/m}$$

Die Massen sind als Punktmassen in regelmäßigen Abständen von je 1 m angeordnet.

Beim Vierpfahldalben wird zu den Massen Nr. I;II;XIV;XV jeweils noch die halbe Masse einer der beiden Aussteifungen addiert.

Montagegewicht einer Aussteifung I PE 360  $G_1 = 1,3 \text{ kN}$ ; Blechkappe  $G_2 = 0,8 \text{ kN}$

Umrechnung:  $10 \text{ N} \approx 9,8 \text{ m kgs}^{-2}$

## 6. Ergebnisse

### 6.1. Statische Auslenkversuche

Gemessene und berechnete Last-Verschiebungs- und Verschiebungsverdrehungslinien werden in Bild 4 und 5 gegenübergestellt. Die Berechnung erfolgte im Rahmen der Versuchsplanung allein aufgrund der in Tabelle angegebenen Erdstoffkennwerte. Das Arbeitsvermögen eines Dalbens ist

$$A = \int Pdw \quad (7)$$

Setzt man die für eine grafische Ausgleichung brauchbare Näherungsparabel

$$P = aw^b \quad (8)$$

in (7) ein, dann folgt

$$A = a \int w^b dw = \frac{aw^{b+1}}{b+1} \quad (9)$$

Für den Vierpfahldalben wird

$$A = \frac{1700 \cdot 0,141^{1,58}}{1,58} = 49 \text{ kN/m}$$

Die recht gute Übereinstimmung mit dem nach ELUM in / 7 / ausgewiesenen Arbeitsvermögen  $A_R = 44 \text{ kN/m}$  erklärt sich dadurch, daß die Verschiebung des Lastangriffspunktes im vorliegenden Fall im wesentlichen eine Folge der elastischen Durchbiegung  $w_{el}$  des Dalbens ist.

Der reine Verdrehungsanteil  $w_\varphi$ , der nach / 7 / nicht erfaßt wird, ist demgegenüber klein.

Man erhält z. B. für  $P = 500 \text{ kN}$

$$\begin{aligned} w_{3\varphi} &= \varphi_{31} \cdot l = 0,0007 \cdot 1050 = 0,74 \text{ cm} \\ w_{3el} &= w_3 - w_{3\varphi} = 14,02 - 0,74 = 14,18 \text{ cm} \\ w_{3\varphi}/w_{3el} &= 0,052 \end{aligned}$$

(Index-Zahlen entsprechen den Knotennummern in Bild 3).

Die Situation ändert sich jedoch grundlegend, wenn man als Gegensatz einen vergleichsweise starren Stab oder einen Stab gleicher Steifigkeit aber mit geringer Einbindelänge im Baugrund betrachtet.

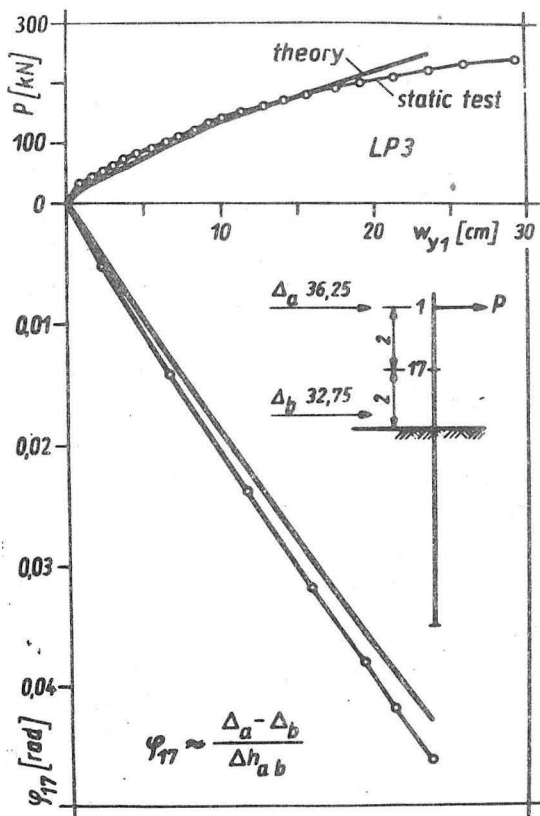


Abb. 4 Last-Verschiebungs- und Verschiebungs-Verdrehungsbeziehungen für den Fingehldalben

—○—○—○— gemessen

———— berechnet

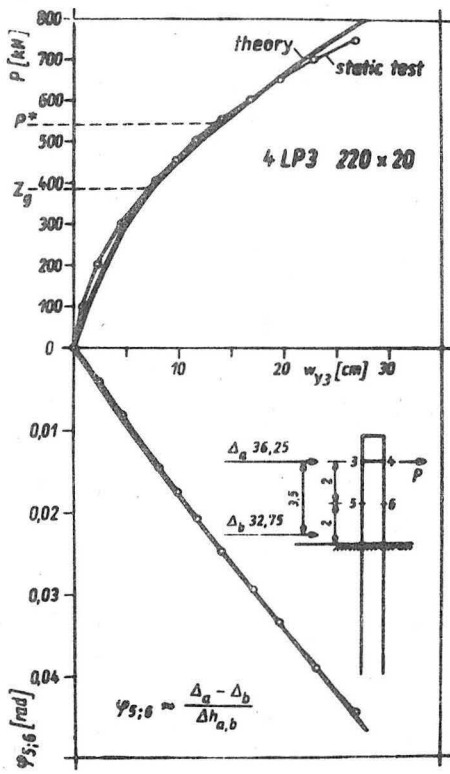


Abb. 5 Beziehungen wie in Bild 4 für den Vierfeld-  
 dalben

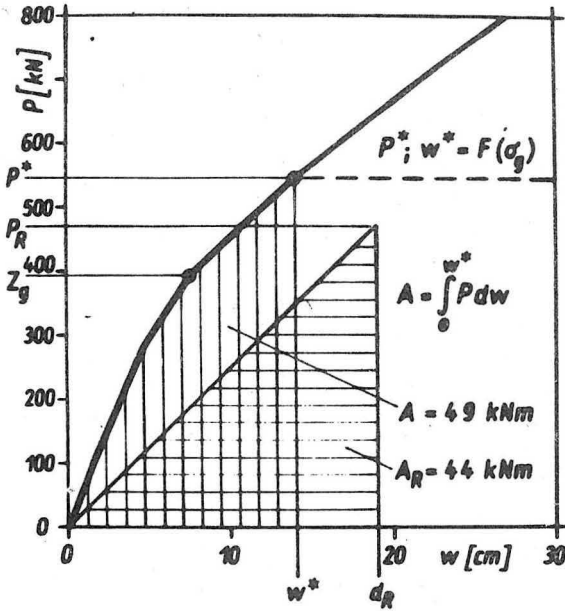


Abb. 6 Last-Verschiebungsbeziehung und Arbeitsvermögen  $A$  des Vierpfahldalbens

$A$  - berechnet aus nichtlinearer Funktion  $P(w)$   
 $A_R$  - berechnet nach / 7 /

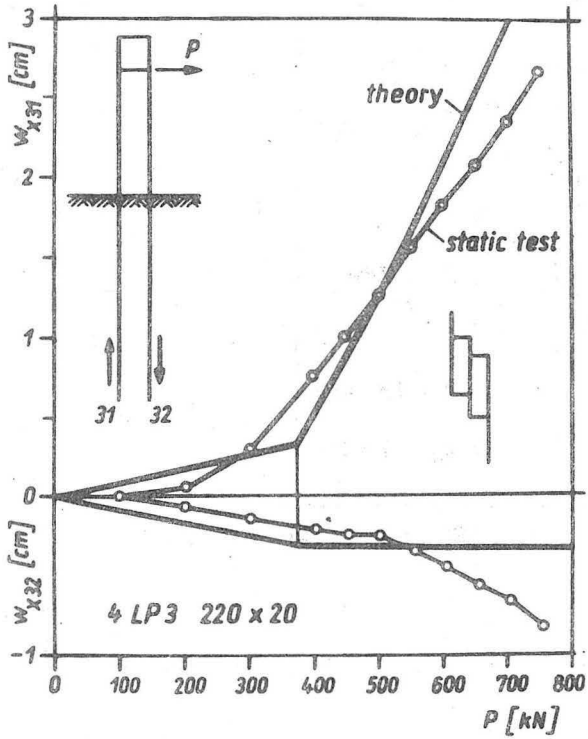


Abb. 7 Last-Hebungs- und Lastsetzungsbeziehungen für den Vierpfahlbalben (Messung und Berechnung)

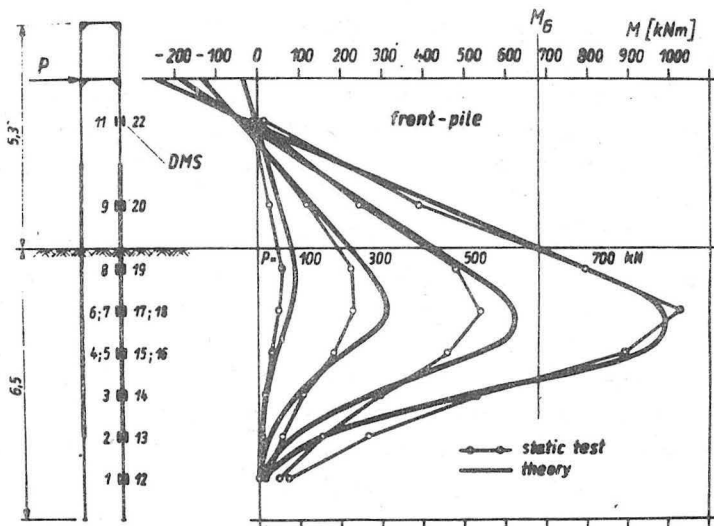


Abb. 8 Verteilung der Biegemomente für den vorderen Pfahl des Vierpfahldalkens (Messung und Berechnung)

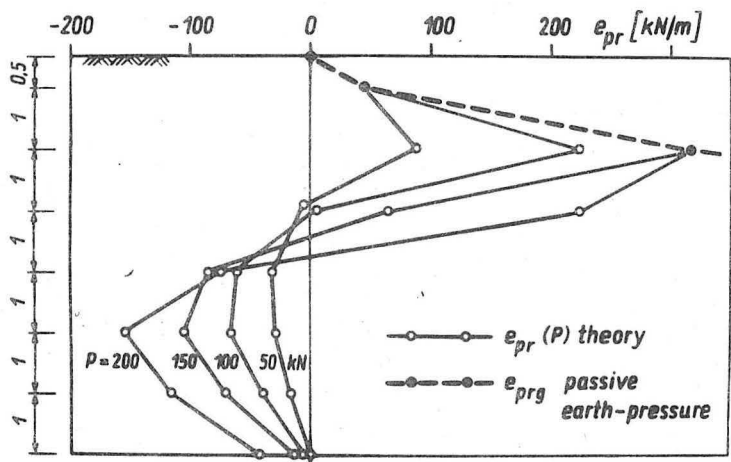


Abb. 9 Räumlicher Erdwiderstand und horizontale Druckspannungen beim Vierpfahldalken für verschiedene Laststufen



Das Verfahren nach BLUM liefert in den letztgenannten Fällen zu kleine Verschiebungen und führt zu einer Unterschätzung des Arbeitsvermögens. Mit den Mängeln des Verfahrens nach BLUM, die bei der Berechnung der Bewegungsgrößen für freistehende Spundwände besonders deutlich zu erkennen sind, befaßt sich auch / 11 /.

Eine charakteristische Besonderheit des Versuches mit dem Vierpfahldalben stellt die Mobilisierung der Grenzzugkraft der hinteren Pfähle noch vor der Ausschöpfung des Arbeitsvermögens dar, die durch unser Modell im wesentlichen richtig erfaßt wird (Bild 7). Der Vergleich der gemessenen und berechneten Biegemomentenverteilungen ergibt ebenfalls eine gute Übereinstimmung (Bild 8). Charakteristisch ist die mit zunehmender Belastung auftretende Verlagerung des Biegemomentenmaximums in größere Tiefe, die eine Folge der fortschreitenden Plastifizierung des Baugrundes darstellt. Man erhält einen Einblick in den Mechanismus der Erdwiderstandsmobilisierung, wenn man die Verteilungen der horizontalen Bodendruckspannungen mit dem theoretisch möglichen Verlauf des passiven Erddrucks vergleicht, wie in Bild 9 gezeigt wird.

## 6.2. Eigenfrequenzen

Eine Gegenüberstellung der gemessenen und berechneten Eigenfrequenzen enthält Tabelle 3. Die Berechnung erfolgte zunächst für den rein elastischen Fall mit dreieck- oder rechteckförmigen Bettungsverteilungen, die sich von der Geländeoberkante bis zum Pfahlfuß erstrecken. Man ersieht aus dem Vergleich mit den Meßwerten, daß die Dreieckverteilungen durchweg zu niedrige Eigenfrequenzen liefern. Beim Ansatz einer Rechteckverteilung erreicht die berechnete Eigenfrequenz jedoch bereits den Meßwert, wenn das Verhältnis  $E_v^{dyn}/E_v^{stat} \approx 0,5$  vorgegeben wird.

Im Regelfall gilt demgegenüber  $E_v^{dyn} \geq E_v^{stat}$ , so daß eine andere theoretische Bedeutung erforderlich ist.

Wir gehen hierbei davon aus, daß sich bei der statischen Vorbelastung vor dem Ausklinken bereits rechnerisch eine Plastifizierung der horizontalen Kopplung in Nähe der Geländeoberkante nachweisen läßt. Diese Tatsache ist für die Interpretation der Schwingungsversuche von Bedeutung, da durch die Mobilisierung des Erdwiderstandes die elastische Kopplung des Pfahles mit dem Baugrund verloren geht.

Tabelle 3

N	$l_e^{eff}$	$l_f^{eff}$	$E_v^{dyn}(t)$	$f_o^{th}$	$f_o^m$	Modell
-	m	m	MN/m <sup>2</sup>	Hz	Hz	
1	6,5	4,5	0 - 70	10,4	11,5	elast
			35	12,5		
			70	13,9		
1	6,5	5,5	0 - 70	8,2	9,0	elast
			35	9,6		
			70	10,4		
4	6,5	5,5	0 - 70	8,1	10,4	elast
			35	10,2		
			70	11,1		
			140	11,9		
1	5,5	5,5	60	10,1	11,5	el.pl
1	5,5	6,5	60	8,0	9,0	el.pl
4	5,5	6,5	60	8,6	10,4	el.pl

- $l_e^{eff}$  - effektive Einbindelänge
- $l_f^{eff}$  - effektive Freilänge
- $E_v^{dyn}$  - Dynamische Steifenzahl als Funktion der Tiefe
- $f_o^{th}$  - Eigenfrequenz (1. Harmonische) berechnet
- $f_o^m$  - Eigenfrequenz gemessen

Zu entsprechenden Schlüssen gelangte bereits ELMIGER / 3 / aufgrund von Schwingungsversuchen mit einem 1,85 m langen Modellpfahl in trockenem Sand.

Er führt dazu aus:

"Der dynamische Erdruck ist in dem Abschnitt des Pfahles oberhalb des Punktes, an dem die Amplitudenfunktion des Stabes eine kritische Verschiebung annimmt, dauernd Null. Im Abschnitt unterhalb dieses Punktes ist der Stab dauernd an den Baugrund gekoppelt."

Unsere Tabelle 3 enthält dementsprechend auch eine Lösungsvariante für den Fall, daß sich durch die Entkopplung der obersten Stützstäbe die effektive Freilänge um 1 m erhöht, bzw. die effektive Einbindelänge um 1 m verringert hat. Die Abnahme der Eigenfrequenz ist hierbei beachtlich, so daß die gemessenen Werte  $f_0^m$  bereits sämtlich unterschritten werden.

Zwischenwerte können jedoch leicht ergänzt werden, wenn entweder  $E_v^{dyn}$  erhöht oder wenn die Tiefe des Entkopplungsbereiches vermindert wird. Eine Entscheidung darüber, welcher Einflußfaktor dominiert, kann durch Messungen des horizontalen dynamischen Druckes in Abhängigkeit von der Verschiebung nahe der Oberfläche erfolgen.

### Zusammenfassung

Wie bereits in / 11 / dargelegt, werden auf dem Fachgebiet der Statik der Tiefgründungen in zunehmendem Maße nichtlineare Verformungscharakteristiken des Baugrundes in die Berechnung einbezogen. Parallel dazu laufen Versuche mit Einzelpfählen, Pfahlgruppen und Spundwänden, die nach Möglichkeit mit Dehnmessstreifen oder Druckmessdosen bestückt werden (z. B. / 6 / ).

Die Wechselwirkung zwischen Axial- und Biegekräften bei eingebetteten rahmenartigen Systemen wurde jedoch bisher weder experimentell noch theoretisch befriedigend erfaßt oder dargestellt. (In / 4 / wird z. B. nur eine axiale Grenzkraft

zugelassen.) Mit vorliegender Arbeit wird gezeigt, wie die bestehenden Diskrepanzen durch den Einsatz eines elasto-plastischen Modells beseitigt werden können. Gleichzeitig wird demonstriert, wie man einen Großversuch so durchführen kann, daß seine Ergebnisse eine Extrapolation auf andere Tiefgründungen zulassen.

Schließlich ermöglicht unsere Untersuchung eine Prognose der Eigenfrequenzen beliebiger Pfahlwerte unter Berücksichtigung der statischen Vorbelastung, die zu einer partiellen Mobilisierung des Erdwiderstandes führen kann. Insgesamt läßt sich einschätzen, daß die vorliegenden Versuche weit über das spezielle Dalbenproblem hinaus von Bedeutung für die wirklichkeitsgetreue Berechnung der Verformungen von Spannungen von Tiefgründungen verschiedenster Art, z. B. im Hafen- und Verkehrsbau sind.

## Literatur

- / 1 / DAMERAU, W. Ermittlung der Eigenschwingungen Orthogonaler räumlicher Rahmen Programm ODRA 1204/139.1 Arbeitsmittelkatalog VEB BMK Kohle Energie Berlin, Nov. 1973
- / 2 / DAMERAU, W. Beliebige ebene Stabwerke mit Plattendefizierung Programm ODRA 1204/220 Dokumentation für Anwender FAS, Berlin, d. 15.02.1977
- / 3 / ELMIGER, R. Der Pfahl in rolligem Boden unter horizontaler seitlich veränderlicher Last Diss. Fachbereich 7, Bauing.-Vermessungswesen TU Berlin-West 1972
- / 4 / ELMS, G. D.; SCHMID, W. E. Structural action of pile cluster dolphins Proc. ASCE 91 (1965) WW 4, Part 1, S. 11 - 30
- / 5 / FRISCH, H.; SIMON, A. Beitrag zur Ermittlung der vertikalen und horizontalen Bettungsziffer Bautechnik 51 (1974) 8, S. 259 - 262
- / 6 / KIM, J. B.; BRUNGRÄBER, R. J. Pult Scale Lateral Load Tests of Pile Groups Proc. ASCE 102 (1976) GT 1, S. 87 - 105
- / 7 / KUNZELMANN, H. Richtlinie für den Entwurf von Dalben 2. Aufl. VE Projektierungsbetrieb Wasserstrassen, Berlin, Dez. 1972

- / 8 / KUNZELMANN, H.: Neue Dalbenkonstruktionen  
 SCHÄFFNER, H. J.: F/E-Bericht  
 TÖLLE, L. VEB Wasserstraßenbau, BT Projektierung, Berlin 1979
- / 9 / PAUL, C. Erddruck und Erdwiderstand vor starren Baukörpern endlicher Breite  
 Bauplanung - Bautechnik 22 (1968) 9, S. 430 - 433
- / 10 / SCHÄFFNER, H. J. Mantelreibung und Spitzendruck bei Bohrspählen  
 DBI, Schriftenreihe Bauforschung, Reihe ITB, H. 3, 1967
- / 11 / SCHÄFFNER, H. J. Universelles Verfahren zur elastoplastischen Berechnung von Tiefgründungen  
 Bauplanung - Bautechnik 32 (1978) 7, S. 316 - 319
- / 12 / SCHÄFFNER, H. J. Horizontale und vertikale Probebelastungen an Pfählen und Masten als Grundlage für die Berechnung komplizierter Rostwerke  
 Wiss. Berichte, TH Leipzig H. 13, 1978, S. 49 - 56
- / 13 / SCHÄFFNER, H. J. Elastoplastische Berechnung von Pfahlwerken  
 Spezialbaumitteilungen, Reihe Brunnen- und Grundbau, SBK Magdeburg Sonderheft 1978, S. 10 - 16
- / 14 / THYROLF, G. Bestimmung der Tragkraft von Ramm-  
 pfählen durch empirische Beiwerte  
 Bauplanung - Bautechnik 22 (1968) 9, S. 426 - 429