1536
II.

PEINER KASTENSPUNDWAND

627.10
102 B
S-75
S-92
S-02
1536

PEINER KASTENSPUNDWAND

HANDBUCH FÜR ENTWURF UND AUSFÜHRUNG

BEARBEITET
VON DIPL.-ING. OTTO BAER, PEINE

AUSGABE 1942

INSTYTUT INŻYNIERII OCHRONY ŚRODOWISKA BIBLIOTEKA 102
BIBLIOTEKA POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

ILSEDER HÜTTE,
ABT. PEINER WALZWERK, PEINE

Entwurfsbearbeitung, Kostenanschläge und Ingenieurbesuch unverbindlich und kostenlos durch die Spundwandabteilung der **Ilseder Hütte, Abt. Peiner Walzwerk, Peine (Hannover)**

Fernruf: Sammelnummer 2741, Fernschreiber Nr. 02370,
Drahtanschrift: ilsederhütte peine

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
BIBLIOTEKA GŁÓWNA
w Gliwicach

136622

Die Angaben in diesem Handbuch sind unverbindlich; Änderungen bleiben jederzeit vorbehalten.

Nachdruck, auch auszugsweise, ist nur mit unserer besonderen Genehmigung gestattet. — Alle Rechte vorbehalten.

Druckstockherstellung: Köhler & Lippmann, Braunschweig
Satz und Druck von Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig

211994/2

Vorwort

Die von uns hergestellten Peiner Kastenspundbohlen haben sich in der kurzen Zeit seit ihrer Einführung bei einfachen und schwierigen Bauaufgaben für Uferwände, Molen, Schleusen, Dalben, Brückenpfeiler, Widerlager, Gründungen usw. vielseitig bewährt. Eine angemessene Profilreihe in zweckmäßigen Stahlgüten ermöglicht eine gute Anpassungsfähigkeit an die jeweiligen Bedürfnisse und läßt somit baulich wie auch wirtschaftlich vorteilhafte Lösungen erreichen. Neben unserer langjährigen beratenden Mitarbeit an den mannigfachsten, mit unseren Spundbohlen entworfenen und ausgeführten Bauwerken sind von uns vielfach auch Unterlagen über alle hiermit im Zusammenhang stehenden Fragen verlangt worden. Wir halten es daher für gegeben, diese Unterlagen unter Zugrundelegung unserer Erfahrungen in einem Handbuch zusammenzufassen und kommen damit auch einem oft von amtlichen Stellen und von Fachingenieuren an uns herangetragenen Wunsche nach.

In diesem Bestreben, und um auf die zweckdienliche Verwendung von Peiner Kastenspundbohlen bei neuzeitlichen Bauaufgaben hinzuweisen, haben wir das vorliegende Handbuch herausgegeben, das neben den genauen Angaben über die Abmessungen und die statischen Werte der Profile eingehende Ausführungen über die Anwendungsmöglichkeiten mit den für den Entwurf benötigten Konstruktionseinzelheiten und Zahlentafeln enthält. Besonders ausführlich wurden die beim Rammen unserer Spundbohlen zu beachtenden Regeln behandelt. Damit wird allen mit der Rammung von Peiner Kastenspundbohlen Beschäftigten ein sicherer Leitfaden gegeben. Ferner sind Angaben über Durchführung von Probebelastungen sowie über die Schloßdichtungsmaschine gemacht. Einem vielfach geäußerten Wunsche entsprechend, sind dann einige bei der Berechnung von Bauten mit Peiner Kastenspundbohlen auftretende Fragen erläutert. Vor allem enthält dieser Abschnitt die für die Berechnung notwendigen Zahlentafeln, sodaß sich die Benutzung besonderer Nach-

schlagewerke erübrigt. Zur Anregung bei ähnlichen Aufgaben haben dann noch einige Berechnungsbeispiele Aufnahme gefunden, während in einem ausführlichen Verzeichnis auf das einschlägige Schrifttum zur eingehenderen Unterrichtung über Einzelheiten verwiesen ist. Schließlich sind eine Reihe ausgeführter Bauwerke sowie einige Entwürfe in Lichtbildern und Zeichnungen dargestellt, die dem Bauschaffenden Hinweise und Anregungen für ähnliche Bauvorhaben geben mögen. Den zeitbedingten Richtlinien entsprechend, sind bei den einzelnen Bauwerken weder der Ort noch der Bauherr und die Baufirma genannt. Das Sachverzeichnis am Schluß des Buches erleichtert das Aufsuchen bestimmter Angaben.

Allen denen, die uns durch Mitteilungen, Hinweise und Überlassung von Unterlagen bei der Gestaltung dieses Handbuches unterstützt haben, danken wir auch an dieser Stelle verbindlichst. Weitere Anregungen zu Verbesserungen und Ergänzungen, die bei einer etwaigen Neuauflage Verwendung finden könnten, nehmen wir gern entgegen.

Wir lassen das Buch herausgehen in der Hoffnung, hiermit allen planenden und ausführenden Bauschaffenden ein willkommenes Hilfsmittel zu bieten und gleichzeitig damit auch einen Beitrag zur Leistungssteigerung im Bauwesen geliefert zu haben.

Peine, im Mai 1942. **Ilseder Hütte.**

Inhaltsverzeichnis

Seite

Vorwort III

I. Abmessungen, Gewichte, statische Werte 1

Peiner Kastenspundbohlen 2
Schlösser der Peiner Kastenspundwand 13
Zahlentafeln 14
Peiner Spundwinkel 20
Peiner Stahl-Pfahl 21
Aufnehmbare Biegungsmomente 22

II. Eck- und Abzweigausbildungen, Bogenausbildungen, Pfeilerabschlüsse, Sonderbohlen 23

1. Rechtwinklige Eckausbildungen 25
2. Schiefwinklige Eckausbildungen 26
3. Abzweigausbildung 26
4. Bogenausbildungen 28
5. Übergangsausbildungen bei Profilwechsel 29
6. Pfeilerabschlüsse 30
7. Paß- und Keilbohlen 32

III. Zubehörteile zu Uferwänden und Dalben 35

1. Verankerungen 36
Zahlentafeln für Verankerungen 42
2. Kopfausbildungen 49
3. Poller 50
4. Haltevorrichtungen 52
5. Leitern und Treppen 54
6. Reibehölzer 56

Seite

IV. Eigenschaften und Verwendungsgebiete 57

A. Eigenschaften 58
Allgemeines 58
Formgebung 58
Walzung 61
Stahlgüten 62
Lebensdauer 63
Zulässige Beanspruchungen 64
Statische und konstruktive Verhältnisse 65
Tragfähigkeit 67
Lieferung 68
Rammfähigkeit 69

B. Verwendungsgebiete 71
Uferwände und Molen 71
Schleusen 73
Brücken 74
Dalben und Leitwerke 77
Gründungen 78
Sonstiges 79

Schrifttum über die Peiner Kastenspundwand 80

V. Zusammengesetzte Spundwand aus Peiner Kastenspundbohlen und wellenförmigen Profilen 81

VI. Probebelastung von Pfählen aus Peiner Kastenspundbohlen 87

VII. Das Rammen von Peiner Kastenspundbohlen 95

Allgemeines 96
Rammgerät 96
Rammhauben 101
Rammen ohne Mäklerführung — Freirammung 103
Führung 105
a) Führungszange auf der Rammebene (Bodenzange) 105
b) Obere Führung am Mäkler 107
c) Führung bei größeren Wassertiefen 109
Ansetzen und Einfädeln 111
Rammung 112
a) Senkrechte Stellung in Wandrichtung 114
Fußvoreilung 114
Kopfvoreilung 118

Seite
b) Seitliche Neigung 118
c) Mitziehen 120
d) Spülung 120
e) Jungfern und Aufstocken 121
Rammen von Pfählen 123
Rammen von geschlossenen Kästen 123
Rammverfahren der zusammengesetzten Spundwand 124
Entleerung der Profilzellen 125
Zellenlotung 126
Neigungsmessung 127

VIII. Schloßdichtungsmaschine 129

IX. Berechnung von Spundwandbauwerken 137

A. Allgemeines 138
1. Bodenbeiwerte 138
2. Erddruck und Erdwiderstand 140
3. Tragfähigkeitsermittlung 146
4. Aufnahme von Längskräften 152
5. Berechnung von Dalben 155

B. Berechnungsbeispiele 159
1. Berechnung einer Uferwand 159
2. Berechnung eines Brückenpfeilers 175
3. Berechnung eines Dalbens 186

C. Schrifttum über die Berechnung von Spundwandbauten 194

X. Ausgeführte Bauwerke 197

1. Uferwände und Molen 198
2. Schleusen und Wehre 223
3. Brückengründungen 233
4. Dalben und Leitwerke 260
5. Baugrubenumschließungen, Gründungen und Luftschutzbauten ... 280

Sachverzeichnis 291

I.

Abmessungen, Gewichte, statische Werte

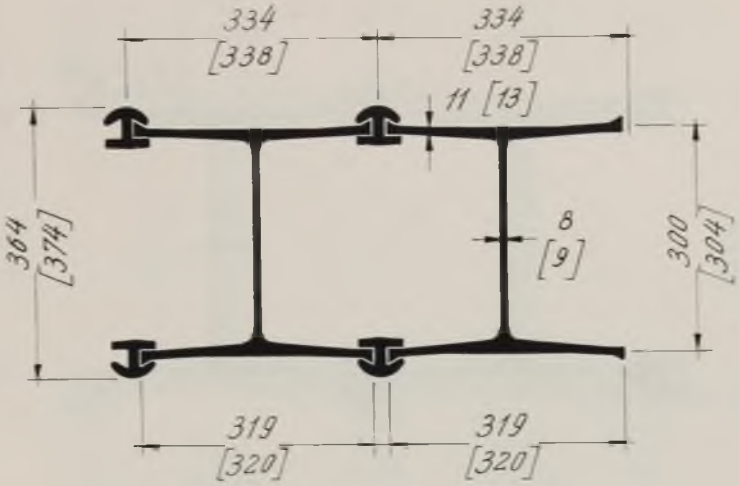
Die Peiner Kastenspundbohlen werden in leichter Reihe (L), schwerer Reihe (S) und in Sonderausführung (SS) hergestellt. Die nachfolgenden Seiten zeigen die normalen Profile der Peiner Kastenspundbohlen im gleichen Maßstab (etwa 1 : 10). Die Abmessungen der Profilreihe S — PSp 30 S bis 60 S — sind jeweils in [—] bei den jeweiligen L-Profilen eingesetzt. Außer den auf den Seiten 9 bis 12 aufgeführten Sonderprofilen können auch Zwischenprofile aufgrund besonderer Vereinbarung geliefert werden.

Zu jedem Profil sind für eine Einzelbohle ohne Schlösser und 1 m Spundwand die Gewichte und die wichtigsten statischen Werte in einer Zahlentafel angegeben.

Weitere Werte, auch für Einzelbohlen mit Schlössern sowie für Doppelbohlen, sind in ausführlichen Zahlentafeln auf den Seiten 14 bis 19 aufgeführt. Aufnehmbare Biegungsmomente siehe S. 22. Stahlgüten und zulässige Beanspruchungen auf den Seiten 62 und 64.

Die statischen Werte der Profile sind neu errechnet worden; es haben sich dabei geringfügige Abweichungen gegenüber den bisher veröffentlichten Zahlen ergeben.

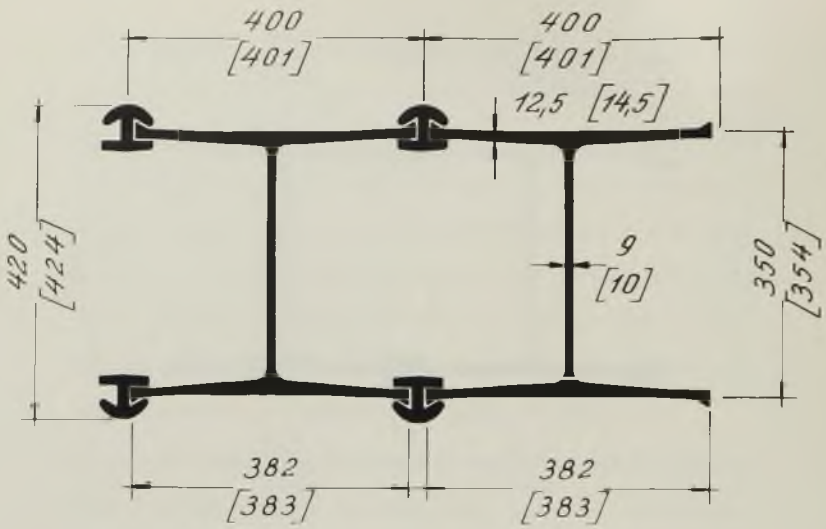
PSp 30 L und S



Profil PSp	Werte für	Querschnitt F cm²	Gewicht G kg/m	Trägheitsmoment J min cm⁴	Widerstandsmoment W min cm³
30 L	1 Einzelbohle ohne Schlösser	106	**83**	7 500	470
	1 m Spundwand	414	**325**	80 620	**4 440**
30 S	1 Einzelbohle ohne Schlösser	122	**96**	8 720	545
	1 m Spundwand	498	**391**	100 000	**5 320**

Für 30 S gelten die [—]-Maße. Weitere Werte S. 14 bis 19

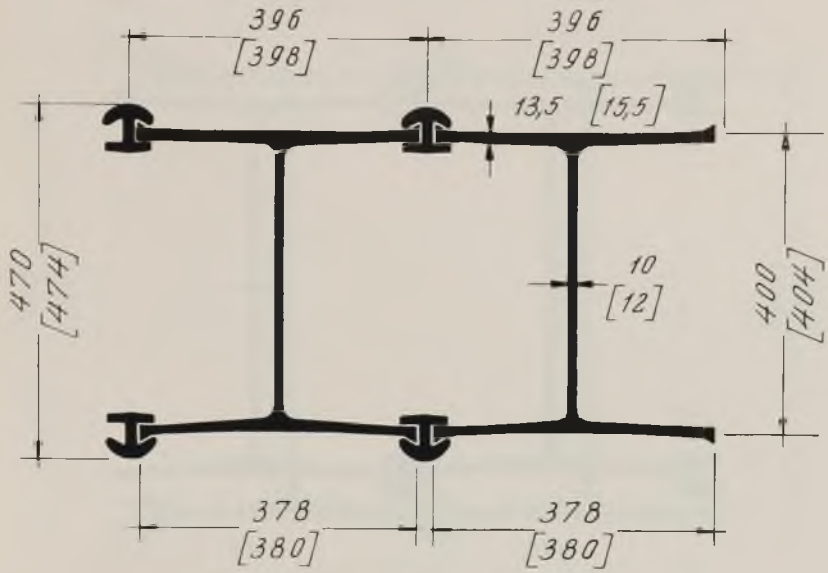
PSp 35 L und S



Profil PSp	Werte für	Querschnitt F cm²	Gewicht G kg/m	Trägheitsmoment J min cm⁴	Widerstandsmoment W min cm³
35 L	1 Einzelbohle ohne Schlösser	142	**111**	14 290	748
	1 m Spundwand	470	**369**	125 000	**5 930**
35 S	1 Einzelbohle ohne Schlösser	161	**126**	16 380	855
	1 m Spundwand	518	**407**	139 000	**6 520**

Für 35 S gelten die [—]-Maße. Weitere Werte S. 14 bis 19

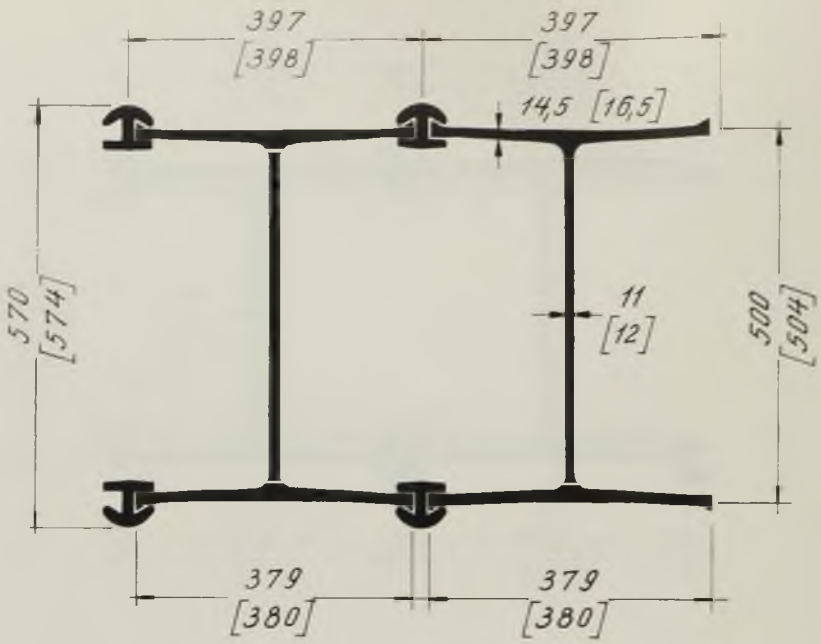
PSp 40 L und S



Profil PSp	Werte für	Querschnitt F cm²	Gewicht G kg/m	Trägheitsmoment J min cm⁴	Widerstandsmoment W min cm³
40 L	1 Einzelbohle ohne Schlösser	155	**122**	14 410	762
	1 m Spundwand	509	**399**	172 100	**7 290**
40 S	1 Einzelbohle ohne Schlösser	179	**140**	16 650	876
	1 m Spundwand	567	**445**	191 400	**8 040**

Für 40 S gelten die [—]-Maße. Weitere Werte S. 14 bis 19

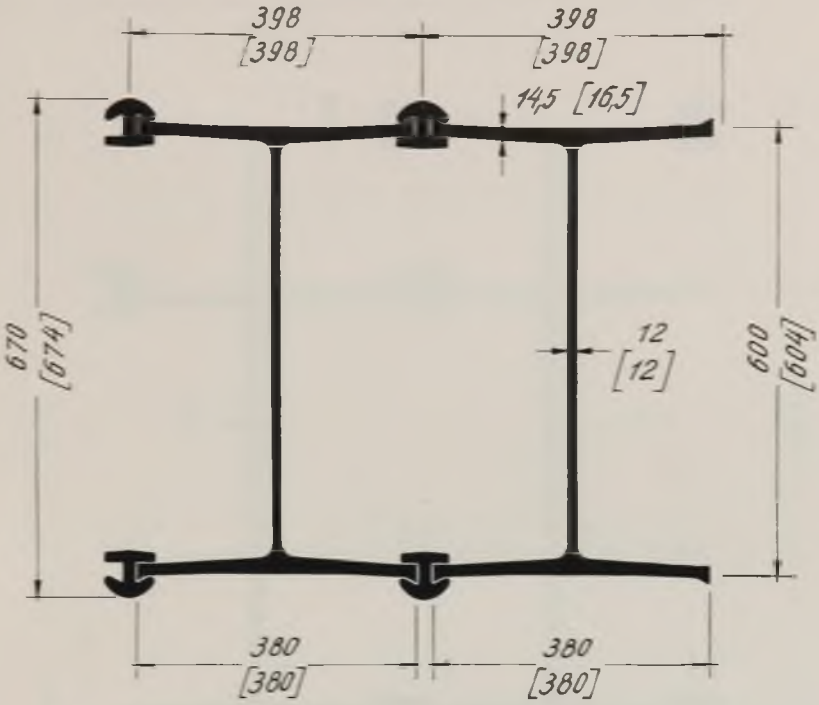
PSp 50 L und S



Profil PSp	Werte für	Querschnitt F cm²	Gewicht G kg/m	Trägheitsmoment J min cm⁴	Widerstandsmoment W min cm³
50 L	1 Einzelbohle ohne Schlösser	178	**140**	14 940	788
	1 m Spundwand	564	**443**	287 700	**10 060**
50 S	1 Einzelbohle ohne Schlösser	198	**156**	16 970	893
	1 m Spundwand	616	**483**	316 200	**10 970**

Für 50 S gelten die [—]-Maße. Weitere Werte S. 14 bis 19

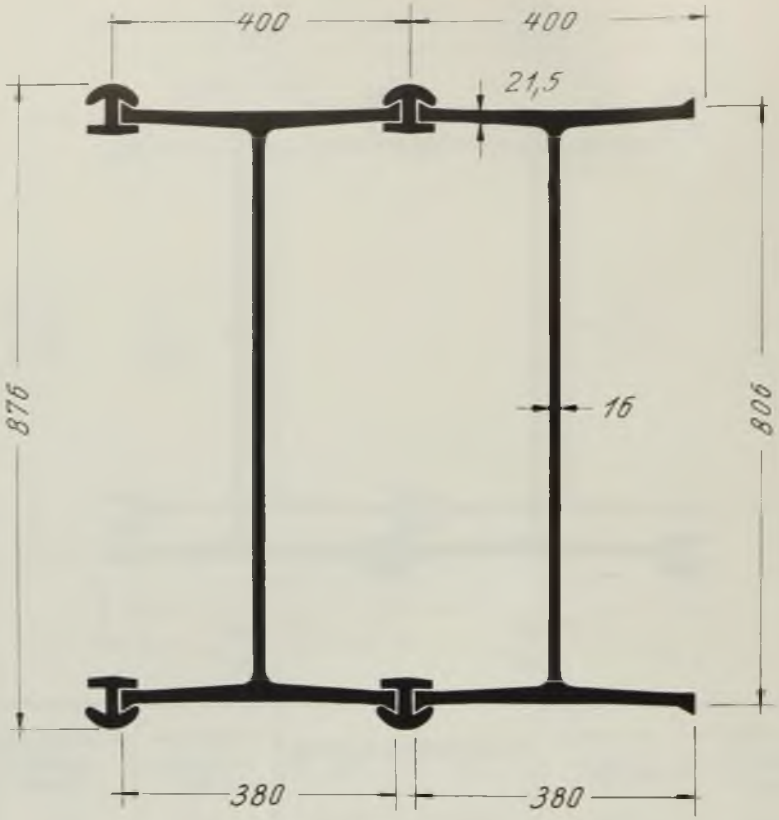
PSp 60 L und S



Profil PSp	Werte für	Querschnitt F cm²	Gewicht G kg/m	Trägheitsmoment J min cm⁴	Widerstandsmoment W min cm³
60 L	1 Einzelbohle ohne Schlösser	195	**153**	15 140	797
	1 m Spundwand	606	**476**	428 100	**12 740**
60 S	1 Einzelbohle ohne Schlösser	210	**165**	16 970	893
	1 m Spundwand	646	**507**	465 500	**13 770**

Für 60 S gelten die [—]-Maße. Weitere Werte S. 14 bis 19

PSp 80 S

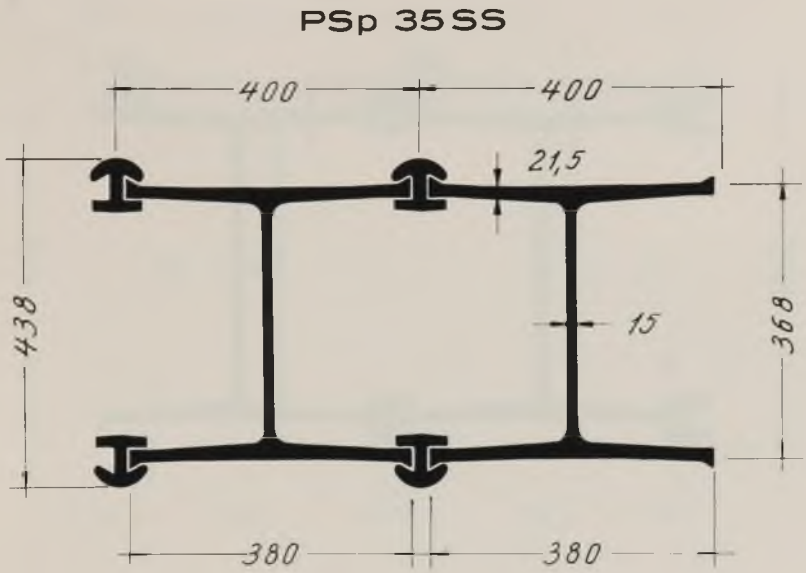


Profil PSp	Werte für	Querschnitt F cm²	Gewicht G kg/m	Trägheitsmoment J min cm⁴	Widerstandsmoment W min cm³
80 S	1 Einzelbohle ohne Schlösser	303	**238**	21 570	1 140
	1 m Spundwand	885	**694**	1 053 000	**24 020**

Weitere Werte S. 14 bis 19

Sonderprofile

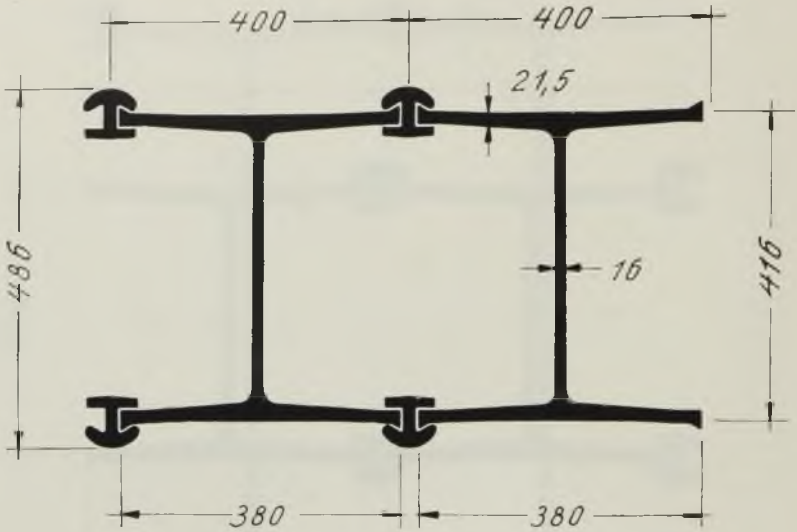
(Diese Profile werden nur aufgrund besonderer Vereinbarung geliefert)



Profil PSp	Werte für	Querschnitt F cm²	Gewicht G kg/m	Trägheitsmoment J min cm⁴	Widerstandsmoment W min cm³
35 SS	1 Einzelbohle ohne Schlösser	228	**179**	21 550	1 130
	1 m Spundwand	698	**548**	190 600	**8 680**

Weitere Werte S. 14 bis 19

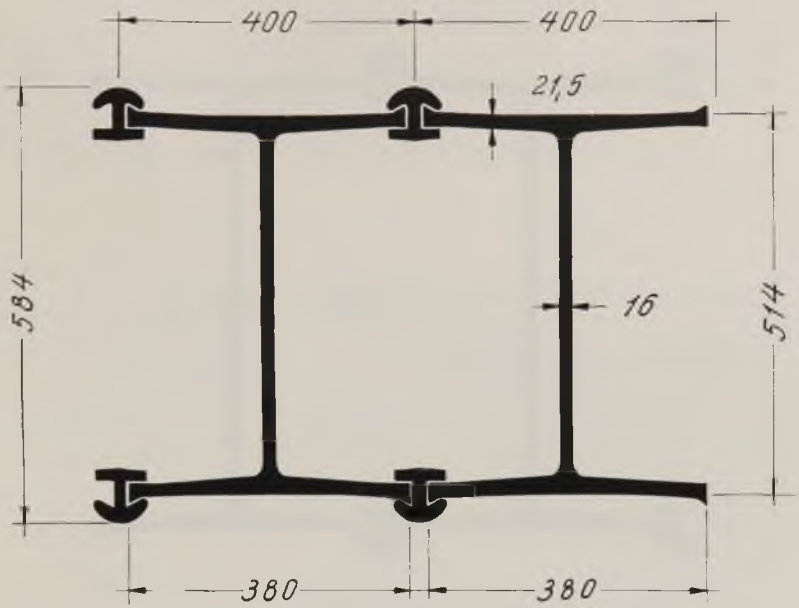
PSp 40 SS



Profil PSp	Werte für	Querschnitt F cm²	Gewicht G kg/m	Trägheitsmoment J min cm⁴	Widerstandsmoment W min cm³
40 SS	1 Einzelbohle ohne Schlösser	239	**188**	21 550	1 130
	1 m Spundwand	725	**569**	249 100	**10 230**

Weitere Werte S. 14 bis 19

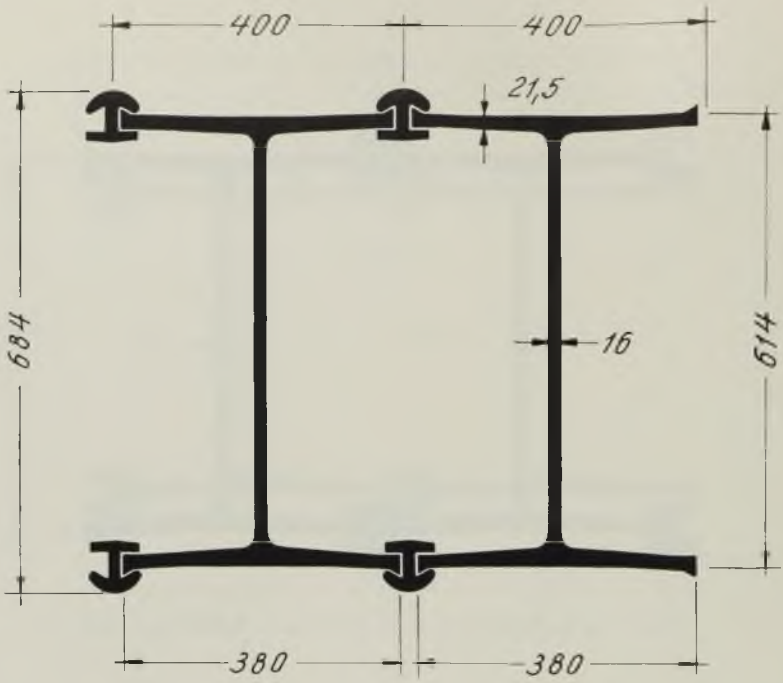
PSp 50 SS



Profil PSp	Werte für	Querschnitt F cm²	Gewicht G kg/m	Trägheitsmoment J min cm⁴	Widerstandsmoment W min cm³
50 SS	1 Einzelbohle ohne Schlösser	255	**200**	21 560	1 130
	1 m Spundwand	764	**600**	393 400	**13 450**

Weitere Werte S. 14 bis 19

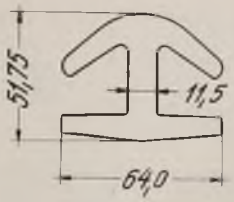
PSp 60 SS



Profil PSp	Werte für	Querschnitt F cm²	Gewicht G kg/m	Trägheitsmoment J min cm⁴	Widerstandsmoment W min cm³
60 SS	1 Einzelbohle ohne Schlösser	271	**212**	21 560	1 130
	1 m Spundwand	804	**631**	578 600	**16 890**

Weitere Werte S. 14 bis 19

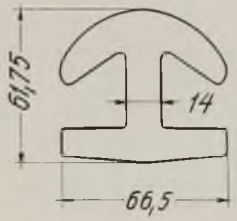
Schlösser der Peiner Kastenspundwand



Schloß I. Querschnitt $F = 16{,}1\ \text{cm}^2$

Gewicht $G =$ **12,6 kg/m**

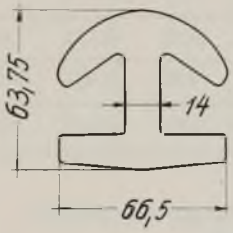
Passend für **PSp 30 L**



Schloß II. Querschnitt $F = 23{,}0\ \text{cm}^2$

Gewicht $G =$ **18,0 kg/m**

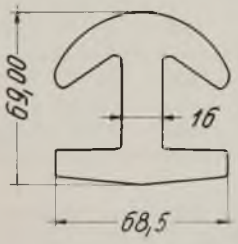
Passend für **PSp 30 S, 35—60 L**



Schloß III. Querschnitt $F = 23{,}3\ \text{cm}^2$

Gewicht $G =$ **18,3 kg/m**

Passend für **PSp 35—60 S**

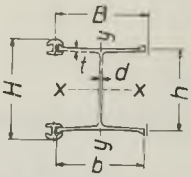


Schloß V. Querschnitt $F = 25{,}4\ \text{cm}^2$

Gewicht $G =$ **20,0 kg/m**

Passend für **PSp 80 S, 35—60 SS**

Abmessungen der Peiner Kastenspundbohlen

Profil-bezeich-nung							Gewicht der Einzel-bohle ohne Schlösser	1 Schloß	
PSp	*h* mm	*H* mm	*b* mm	*B* mm	*d* mm	*t* mm	*G* kg/m	Nr.	*G* kg/m
30 L	300	364	319	334	8	11,0	**83**	**I**	12,6
30 S	304	374	320	338	9	13,0	**96**	**II**	18,0
35 L	350	420	382	400	9	12,5	**111**	**II**	18,0
35 S	354	424	383	401	10	14,5	**126**	**III**	18,3
40 L	400	470	378	396	10	13,5	**122**	**II**	18,0
40 S	404	474	380	398	12	15,5	**140**	**III**	18,3
50 L	500	570	379	397	11	14,5	**140**	**II**	18,0
50 S	504	574	380	398	12	16,5	**156**	**III**	18,3
60 L	600	670	380	398	12	14,5	**153**	**II**	18,0
60 S	604	674	380	398	12	16,5	**165**	**III**	18,3
80 S	806	876	380	400	16	21,5	**238**	**V**	20,0
Sonderprofile (Diese Profile wie auch weitere Zwischenprofile werden nur aufgrund besonderer Vereinbarung geliefert)									
35 SS	368	438	380	400	15	21,5	**179**	**V**	20,0
40 SS	416	486	380	400	16	21,5	**188**	**V**	20,0
50 SS	514	584	380	400	16	21,5	**200**	**V**	20,0
60 SS	614	684	380	400	16	21,5	**212**	**V**	20,0

Zahlentafel 1

Sämtliche Profile sind in den gebräuchlichen Stahlgüten lieferbar. Sondergüten aufgrund besonderer Anfrage, vgl. S. 62. Kennzeichnung: s. S. 69. Ermittlung des rechnerischen Liefergewichtes nur nach den Angaben dieser Zahlentafel

Gewichte und statische Werte für 1 m Peiner Kastenspundwand

Profil-bezeich-nung								Quer-schnitt der Zelle
PSp	F cm²/m	G kg/m²	J_x cm⁴/m	i_x cm/m	W_x cm³/m	W_x/G cm³/kg	U m²/m	F' cm²
30 L	414	**325**	80 620	14,0	**4 440**	13,7	2,22	892
30 S	498	**391**	100 000	14,2	**5 320**	13,6	2,30	894
35 L	470	**369**	125 000	16,3	**5 930**	16,0	2,24	1230
35 S	518	**407**	139 000	16,4	**6 520**	16,0	2,24	1230
40 L	509	**399**	172 100	18,4	**7 290**	18,3	2,24	1420
40 S	567	**445**	191 400	18,4	**8 040**	18,1	2,24	1420
50 L	564	**443**	287 700	22,6	**10 060**	22,7	2,24	1800
50 S	616	**483**	316 200	22,7	**10 970**	22,7	2,24	1800
60 L	606	**476**	428 100	26,6	**12 740**	26,8	2,24	2180
60 S	646	**507**	465 500	26,8	**13 770**	27,2	2,24	2180
80 S	885	**694**	1 053 000	34,5	**24 020**	34,6	2,24	2910
Sonderprofile (Diese Profile wie auch weitere Zwischenprofile werden nur aufgrund besonderer Vereinbarung geliefert)								
35 SS	698	**548**	190 600	16,5	**8 680**	15,9	2,24	1230
40 SS	725	**569**	249 100	18,5	**10 230**	18,0	2,24	1410
50 SS	764	**600**	393 400	22,7	**13 450**	22,4	2,24	1790
60 SS	804	**631**	578 600	26,8	**16 890**	26,8	2,24	2170

Zahlentafel 2

Gewichtsangaben abgerundet.
Aufnehmbare Biegungsmomente siehe Tafel S. 22

Gewichte und statische Werte für Pfähle aus Peiner Kastenspundbohlen

Profil-bezeichnung	1 Bohle ohne Schlösser							
PSp	F cm²	G kg/m	J_x cm⁴	i_x cm	W_x cm³	J_y cm⁴	i_y cm	W_y cm³
30 L	106	**83**	19 130	13,4	1140	**7 500**	8,4	470
30 S	122	**96**	22 410	13,6	1320	**8 720**	8,5	545
35 L	142	**111**	35 040	15,7	1810	**14 290**	10,0	748
35 S	161	**126**	40 350	15,8	2060	**16 380**	10,0	855
40 L	155	**122**	48 750	17,7	2250	**14 410**	9,6	762
40 S	179	**140**	56 290	17,7	2560	**16 650**	9,6	876
50 L	178	**140**	84 230	21,8	3150	**14 940**	9,2	788
50 S	198	**156**	95 130	21,9	3530	**16 970**	9,3	893
60 L	195	**153**	127 500	25,6	4020	**15 140**	8,8	797
60 S	210	**165**	141 400	25,9	4430	**16 970**	9,0	893
80 S	303	**238**	338 000	33,4	8040	**21 570**	8,4	1140
Sonderprofile (Diese Profile wie auch weitere Zwischenprofile werden nur aufgrund besonderer Vereinbarung geliefert)								
35 SS	228	**179**	58 690	16,0	2910	**21 550**	9,7	1130
40 SS	239	**188**	77 290	18,0	3430	**21 550**	9,5	1130
50 SS	255	**200**	123 400	22,0	4500	**21 560**	9,2	1130
60 SS	271	**212**	183 000	26,0	5640	**21 560**	8,9	1130

Zahlentafel 3

Gewichte und statische Werte für Pfähle aus Peiner Kastenspundbohlen

Profil-bezeichnung	1 Bohle mit 2 Schlössern							
Psp	F cm²	G kg/m	J_x cm⁴	i_x cm	W_x cm³	J_y cm⁴	i_y cm	W_y cm³
30 L	138	108	26 930	14,0	1480	14 470	10.2	751
30 S	168	132	33 770	14,2	1800	18 370	10,5	892
35 L	188	147	49 940	16,3	2370	28 290	12.3	1180
35 S	208	163	55 680	16,4	2610	31 000	12.2	1310
40 L	201	158	68 060	18,4	2880	28 420	11.9	1210
40 S	225	177	76 100	18.4	3200	31 380	11.8	1330
50 L	224	176	114 100	22,6	3990	29 430	11.5	1280
50 S	245	192	125 700	22,7	4360	32 000	11.4	1400
60 L	241	189	170 200	26,6	5070	29 980	11.2	1310
60 S	257	202	185 100	26,8	5470	32 170	11.2	1420
80 S	353	277	420 700	34.5	9600	39 070	10.5	1780
Sonderprofile (Diese Profile wie auch weitere Zwischenprofile werden nur aufgrund besonderer Vereinbarung geliefert)								
35 SS	279	219	76 130	16,5	3470	38 270	11.7	1690
40 SS	290	227	99 520	18.5	4090	38 410	11.5	1710
50 SS	305	240	157 200	22,7	5370	38 600	11.2	1730
60 SS	321	252	231 100	26.8	6750	38 770	11.0	1750

Zahlentafel 4

Gewichtsangaben abgerundet

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA
BIBLIOTEKA POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Gewichte und statische Werte für Pfähle aus Peiner Kastenspundbohlen

Profil-bezeich-nung	1 Bohle mit 4 Schlössern							
PSp	F cm²	G kg/m	J_x cm⁴	i_x cm	W_x cm³	J_y cm⁴	i_y cm	W_y cm³
30 L	170	**134**	34 720	14,3	1 910	**25 620**	**12,2**	1290
30 S	214	**168**	45 130	14,5	2 400	**35 180**	**12,8**	1740
35 L	234	**184**	64 850	16,7	3 070	**51 260**	**14,8**	2200
35 S	254	**200**	71 000	16,7	3 330	**54 010**	**14,6**	2310
40 L	247	**194**	87 370	18,8	3 700	**50 650**	**14,3**	2190
40 S	272	**214**	95 920	18,8	4 030	**53 720**	**14,0**	2320
50 L	270	**212**	143 900	23,1	5 030	**51 360**	**13,8**	2220
50 S	291	**229**	156 200	23,2	5 420	**54 050**	**13,6**	2330
60 L	287	**225**	212 900	27,2	6 340	**51 750**	**13,4**	2230
60 S	303	**238**	228 700	27,5	6 760	**54 050**	**13,3**	2330
80 S	404	**317**	503 500	35,3	11 500	**62 400**	**12,4**	2670
Sonderprofile (Diese Profile wie auch weitere Zwischenprofile werden nur aufgrund besonderer Vereinbarung geliefert)								
35 SS	330	**259**	93 580	16,9	4 260	**62 380**	**13,8**	2670
40 SS	340	**267**	121 700	18,9	5 000	**62 380**	**13,5**	2670
50 SS	356	**280**	191 000	23,2	6 530	**62 380**	**13,2**	2670
60 SS	372	**292**	279 300	27,4	8 150	**62 390**	**12,9**	2670

Zahlentafel 5

Gewichtsangaben abgerundet

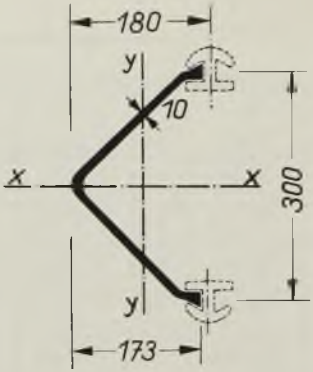
Gewichte und statische Werte für Pfähle aus Peiner Kastenspundbohlen

Profil-bezeich-nung	2 Bohlen mit 2 Schlössern							
PSp	F cm²	G kg/m	J_x cm⁴	i_x cm	W_x cm³	J_y cm⁴	i_y cm	W_y cm³
30 L	244	**192**	**46 060**	**13,7**	2 530	74 200	17,4	2270
30 S	290	**228**	**56 170**	**13,9**	2 990	87 060	17,3	2650
35 L	330	**259**	**84 980**	**16,1**	4 030	141 900	20,7	3630
35 S	368	**289**	**96 030**	**16,1**	4 510	162 000	21,0	4130
40 L	356	**280**	**116 800**	**18,1**	4 950	150 400	20,5	3890
40 S	404	**317**	**132 400**	**18,1**	5 560	174 700	20,8	4500
50 L	401	**315**	198 300	22,2	6 940	**169 700**	**20,6**	4380
50 S	443	**348**	220 800	22,3	7 660	**190 600**	**20,7**	4900
60 L	436	**342**	297 700	26,1	8 860	**184 400**	**20,6**	4740
60 S	467	**366**	326 500	26,4	9 660	**200 100**	**20,7**	5150
80 S	656	**515**	758 700	34,0	17 300	**284 800**	**20,8**	7310
Sonderprofile (Diese Profile wie auch weitere Zwischenprofile werden nur aufgrund besonderer Vereinbarung geliefert)								
35 SS	507	**398**	**134 800**	**16,3**	6 140	225 200	21,1	5780
40 SS	529	**415**	**176 800**	**18,3**	7 260	233 900	21,0	6000
50 SS	560	**440**	280 600	22,4	9 590	**246 400**	**21,0**	6320
60 SS	592	**465**	414 200	26,5	12 100	**259 200**	**20,9**	6650

Zahlentafel 6

Gewichtsangaben abgerundet. Querschnitt der Zelle siehe Zahlentafel 2, S. 15

Peiner Spundwinkel



F cm²	G kg/m	J_x cm⁴	i_x cm	W_x cm³	J_y cm⁴	i_y cm	W_y cm³	U [1]) cm
51,1	40	5165	10,0	315	1300	5,05	148	48,5

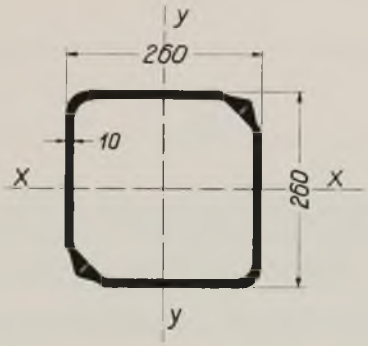
[1]) Außenumfang ohne Schlösser

Peiner Spundwinkel werden verwandt als Seiten- oder Eckabschlüsse von Pfeilern und Dalben. Ausbildungen siehe S. 25 und 30

Lieferung nur in Handelsbaustahl oder St 37

Peiner Stahl-Pfahl

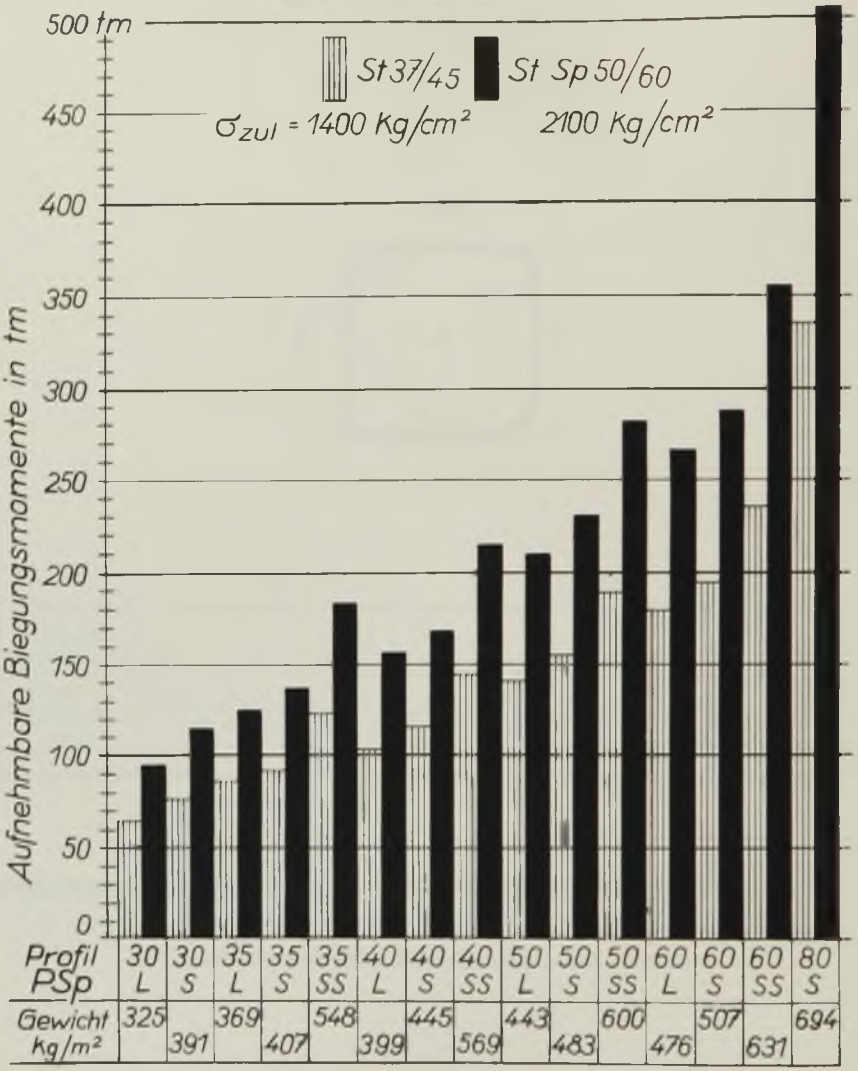
aus zwei zusammengeschweißten Spundwinkeln



F cm²	G kg/m	$J_x = J_y$ cm⁴	$i_x = i_y$ cm	$W_x = W_y$ cm³	U cm	Gesamtquerschnitt cm²
102,2	**80**	10 303	10	**800**	97	660

Der aus zwei zusammengeschweißten Spundwinkeln hergestellte **Peiner Stahl-Pfahl** eignet sich besonders für leichte Anfahrdalben. Ausführungsbeispiele siehe S. 278 und 279. Lieferung nur in Handelsbaustahl oder St 37

Mit der Peiner Kastenspundwand aufnehmbare Biegungsmomente



Beispiel: Ein Moment von 150 tm kann aufgenommen werden

von PSp 35 SS in St Sp 50/60 mit 548 kg/m² Gewicht
oder PSp 40 L „ St Sp 50/60 „ 399 kg/m² „
„ PSp 50 S „ St 37 „ 483 kg/m² „

II.

Eck- und Abzweigausbildungen, Bogenausbildungen, Pfeilerabschlüsse, Sonderbohlen

Die Eck- und Abzweigausbildungen lassen sich bei Peiner Kastenbohlen in einfachster Weise ohne besondere gewalzte Paßstücke herstellen. Die auf den folgenden Seiten dargestellten gebräuchlichsten Ausbildungen lassen erkennen, daß hierzu Normalbohlen durch Schweißung zweckentsprechend umgearbeitet werden. Da immer mit den freien Keulen vorausgerammt werden soll, so sind die Ecken nur in der jeweils angegebenen Rammrichtung bzw. in der Reihenfolge der Bezifferung zu rammen. Die zusammengehörigen Teile (Bohle und Schlösser) sind durch gleichartige Schraffur gekennzeichnet. Durch engere Schraffur sind die Keulen kenntlich gemacht, auf die die ebenfalls eng schraffierten Schlösser im Werk aufgezogen werden.

Die Eckbohlen nach Abb. 1 und 1a sind in allen Fällen zu bevorzugen, wobei die freie Kante der U-förmigen Bohle (in den Skizzen mit *K* bezeichnet) auf eine erwünschte Länge gebrochen geliefert werden kann. Bei Brückenwiderlagern oder in Fällen, in denen es darauf ankommt, die gleichmäßige Flächenaufteilung durch die Schlösser beizubehalten, können die Ecken nach Abb. 2 bis 4 ausgebildet werden. Die Abb. 13 zeigt eine Eckausbildung aus zwei zusammengeschweißten oder genieteten Spundwinkeln, deren Verwendung jedoch auf die Profile PSp 30 L und S beschränkt ist. Die Eckglieder werden in diesen Fällen jeweils zwischen zwei normale Bohlen nachträglich eingerammt. Die Bohlen für die Eckausbildungen werden zweckmäßig nur so lang gewählt, daß sie gerade in den festen Boden reichen, während die anschließenden Normalbohlen die erforderlichen rechnerischen Längen aufweisen.

1. Rechtwinklige Eckausbildungen $d = 90^0$

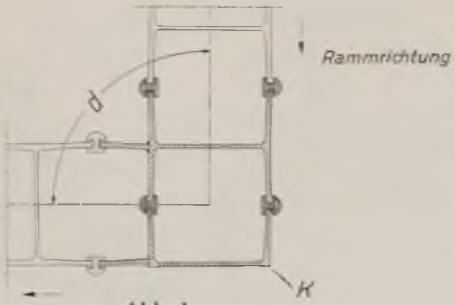


Abb. 1

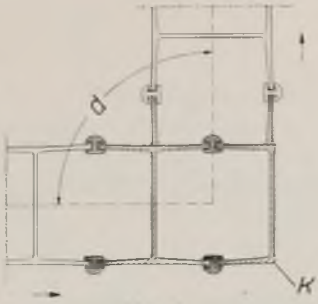


Abb. 1 a

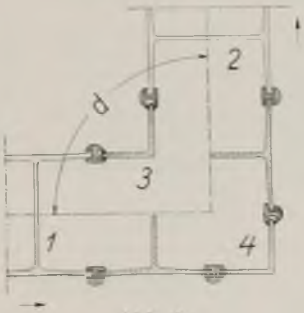


Abb. 2

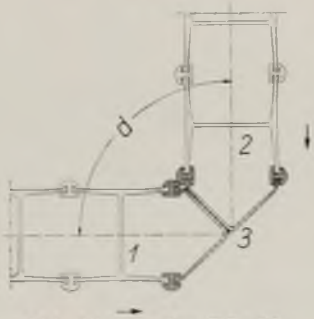


Abb. 13, nur für PSp 30

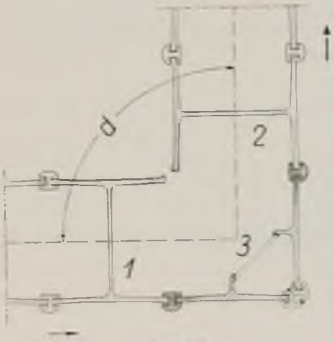


Abb. 3

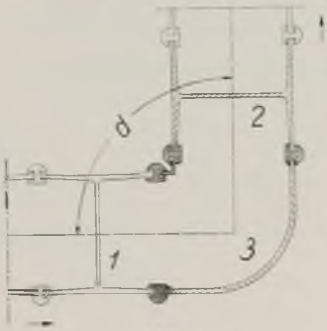


Abb. 4

Die Rammung soll in der Pfeilrichtung bzw. in der Reihenfolge der Bezifferung erfolgen. Die Abbildungsnummern sind gleichzeitig Bestellnummern und daher bei Bestellungen stets anzugeben

2. Schiefwinklige Eckausbildungen

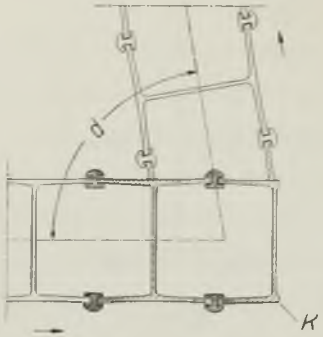


Abb. 5 $d = 70-140^0$

Abb. 5a

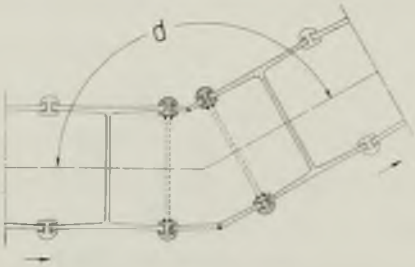


Abb. 6
$d = 130-180^0$

Abb. 7
$d = 55-90^0$

3. Abzweigausbildung

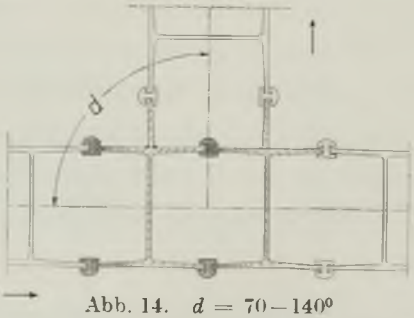


Abb. 14. $d = 70-140^0$

Die Rammung soll stets in der Pfeilrichtung erfolgen.
Bei Bestellungen Nr. der Abbildung und Größe des Winkels d angeben!

Gewichtsermittlung der Eck- und Abzweigbohlen

nach den Abb. 1, 1a, 5, 5a und 14

Profilbezeichnung PSp	Gewicht der ⊏-Bohlen kg/m	Größte Flanschbreite		Kleinste Flanschbreite	
		a_{max} mm	Gewicht für 1 Abschnitt kg/m	a_{min} mm	Gewicht für 1 Abschnitt kg/m
30 L	54.4	145	14.3	100	9.7
30 S	62.6	145	16.7	100	11.4
35 L	71.8	172	19.6	100	11.4
35 S	82.4	172	21.8	100	12.5
40 L	82.0	170	20.0	100	11.7
40 S	94.8	170	22.6	100	13.3
50 L	97.0	170	21.5	100	12.4
50 S	107.6	170	24.2	100	14.2
60 L	110.2	170	21.4	100	12.3
60 S	116.2	170	24.4	100	14.4
80 S	177.8	165	30.1	100	18.3
35 SS	117.0	170	31.0	100	18.3
40 SS	128.4	165	29.8	100	18.3
50 SS	150.2	165	29.9	100	18.3
60 SS	151.8	165	30.1	100	18.3

Zahlentafel 7

Die angeschweißten Flanschstücke bei den Eckbohlen werden zweckmäßig nicht schmaler als die in obiger Zahlentafel angegebenen kleinsten Flanschbreiten gewählt

4. Bogenausbildungen

a) Bogen ohne Zwischenstücke. Die Peiner Kastenspundbohlen werden mit um 5 mm verschieden breiten Flanschen gewalzt. Der breitere Flansch ist durch einen Wulststreifen gekennzeichnet. Durch Aneinanderreihen von schmalen Flanschen auf der Innenseite kann daher ein Bogen mit großem Halbmesser ohne Zwischenstücke gebildet werden. Es ergeben sich dabei die folgenden kleinsten Halbmesser bis Spundwandachse:

Profilreihe	Profile PSp					
	30	35	40	50	60	80
L	20,0	28,0	32,0	40,0	48,0	—
S	20,5	28,5	32,5	40,5	48,5	64,5
SS	—	29,0	33,0	41,0	49,0	—
Die Maße der Halbmesser in m						

Zahlentafel 8

b) Bogen mit Zwischenstücken. Sollen Bögen mit geringerem Halbmesser gerammt werden, so müssen Zwischenstücke aus Flachstahl oder entsprechend zugeschnittenen Spundbohlenflanschen eingeschaltet werden. Es lassen sich dann je nach Profil Bögen mit Halbmessern bis zu 1 bis 2 m ausbilden. Die Zwischenstücke können nach jeder oder mehreren Bohlen angeordnet werden. Die Schlösser werden mit den Flachstählen verschweißt. Ausführungsbeispiele siehe S. 212 u. 225.

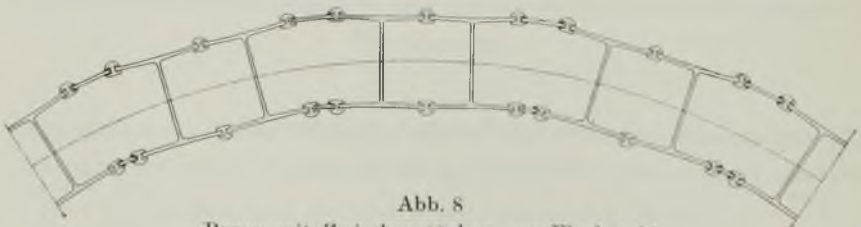


Abb. 8
Bogen mit Zwischenstücken aus Flachstahl

5. Übergangsausbildungen bei Profilwechsel

Bei Uferwänden kann es infolge wechselnder Sohlentiefen oder wechselnden Bodenverhältnissen erforderlich werden, von einem Profil auf ein anderes überzugehen. Erfolgt dieser Wechsel bei Profilen gleicher Höhe von der Reihe L zur Reihe S, so ist eine besondere Übergangsbohle nicht notwendig; das Schloß III der S-Bohle paßt über die Keulen der L-Bohle. Jedoch muß die S-Bohle einen starken Stegkeil haben, um einer Schloßöffnung infolge der Zellenpressung entgegenzuwirken (siehe S. 114—117). Wenn jedoch ein Übergang auf ein Profil mit anderer Steghöhe infrage kommt und die ebene Wandflucht auf einer Seite bestehen bleiben soll, dann ist ein besonderes Übergangsschloß erforderlich. Die beiden Ausführungsmöglichkeiten hierfür sind in den Abb. 16 und 17 dargestellt.

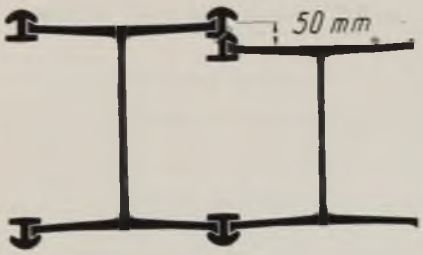


Abb. 16
für Übergang von
PSp 30 auf PSp 35 oder
PSp 35 auf PSp 40.
Gewicht des Übergangsschlosses
bei Schloß II: 29,0 kg/m,
„ „ III: 29,6 „

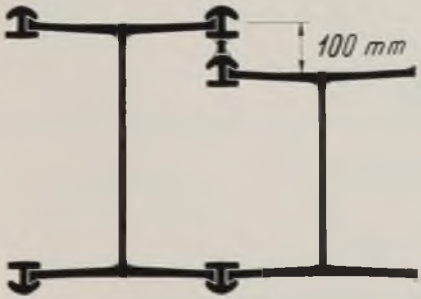


Abb. 17
für Übergang von
PSp 40 auf PSp 50 oder
PSp 50 auf PSp 60.
Gewicht des Übergangsschlosses
bei Schloß II: 40,0 kg/m,
„ „ III: 40,6 „

6. Pfeilerabschlüsse

Bei Pfeilerwänden oder bei Dalben empfiehlt es sich, die offenen Flansche der Außenbohlen durch besondere Abschlüsse zu überdecken. Diese Pfeilerabschlüsse werden meist nur bis unter den niedrigsten Wasserstand heruntergeführt. An die Außenbohlen werden vor dem Rammen kurze Schloßstücke angeschweißt, auf die sich die Abschlüsse dann aufsetzen können. Dienen jedoch die Abschlüsse zur Verstärkung, wie beispielsweise bei Dalben, dann müssen sie bis unter den Einspannpunkt reichen.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen für die verschiedenen Profile einige Ausführungsmöglichkeiten.

Abb. 9
Für PSp 30
Spundwinkel mit 2 Schlössern

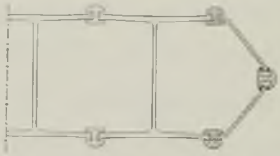


Abb. 11
Für PSp 35 und 40
Geteilter Spundwinkel mit 3 Schlössern

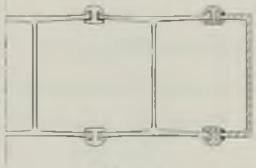
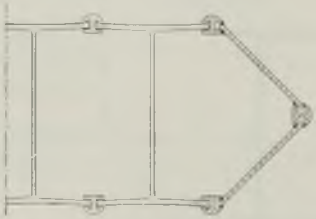


Abb. 10
Für PSp 30, 35 und 40
⊏-Stahl NP 30, 35 und 40
mit 2 Schlössern

Abb. 15
Für alle Profile
1 Breitflachstahl mit 2 Schlössern

Abb. 12



Für PSp 50, 60 und 80

2 Breitflachstähle
mit 3 Schlössern

Bei Bestellungen sind die Abbildungsnummern anzugeben

Gewichte der Pfeilerabschlüsse

nach den Abb. 9, 10, 11, 12 und 15

Profil-bezeich-nung PSp	Abb. 9 1 Spund-winkel 2 Schlösser kg/m	Abb. 10 1 ⊏-Stahl 2 Schlösser kg/m	Abb. 11 1 geteilter Spundwinkel 3 Schlösser kg/m	Abb. 12 2 Flach-stähle 3 Schlösser kg/m	Abb. 15 1 Flach-stahl 2 Schlösser kg/m
30 L	65,2	71,4	—	66,6	44,7
30 S	76,0	82,2	—	70,0	58,3
35 L	—	96,6	88,6	81,0	61,4
35 S	—	97,2	89,2	82,0	65,3
40 L	—	107,8	88,6	101,0	68,2
40 S	—	108,4	89,2	102,0	75,7
50 L	—	—	—	114,0	80,1
50 S	—	—	—	115,0	85,1
60 L	—	—	—	127,0	93,5
60 S	—	—	—	127,0	94,6
80 S	—	—	—	179,0	117,0
35 SS	—	102,6	92,6	91,0	69,7
40 SS	—	—	92,6	105,5	80,0
50 SS	—	—	—	118,6	89,5
60 SS	—	—	—	131,0	99,4

Zahlentafel 9

7. Paß- und Keilbohlen

Sind zum Schließen verschiedener Rammabschnitte oder eines Spundwandkastens Paßbohlen notwendig, so können diese in der erforderlichen Breite nach den Abb. 18 oder 18a ausgeführt und geliefert werden. Sie werden in der Weise hergestellt, daß man bei einer Normalbohle von den Flanschen einen parallelen Teilstreifen herausbrennt und an dem stehengebliebenen Flanschstück die Keulen wieder anschweißt.

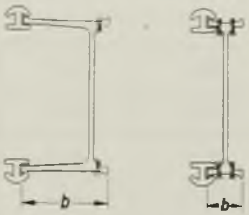


Abb. 18 Abb. 18a

× = Schweißnaht

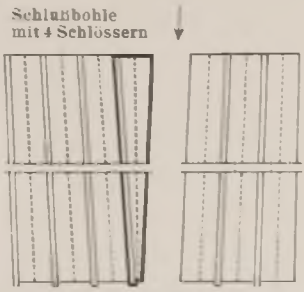
Mindestbreite b,
die nicht unterschritten werden kann.

bei Abb. 18	für PSp 30	200 mm
	für alle anderen Profile	230 mm
bei Abb. 18a	für alle Profile	80 mm

Falls beim Rammen Neigungen in stärkerem Maße aufgetreten sind, so empfiehlt es sich, zum schnelleren Ausgleich Keilbohlen nach den Abb. 19 bis 21 einzuschalten (vgl. auch Rammanweisungen auf S. 117). Die Keilbohlen werden in gleicher Weise wie die Paßbohlen aus Normalbohlen durch Abbrennen eines keilförmigen Flanschstreifens hergestellt. Bei ihrer Ausbildung muß lediglich beachtet werden, daß beim Rammen keine Verengung des Zellenquerschnittes eintritt, andernfalls muß die Sprengwirkung des in der keilförmig verlaufenden Zelle eingepreßten Bodens durch Spülung unschädlich gemacht werden. Daher wird im allgemeinen nur der schloßfreie Flansch keilförmig ausgebildet.

Bei Kopfvoreilung wird, wie die Skizze auf S. 33 zeigt, die Ausbildung gemäß Abb. 19 erforderlich; bei Fußvoreilung ist die Ausführung nach Abb. 21 zu verwenden. Zum Schließen zweier Wandabschnitte, bei denen Voreilungen vorhanden sind, muß genügend Raum gelassen werden, um nach den erforderlichen Keilbohlen als Schlußbohle eine normale Bohle mit 4 Schlössern rammen zu können.

Bei Kopfvoreilung
Keilbohlen nach Abb. 19



Beim Schluß zweier Wandabschnitte
Keilbohlen nach Abb. 20

Bei Fußvoreilung
Keilbohlen nach Abb. 21

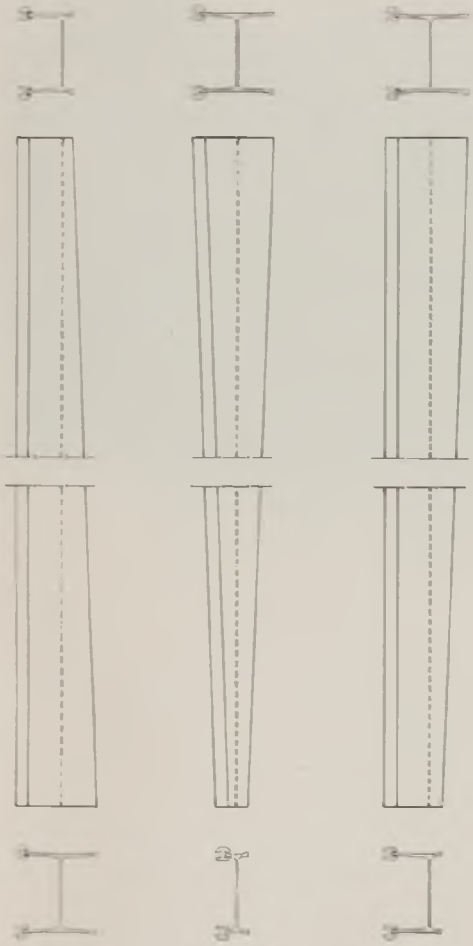
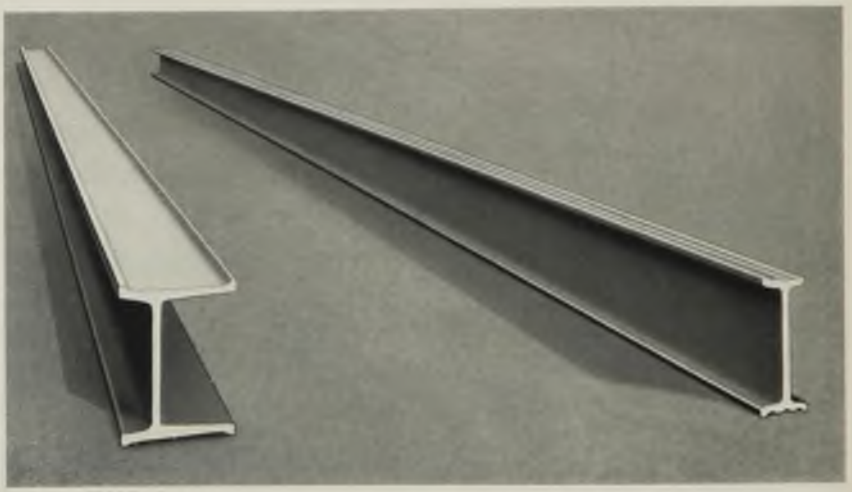


Abb. 19 Abb. 20 Abb. 21

Bei starken Neigungen wird man zweckmäßig mehrere Keilbohlen nacheinander rammen. Es empfiehlt sich, die Keilbohlen so kurz als möglich zu halten, damit die Neigungen nicht zu flach werden, und hierdurch der Ausgleich schneller herbeigeführt werden kann.

Die Herstellung der Paß- und Keilbohlen erfolgt zweckmäßig auf dem Lieferwerk, da hier die Möglichkeit zum einwandfreien Richten der geschweißten Bohlen gegeben ist. Sie können jedoch auch in gut eingerichteten Baustellen-Werkstätten angefertigt werden. Das Richten kann dort behelfsmäßig durch Schrumpfen erfolgen (einseitige Anwärmung).



Keilbohle und Paßbohle aus Peiner Kastenspundbohlen

III.

Zubehörteile
zu
Uferwänden und Dalben

1. Verankerungen

Die auf eine Spundwand wirkenden Erddruckkräfte werden unten durch die Einspannung der Bohlen im Boden aufgenommen, während sie im oberen Teil durch Zuganker auf Pfahlböcke, Ankerwände oder Ankerplatten übertragen werden. Diese Zuganker werden im allgemeinen aus Rundstahl hergestellt (s. Zahlentafeln 10 u. 11, 10a u. 11a, S. 42—45).

Die Normalverankerung der Peiner Kastenspundwände, wie sie meist ausgeführt wird, zeigt die Abb. 22. Der Anschluß der Anker an die Kastenwand erfolgt hierbei in einfachster Weise durch Mutterplatten, die von oben in die Zellen herabgelassen werden. Das Ankeranschlußstück wird dann von außen durch das in die Spundwand gebrannte Loch gesteckt, in die mit Gewinde versehene Mutterplatte eingeschraubt und durch eine Gegenmutter in seiner Lage festgehalten. Die Mutterplatten werden in geschmiedeter oder geschweißter Ausführung hergestellt. Um den Ankern die notwendige Beweglichkeit beim Einbau zu geben und um zusätzliche

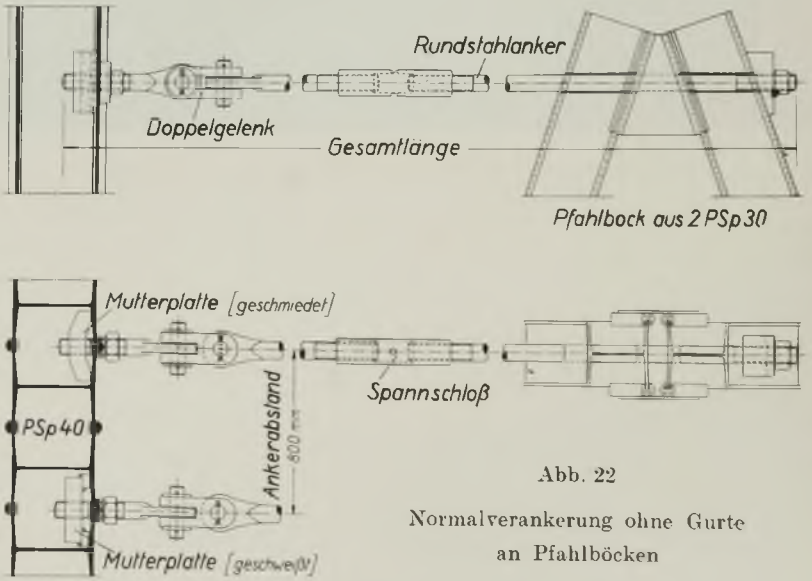


Abb. 22

Normalverankerung ohne Gurte an Pfahlböcken

Biegungsspannungen bei Setzungen auszuschließen, ist unmittelbar hinter der Spundwand ein Doppelgelenk (s. Abb. 31 und Zahlentafel 12, S. 46 u. 47) einzuschalten, das Bewegungen nach allen Richtungen gestattet. Zum Anspannen des Ankers dient das Spannschloß, das möglichst im vorderen Teil angeordnet wird.

Als Ankerabstand wird bei vorstehender Ausführung meist das Maß von 0,80 m, d. i. Doppelbohlenbreite, nicht überschritten. Wenn man jedoch die Spundwände in Höhe der Ankerlage ausbetoniert, so kann man unter Ausnutzung der sich dann ergebenden Gewölbewirkung auch größere Ankerabstände bei dieser Ausbildung des Ankeranschlusses vorsehen. Jedoch geht man zweckmäßig hierbei nicht über einen Abstand von 1,60 m hinaus.

Je nach den vorliegenden Verhältnissen kann die Verankerung statt an Pfahlböcken auch an Ankerwänden aus Stahlspundbohlen oder an Ankerplatten aus Stahlbeton erfolgen. Der Ankeranschluß an der Ankerwand wird in gleicher Weise wie an der Hauptwand ausgeführt. Bei Stahlbetonplatten ist eine ausreichend starke Unterlagsplatte unter der Endmutter anzuordnen.

Ankeranschluß mit Doppelgelenken

Bei größeren Ankerabständen ist zu prüfen, ob die vorliegenden Verhältnisse die Anordnung eines Gurtes aus 2 ⊏- oder 2 I-Stählen zum Ausrichten der Wand oder zur Verteilung der Erddruckbelastung auf die Anker erfordern. Der Gurt wird durch kräftige Bolzen, die in entsprechende Mutterplatten eingeschraubt werden, mit der Spundwand verbunden und

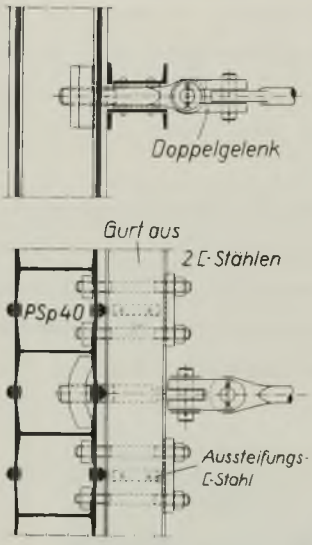


Abb. 23
Ankeranschluß mit Gurtung

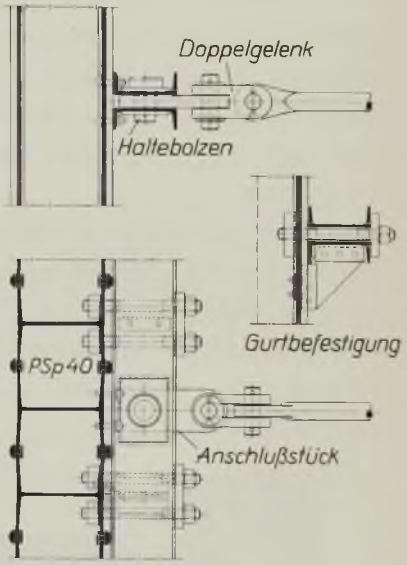


Abb. 24
Gelenkiger Ankeranschluß am Gurt

auf Konsolen aufgelagert (s. Abb. 24). Statt der Auflagerung kann auch eine Aufhängung der ⊏-Stähle an der Spundwand mit Hängeblechen gewählt werden. Die Anker sind bei Anordnung einer Gurtung entweder in der Normalausbildung an Mutterplatten nach Abb. 23 oder, wie die Abb. 24 und 25 zeigen, unmittelbar am Gurt anzuschließen. Die Verbindung erfolgt bei Abb. 24 mit einem Anschlußstück, das durch einen kräftigen Haltebolzen zwischen den ⊏-Stählen befestigt ist. Auch in

diesem Falle schaltet man hinter dem Gurt ein Doppelgelenk ein, um Biegungsbeanspruchungen auszuschließen. Eine besonders vorteilhafte Ausführungsart zeigt die Abb. 25 (DRP. angem.), bei der das Ankerauge infolge der punktförmigen Auflagerung nach jeder waagerechten und senkrechten Richtung auf dem starken Haltebolzen abrollen kann. Der Einbau erfolgt hierbei in einfachster Weise durch Hereinstecken des kräftigen Haltebolzens (s. a. S. 213).

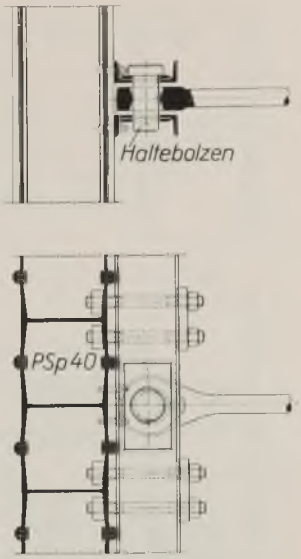


Abb. 25
Gelenkiger Ankeranschluß mit punktförmiger Auflagerung (DRP. angem.); allseitige Beweglichkeit

Die Stege der ⊏-Stähle sind an den Stellen der Ankeranschlüsse in den vorstehend beschriebenen Fällen durch eingeschweißte Laschen entsprechend zu verstärken.

Der Ankeranschluß kann auch, wie aus den Abb. 26 und 26a (S. 40) ersichtlich, am Steg der Kastenspundbohlen erfolgen. Bei nicht zu schwerem Boden macht die Rammung der Bohlen mit den angenieteten Laschen keine Schwierigkeiten; gegebenenfalls sind die Laschen durch Konsolbleche zu unterstützen. Andererseits können sie auch erst nach dem Rammen angeschraubt werden, vorausgesetzt, daß die Anker nicht zu tief unter der Bohlenoberkante liegen (s. S. 209). Der Anker wird durch Hindurchstecken des Gelenkbolzens mühelos angeschlossen. Infolge der Eigensteifigkeit der Kastenspundbohlen kann die Verankerung an jeder 2. oder 3. Bohle erfolgen. Durch Einschalten eines Doppelgelenkes kann dem Anker noch eine seitliche Beweglichkeit gegeben werden, wobei durch das Einschweißen eines Ringes in die Ausbohrung der Lasche auch bei dieser Ausbildung die Vorteile der Punktauflagerung erzielt werden (Abb. 26a).

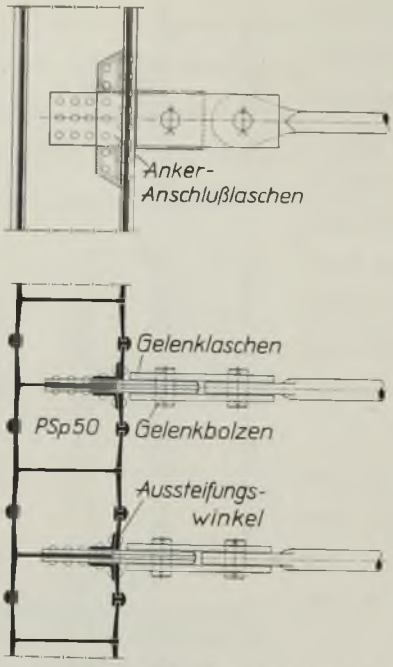


Abb. 26. Ankeranschluß am Bohlensteg

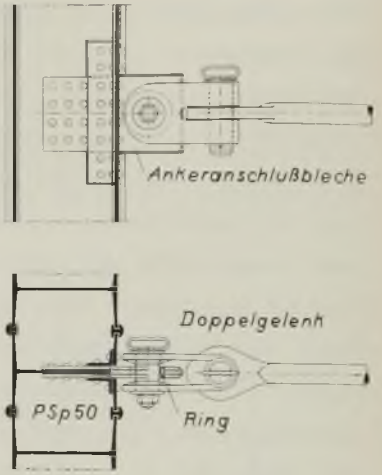


Abb. 26a.
Gelenkiger Ankeranschluß
am Bohlensteg

Unterwasserverankerung

Die vorstehend aufgeführten Ausführungen eignen sich auch für eine Unterwasserverankerung, da die Verbindung ohne Schwierigkeit durch Taucher hergestellt werden kann (s. S. 200).

Eine weitere Möglichkeit, die Verankerung auch unter Wasser anzuschließen, ist in Abb. 27 dargestellt. Das Schloß wird in Höhe der Ankerlage gestoßen. Nach Beendigung der Rammung wird der obere Schloßteil gezogen und dann das Ankeranschlußstück mit dem gelenkig angeschlossenen Anker durch das entsprechend gekürzte Schloß heruntergetrieben.

Abb. 27. Unterwasserverankerung
mit Stahlgußkörpern

Verankerung der zusammengesetzten Spundwand Peine—Krupp

Für die Verankerung der auf S. 81 näher beschriebenen zusammengesetzten Spundwand aus Peiner Kastenspundbohlen und Krupp-Bohlen gibt es zwei verschiedene Möglichkeiten (s. Abb. 28 u. 29). Entweder schließen die Anker an den Peiner Bohlen an und die Krupp-Bohlen werden durch Zwischengurte mit den Peiner Bohlen verbunden, oder es wird ein durchlaufender Gurt angeordnet, mit dem alle Bohlen verbunden werden und an dem die Anker angreifen. Die letztere Bauweise bietet außerdem bessere Möglichkeiten, die Wand einwandfrei auszurichten.

Bei der Verwendung der höheren Peiner Profile hat man auch schon den durchlaufenden Gurt durch entsprechende Ausschnitte der Peiner Bohlen hindurchgeführt (vgl. nebenstehendes Bild).

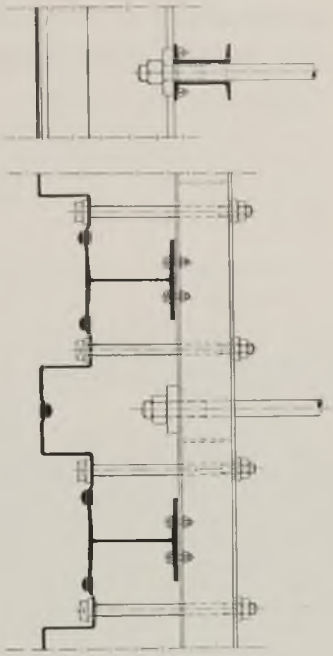


Abb. 28. Verankerung einer zusammengesetzten Spundwand

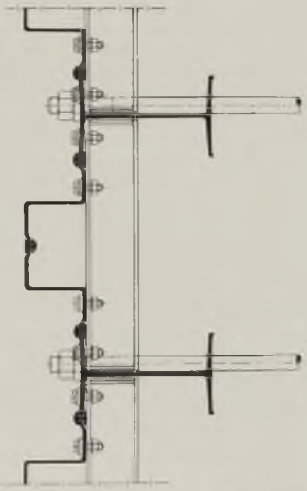


Abb. 29. Verankerung einer zusammengesetzten Spundwand

Querschnittsbemessung von Rundstahlankern mit metrischem Gewinde nach DIN 14

Bezeichnungen nach Abb. 30

Nach Bestimmungen des Reichswirtschaftsministers sollen in Zukunft nur noch Anker mit metrischem Gewinde hergestellt werden.
In der Übergangszeit werden noch verschiedentlich Anker mit Whitworth-Gewinde (Zoll) geliefert; die hierfür gültigen Maße und Gewichte sind auf den Seiten 44 und 45 angegeben.

Rundstahl		Kern-durch-messer	Kern-quer-schnitt	Zulässige Zugkraft				Ge-winde-länge g	Ge-wicht von 1 lfd. m
				Belastungs-fall 1 [2])		Belastungs-fall 2			
Ge-winde-durch-messer	Liefer-durch-messer D			St 37	St 52	St 37	St 52		
M	mm [1])	mm	cm²	t	t	t	t	mm	kg
30	30	25,1	4,96	**5,0**	**7,4**	5,5	8,4	160	**5,6**
36	36	30,4	7,28	**7,3**	**10,9**	8,0	12,4	190	**8,0**
42	42	35,8	10,04	**10,0**	**15,1**	11,0	17,1	220	**10,9**
48	48	41,1	13,23	**13,2**	**19,8**	14,6	22,5	240	**14,2**
56	55	48,4	18,37	**18,4**	**27,6**	20,2	31,2	240	**18,7**
64	63	55,7	24,34	**24,3**	**36,5**	26,8	41,4	270	**24,5**
72	73	63,7	31,83	**31,8**	**47,7**	35,0	54,1	290	**32,9**
80	80	71,7	40,34	**40,3**	**60,5**	44,4	68,6	290	**39,5**
89	90	80,7	51,10	**51,1**	**76,7**	56,2	86,9	290	**49,9**
99	100	90,7	64,56	**64,6**	**96,8**	71,0	110,0	290	**61,7**

[1]) Die Lieferdurchmesser der Anker entsprechen den nach dem „Vereinfachten Walzprogramm" vom Stahlwerks-Verband vorgeschlagenen Rundstahl-Profilen in Übereinstimmung mit DIN-Vornorm 1013.

[2]) Die zulässigen Beanspruchungen sind den Hochbau-Vorschriften DIN 1050, § 7e) entnommen; sie betragen bei Belastungsfall 1 (Normalfall) für St 37: $\sigma = 1000$ kg/cm² und für St 52: $\sigma = 1500$ kg/cm². Wenn bei der Ermittlung des Ankerzuges sämtliche auftretenden Kräfte berücksichtigt und die Bodenbeiwerte genau bekannt sind, können die Zugkräfte nach Belastungsfall 2 eingesetzt werden; hierbei ist für St 37: $\sigma = 1100$ kg/cm² und für St 52: $\sigma = 1700$ kg/cm².

Zahlentafel 10

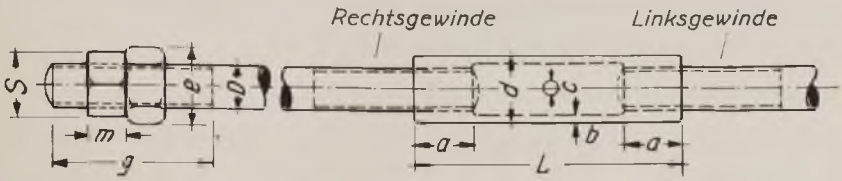


Abb. 30

Anker	Spannschloß [1])						Muffe [2])		Mutter			
	Länge	Außendurchm.	Gewindelänge	Wandstärke	Spannlochdurchm.	Gewicht	Länge	Gewicht	Höhe	Gewicht	Schlüsselweite	Eckdurchm.
M	L mm	d mm	a mm	b mm	c mm	kg	L' mm	kg	m mm	kg	s mm	e mm
30	300	48	50	7	18	**2,3**	100	**0,9**	22	**0,2**	46	53
36	350	55	60	7,5	20	**3,4**	120	**1,4**	28	**0,4**	55	64
42	400	63	70	8,5	20	**5,1**	140	**2,1**	32	**0,6**	65	75
48	450	73	75	10	25	**7,7**	150	**3,0**	38	**0,9**	75	87
56	450	85	85	12,5	30	**10,8**	170	**4,5**	44	**1,3**	85	98
64	500	100	90	15	33	**17,0**	200	**6,8**	50	**1,8**	95	110
72	550	110	105	16	36	**22,0**	210	**9,3**	55	**2,4**	105	121
80	550	125	115	19,5	36	**29,9**	230	**13,5**	65	**3,3**	115	133
89	550	140	120	22	40	**37,8**	240	**17,8**	70	**4,6**	130	150
99	550	150	130	22	40	**41,5**	260	**21,1**	80	**6,3**	145	167

[1]) Die Längen L der Spannschlösser können zur Kosten- und Stahlersparnis kürzer gewählt werden, wenn zu erwarten ist, daß der Spielraum im Spannschloß zwischen den Gewindelängen a beim Anziehen der Wand nicht voll ausgenutzt wird.

[2]) Die Muffen zur Unterteilung von langen Ankerstangen haben die gleichen Außendurchmesser und Spannlochdurchmesser wie die Spannschlösser; sie haben durchgehendes Rechtsgewinde.

Die Spannschlösser, Muffen und Muttern sind in einer den Ankerstangen entsprechenden Stahlgüte herzustellen.

Zahlentafel 11

Querschnittsbemessung von Rundstahlankern mit Whitworth-Gewinde nach DIN 11

Bezeichnungen nach Abb. 30, Seite 43

Rundstahl		Kern-durch-messer	Kern-quer-schnitt	Zulässige Zugkraft				Ge-winde-länge g	Ge-wicht von 1 lfd. m
				Belastungs-fall 1 [2]		Belastungs-fall 2			
Ge-winde-durch-messer	Liefer-durch-messer D			St 37	St 52	St 37	St 52		
Zoll	mm [1]	mm	cm²	t	t	t	t	mm	kg
1	25	21,3	3,58	**3,6**	**5,4**	3,9	6,1	150	**3,9**
$1^1/_4$	32	27,1	5,77	**5,8**	**8.7**	6,3	9,8	160	**6,3**
$1^1/_2$	38	32,7	8,39	**8,4**	**12,6**	9,2	14,3	190	**8,9**
$1^3/_4$	45	37,9	11,31	**11,3**	**17,0**	12,4	19,2	220	**12.5**
2	50	43,6	14,91	**14,9**	**22,4**	16,4	25,3	240	**15,4**
$2^1/_4$	58	49,0	18,87	**18,9**	**28,3**	20,8	32,1	240	**20,7**
$2^1/_2$	63	55,4	24,08	**24,1**	**36,1**	26,5	40,9	270	**24.5**
$2^3/_4$	70	60,6	28,80	**28,8**	**43,2**	31,7	49,0	270	**30,2**
3	75	66,9	35,16	**35,2**	**52,7**	38,7	59,8	290	**34,7**
$3^1/_4$	83	72,5	41,33	**41,3**	**62,0**	45,5	70,3	290	**42,5**
$3^1/_2$	90	78,9	48,89	**48,9**	**73,3**	53,8	83,1	290	**49,9**
$3^3/_4$	95	84,4	55,96	**56,0**	**83,9**	61,6	95,1	290	**55,6**
4	100	90,8	64,70	**64,7**	**97,1**	71,2	110,0	290	**61,7**

[1]) Die Lieferdurchmesser der Anker entsprechen den nach dem „Vereinfachten Walzprogramm" vom Stahlwerks-Verband vorgeschlagenen Rundstahl-Profilen in Übereinstimmung mit DIN-Vornorm 1013.

[2]) Die zulässigen Beanspruchungen sind den Hochbau-Vorschriften DIN 1050, § 7e) entnommen; sie betragen bei Belastungsfall 1 (Normalfall) für St 37: $\sigma = 1000$ kg/cm² und für St 52: $\sigma = 1500$ kg/cm². Wenn bei der Ermittlung des Ankerzuges sämtliche auftretenden Kräfte berücksichtigt und die Bodenbeiwerte genau bekannt sind, können die Zugkräfte nach Belastungsfall 2 eingesetzt werden; hierbei ist für St 37: $\sigma = 1100$ kg/cm² und für St 52: $\sigma = 1700$ kg/cm².

Zahlentafel 10a

Nach den Bestimmungen sollen in Zukunft nur noch Anker mit metrischem Gewinde (mm) geliefert werden, s. S. 42 und 43.
Da jedoch in der Übergangszeit zur Beschaffung der Schneidwerkzeuge für metrisches Gewinde noch Anker mit Whitworth-Gewinde (Zoll) geliefert werden, werden hierfür ebenfalls die Abmessungen und Gewichte angegeben.

Anker	Spannschloß [1])						Muffe [2])		Mutter			
	Länge	Außendurchm.	Gewindelänge	Wandstärke	Spannlochdurchm.	Gewicht	Länge	Gewicht	Höhe	Gewicht	Schlüsselweite	Eckdurchm.
D Zoll	L mm	d mm	a mm	b mm	c mm	kg	L' mm	kg	m mm	kg	s mm	e mm
1	250	42	40	6	17	**1.5**	80	**0,6**	20	**0,15**	41	47
$1^1/_4$	300	50	50	7	18	**2,5**	100	**1,0**	25	**0,3**	50	58
$1^1/_2$	350	60	60	9	20	**4,3**	120	**1,7**	30	**0,5**	60	69
$1^3/_4$	400	70	70	10	20	**6,6**	140	**2,7**	35	**0,7**	70	81
2	450	80	75	12,5	25	**10,0**	150	**3,7**	40	**1,1**	80	92
$2^1/_4$	450	90	85	13	30	**12,3**	170	**5,3**	45	**1,3**	85	98
$2^1/_2$	500	100	90	15	33	**17,1**	180	**6,9**	50	**1,9**	95	110
$2^3/_4$	500	105	100	15	33	**18,0**	200	**7,9**	55	**2,5**	105	121
3	550	115	105	17,5	36	**24,5**	210	**10,1**	60	**2,9**	110	127
$3^1/_4$	550	125	115	18	36	**28,5**	230	**13.3**	65	**3,8**	120	139
$3^1/_2$	550	140	120	22	40	**38,1**	240	**18,1**	70	**4,7**	130	150
$3^3/_4$	550	150	125	24	40	**44,3**	250	**21,7**	75	**5,2**	135	156
4	550	150	130	22	40	**41,1**	260	**20,8**	80	**6,4**	145	167

[1]) Die Längen L der Spannschlösser können zur Kosten- und Stahlersparnis kürzer gewählt werden, wenn zu erwarten ist, daß der Spielraum im Spannschloß zwischen den Gewindelängen a beim Anziehen der Wand nicht voll ausgenutzt wird.

[2]) Die Muffen zur Unterteilung von langen Ankerstangen haben die gleichen Außendurchmesser und Spannlochdurchmesser wie die Spannschlösser, sie haben durchgehendes Rechtsgewinde.

Die Spannschlösser, Muffen und Muttern sind in einer den Ankerstangen entsprechenden Stahlgüte herzustellen.

Zahlentafel 11a

Doppelgelenke nach Abb. 31 gestatten Bewegungen des Ankers in allen Richtungen; Biegungsbeanspruchungen sind ausgeschlossen. Die Beweglichkeit dieses Gelenkes bleibt im Gegensatz zu der früher oft verwendeten Kugelplatte auch voll erhalten, wenn der Anker unter Spannung ist. Das hier vorgeschlagene Doppelgelenk ist also in technischer Beziehung die zweckmäßigste Gelenkausbildung und in wirtschaftlicher

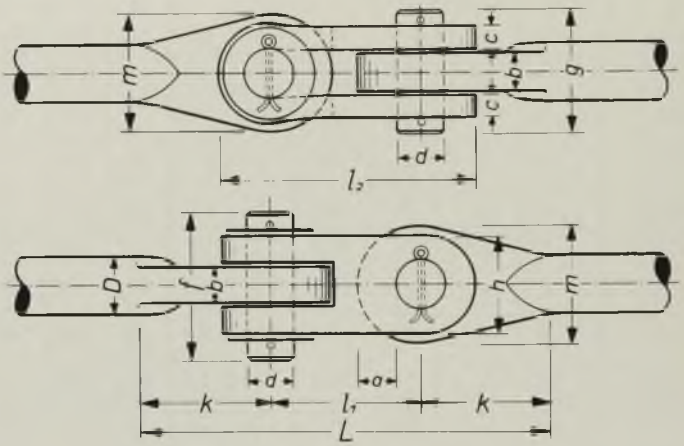


Abb. 31. Doppelgelenk

Beziehung besonders vorteilhaft, weil das Gewicht um rd. 25 bis 35 v. H. geringer als bei anderen Konstruktionen und zudem die Herstellung sehr einfach ist. Die Querschnittsbemessung des Gelenkbleches und der Ankeraugen ist nach behördlichen Richtlinien erfolgt[1]). Maßgebend für die Bemessung ist der jeweilige Kernquerschnitt des Ankers.

[1]) Vgl. Die Bautechnik, Jahrg. 1938, Heft 6, S. 70.

Ausbildung der Doppelgelenke

Anker-durch-messer		Abmessungen											Gewichte			Doppel-gelenk	
		Ankerauge				Gelenkblech				Bolzen			1 Ankerauge	1 Gelenkblech	2 Bolzen	Gesamt-länge	Gesamt-gewicht[1]
D		a	b	m	k	c	h	l_1	l_2	d	f	g				L	
Zoll	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg	kg	kg	mm	kg
$1^1/_2$	38	24	25	72	85	16	65	100	170	32	105	85	1,2	2,6	1,1	270	**6.2**
$1^3/_4$	45	27	30	85	105	18	75	110	190	38	125	100	2,1	3,2	2,0	320	**9,7**
2	50	33	33	105	125	20	90	135	235	48	155	125	3,4	5,1	4,0	385	**16,3**
$2^1/_4$	58	35	39	110	140	22	105	145	255	50	170	130	4,9	6,8	4,8	425	**22.1**
$2^1/_2$	63	41	42	125	155	25	115	160	280	58	185	145	6,4	9,6	6,7	470	**29.8**
$2^3/_4$	70	44	47	135	165	28	125	170	302	63	200	160	8,3	12,7	8,8	500	**38,9**
3	75	50	50	155	175	30	140	190	335	70	210	165	10,8	18,2	11,3	540	**52,1**
$3^1/_4$	83	54	55	165	190	33	145	200	358	75	220	175	13,5	20,2	13,7	580	**62.3**
$3^1/_2$	90	60	60	180	200	35	165	215	390	80	240	185	17,5	25,7	16,8	615	**79,0**
$3^3/_4$	95	64	63	190	215	37	180	235	420	85	250	190	20,9	33,7	19,6	665	**96.7**
4	100	70	66	210	230	40	200	250	450	90	280	205	25,7	44,0	24,0	710	**122.0**

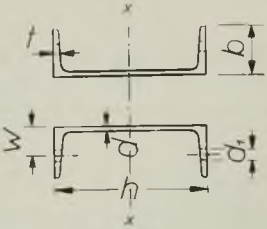
[1]) Das Gesamtgewicht versteht sich für 2 Ankeraugen, 1 Gelenkblech, 2 Bolzen, 2 Unterlagsscheiben und 4 Splinte, also für die Gesamtlänge L.

Zahlentafel 12

Bei einer etwaigen Überbeanspruchung können nur die leicht zu ersetzenden Bolzen reißen.

Bei Ankern aus St 52 sind sämtliche Teile des Gelenkes (außer Unterlagsplatten und Splinten) ebenfalls aus St 52 oder einer gleichwertigen Stahlgüte nach den Abmessungen obiger Zahlentafel herzustellen.

Ankergurte aus ⊏-Stahl



Werte nach DIN 1026

Bezeichnung	Abmessungen				Gurt aus ⊏			Flanschlöcher		Gewicht eines Gurtstoßes rd.
					Gewicht	Widerstandsmoment	Aufnehmbares Biegungsmoment[1])			
⊏	h	b	d	t	G	W_x	M	w	d_1	[2])
	mm	mm	mm	mm	kg/m	cm³	tm	mm	mm	kg
16	160	65	7,5	10,5	**37,6**	232	**3,25**	35	20	27
18	180	70	8	11	**44,0**	300	**4,20**	40	20	28
20	200	75	8,5	11,5	**50,6**	382	**5,35**	40	23	31
22	220	80	9	12,5	**58,8**	490	**6,86**	45	23	46
24	240	85	9,5	13	**66,4**	600	**8,40**	45	26	48
26	260	90	10	14	**75,8**	742	**10,40**	50	26	53
28	280	95	10	15	**83,6**	896	**12,40**	50	26	70
30	300	100	10	16	**92,4**	1070	**15,00**	55	26	73
35	350	100	14	16	**121,0**	1470	**20,60**	55	26	100
40	400	110	14	18	**144,0**	2040	**28,60**	60	26	120

[1]) Bei einer Beanspruchung von $\sigma = 1400$ kg/cm².
[2]) Das Gewicht versteht sich für 4 Flansch- und 2 Steglaschen einschließlich der erforderlichen Schrauben.

Zahlentafel 13

Für Spundwände aus Peiner Kastenbohlen sind im allgemeinen kleinere Profile als ⊏ 20 als Gurtung nicht zu empfehlen. Bei der Wahl des Querschnittes sind die nicht berechenbaren Kräfte, die beim Ausrichten der Wand auftreten können, zu berücksichtigen. Zur Aussteifung sind zwischen den beiden Gurt-⊏-Stählen noch besondere Aussteifungs-⊏-Stähle vorzusehen.
Bei der Bearbeitung der Gurtungen in der Werkstatt werden nur die Löcher an einem Stoßende gebohrt, während das andere Stoßende unbearbeitet bleibt und mit einer Überlänge von 100 mm zum Anpassen auf der Baustelle geliefert wird.

2. Kopfausbildungen

Bei Spundwandbauwerken wird als oberer Abschluß ein Holm aus Stahlprofilen oder aus Stahlbeton angebracht. Nachstehend sind einige Ausführungsmöglichkeiten dargestellt, und zwar zeigen die Abb. 32 und 33 Stahlholme und die Abb. 34 und 35 Stahlbetonholme. Entsprechend den starken Peiner Bohlen sind für die Holme ausreichend kräftige Querschnitte vorzusehen. Soll auf der Spundwand eine Kranschiene angebracht werden, so empfiehlt sich die Anbringung eines Stahlbetonholmes. Die Bewehrung wird dabei in die Zellen der Spundwand eingeführt, zu welchem Zweck der landseitige Flansch, wie in Abb. 35 a dargestellt, entsprechende Einschnitte erhält (s. a. S. 232 u. 240).

Abb. 32

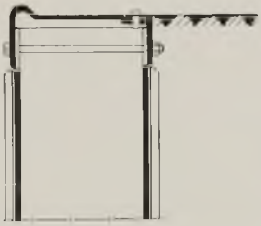


Abb. 33

Union-Holmträger
der Dortmund-Hoerder Hüttenverein A.-G., Dortmund; verbreitert durch angeschweißten Flachstahl.

Gewicht bei PSp 30 = 64 kg/m
" " " 35 = 70 "
" " " 40 = 73 "
" " " 50 = 81 "
einschl. L 80 · 120 · 12

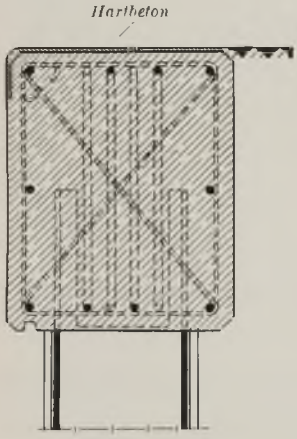


Abb. 34

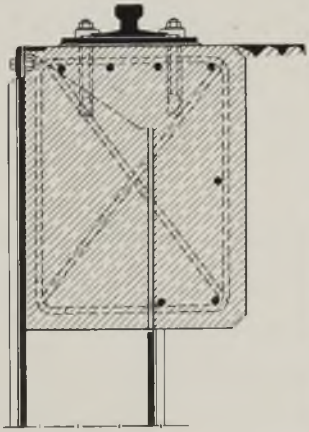


Abb. 35

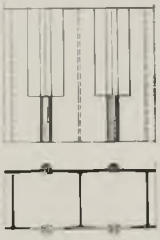


Abb. 35 a

Wird der obere Teil der Kaimauer in Beton ausgebildet, so ist zur Auflagerung der Querschnitt am Kopf der Bohlen zu vergrößern. Es wird zu diesem Zweck ein Reiter aus Winkel- und Flachstahl über den Steg gesetzt, wie in Abb. 36 dargestellt. Als vorderen Abschluß der Spundwand kann man einen Flachstahl 200 · 12 mm anordnen.

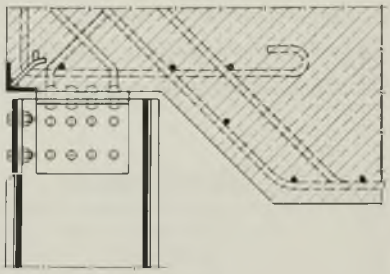


Abb. 36

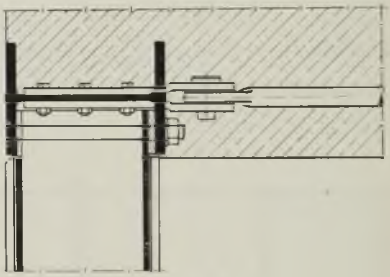


Abb. 37

In Abb. 37 ist der Spundwandkopf mit einem kräftigen P-Träger abgedeckt, der gleichzeitig in dem Beton verankert ist.

Weitere Holmausführungen sowie Verstärkungen des Spundbohlenkopfes zur Übertragung senkrechter Lasten siehe die Ausführungsbeispiele auf den S. 210 u. 213. Siehe auch Vorschlag S. 173.

3. Poller

Die zum Festmachen von Schiffen an Kaimauern notwendigen Poller können bei kleineren Ausführungen (bis zu 30 t Trossenzug) in einfacher Weise mit den Peiner Kastenspundbohlen verbunden werden. Die Abb. 38 und 39 zeigen zwei Ausführungsbeispiele, und zwar einen Kopfpoller sowie einen Kantenpoller. Schwerere Poller für größere Trossenzüge werden zweckmäßig in besonderen Betonfundamenten hinter der Spundwand angeordnet.

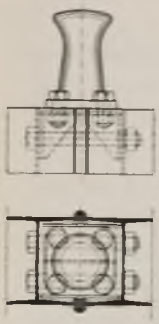


Abb. 38
Kopfpoller

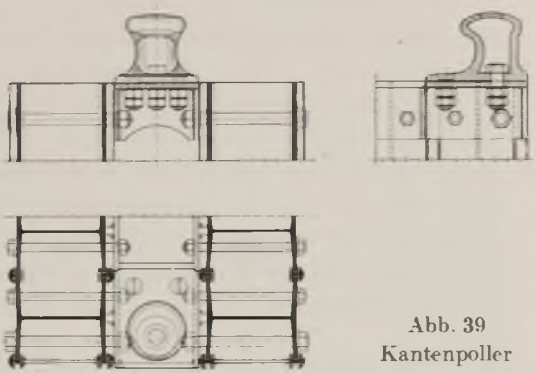


Abb. 39
Kantenpoller

Seitenpoller, mit denen vielfach Dalben ausgerüstet werden, sind auf einer an ein Spundbohlen-Zwischenstück angeschweißten Platte zu befestigen. Die kurzen Bohlen-Zwischenstücke werden zwischen zwei durchlaufenden Bohlen des Dalbens eingeschoben. Wie die Abb. 40a und b zeigen, können diese Poller sowohl als Einzel- wie auch als Doppelpoller ausgeführt werden. Beispiele über eingebaute Poller siehe S. 267, 270 ff.

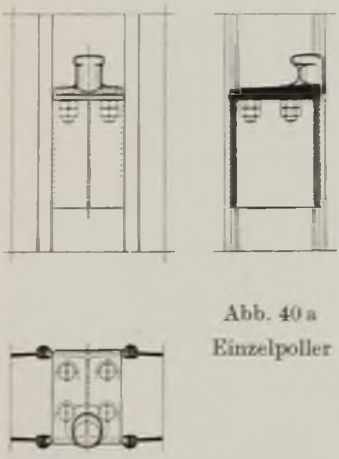


Abb. 40a
Einzelpoller

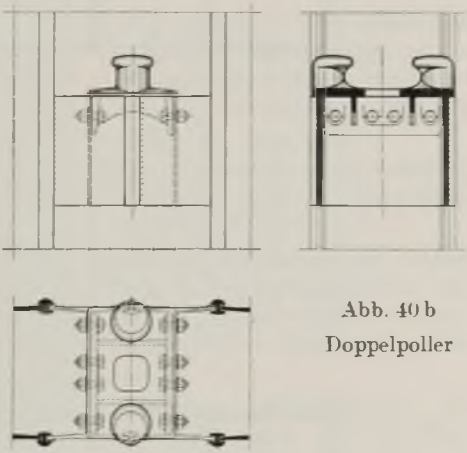


Abb. 40b
Doppelpoller

Schrifttum über Poller s. S. 53.

4. Haltevorrichtungen

Als weitere Festmachevorrichtungen dienen Haltekreuze, Halteketten und Halteringe. Über entsprechende Ausführungsmöglichkeiten bei Peiner Kastenspundbohlen geben die Abb. 41 bis 44 einige Beispiele. Die Haltevorrichtungen sind hier innerhalb der Spundwand angeordnet. Der vordere Flansch der Bohlen wird jeweils nach dem Rammen entsprechend ausgeschnitten, und die Befestigungsteile werden durch Schweißung oder Verschraubung mit den Spundbohlen verbunden. Die Bemessung der Querschnitte bei den Haltekreuzen erfolgt unter dem Gesichtspunkt, daß bei einer Überbeanspruchung nur der leicht auswechselbare Haltebolzen

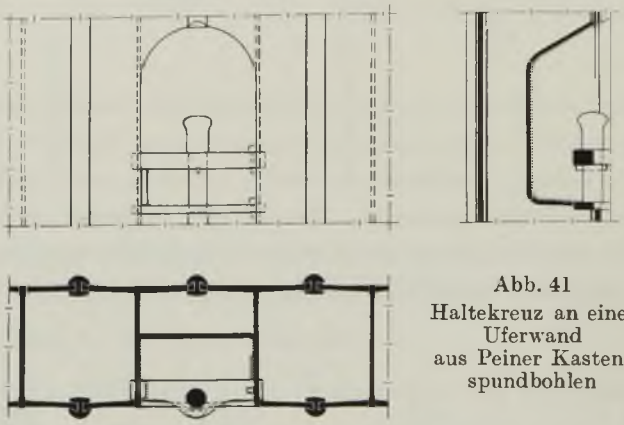


Abb. 41
Haltekreuz an einer Uferwand aus Peiner Kastenspundbohlen

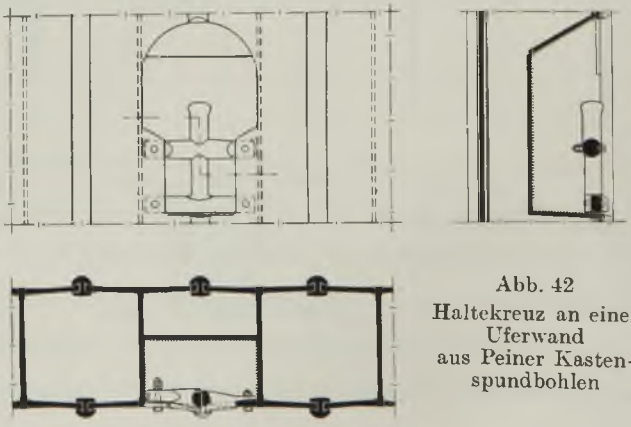


Abb. 42
Haltekreuz an einer Uferwand aus Peiner Kastenspundbohlen

zu Bruch geht. Sind an der Uferwand Reibehölzer vorgesehen, dann können die Haltevorrichtungen in ähnlicher Weise auch auf der Spundwand-Vorderfläche angeordnet werden. Über die Anbringung von Halteketten und Halteringen bei Dalben siehe auch S. 269.

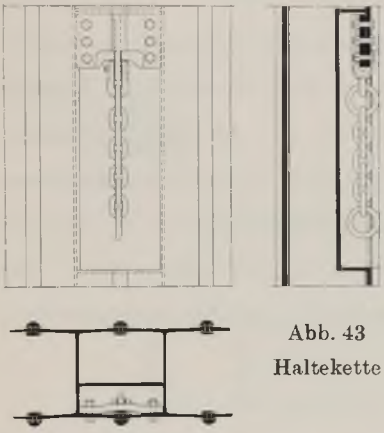


Abb. 43
Haltekette

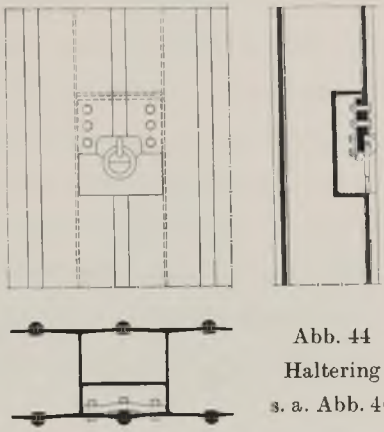


Abb. 44
Haltering
s. a. Abb. 46

Weitere Ausführungsmöglichkeiten von Uferwandausrüstungen sind in dem nachfolgenden Schrifttum enthalten:

Stein, Unfallschutz in Häfen und Schleusen. Herausgegeben von der Westdeutschen Binnenschiffahrts-Berufsgenossenschaft, Duisburg 1927.

Rogge, Ausrüstung der Seehäfen mit landfesten Pollern. Berlin 1930, W. Ernst & Sohn.

Hartwig, Ausrüstung von Schleusen an Binnenwasserstraßen mit Pollern, Haltekreuzen und Steigeleitern. Die Bautechnik 1933, S. 703.

Baumeister, Ausrüstungen der Ufereinfassungen in Seehäfen. Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft, Bd. 14 (1934/35), S. 238.

5. Leitern und Treppen

Die ferner zur Ausrüstung von Uferwänden und Dalben gehörenden Leitern können, wie die nachfolgenden Abbildungen zeigen, in einfacher Weise an den Peiner Kastenspundbohlen angebracht werden. Um die glatte Wandflucht nicht zu stören, werden die Leitern zweckmäßig in Nischen untergebracht, die nach dem Rammen durch Herausbrennen der Flansche hergestellt werden. Einzelheiten zeigen die Abb. 45 u. 46. Beim Vorhandensein von Reibehölzern kann man die Leitern auch vor der Wand anordnen, s. Abb. 47. Die Leitern werden so ausgeführt, daß man sie bei etwaigen Beschädigungen ohne besondere Schwierigkeit auswechseln kann. Die Leitersprossen werden zweckmäßig zur größeren Sicherheit beim Besteigen der Leiter aus Vierkantstahl hergestellt.

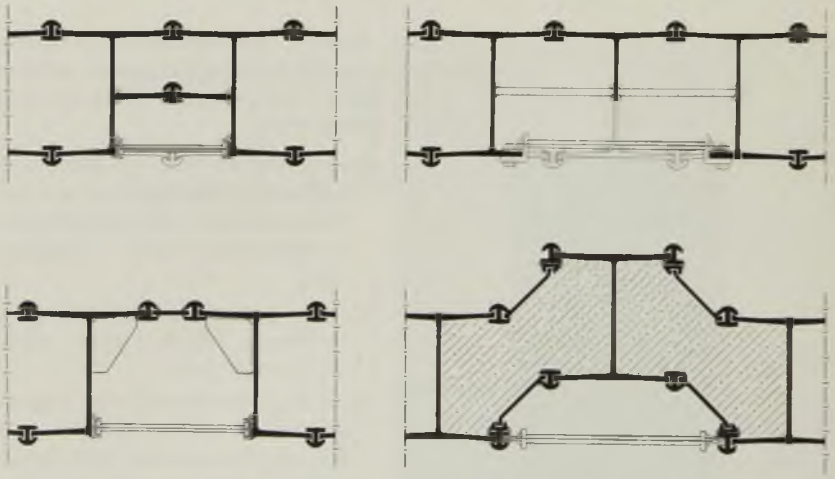


Abb. 45. Ausbildung von Leiternischen

Die Abb. 48 zeigt ein Ausführungsbeispiel für eine Treppe innerhalb einer Spundwand aus Peiner Kastenbohlen.

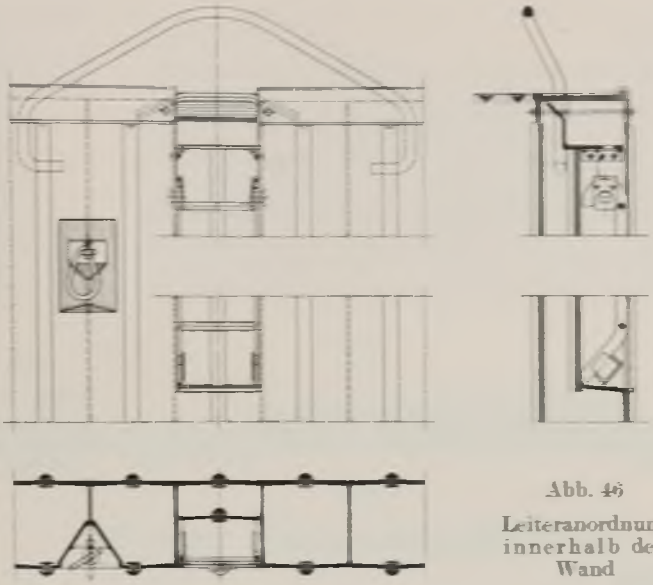


Abb. 46

Leiteranordnung innerhalb der Wand

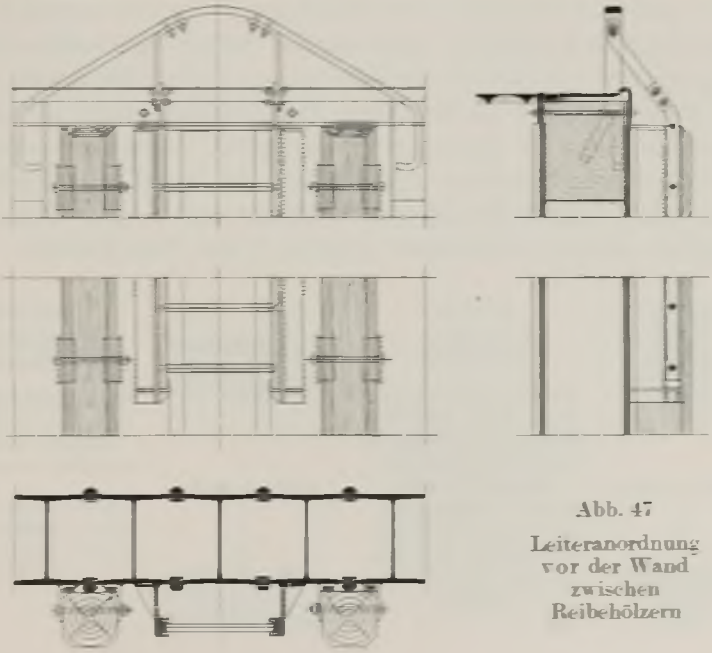


Abb. 47

Leiteranordnung vor der Wand zwischen Reibehölzern

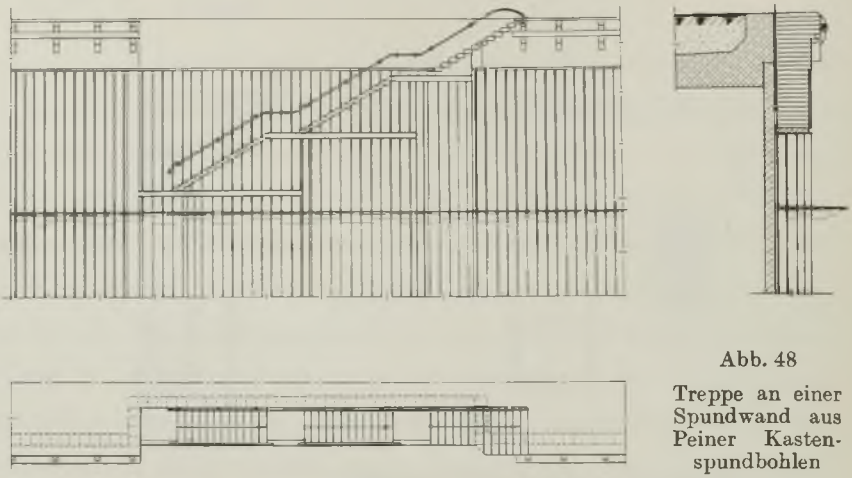


Abb. 48

Treppe an einer Spundwand aus Peiner Kastenspundbohlen

6. Reibehölzer

Bei der glatten Vorderfläche einer Wand aus Peiner Kastenspundbohlen, die nur durch die geringfügig vorspringenden und gut abgerundeten Schloßrücken unterbrochen wird, ist die Anbringung von Reibehölzern als Schutz gegen Beschädigungen der Fahrzeuge oder der Wand nicht erforderlich. Nur in den Fällen, in denen eine vorspringende Betonmauer aufgesetzt ist oder Leitern, Halteringe od. dgl. vor der Wandfläche angebracht werden sollen, müssen Reibehölzer angeordnet werden. Der Abstand der Reibehölzer wird im allgemeinen zwischen 5 und 12 m gewählt.

Abb. 49

Lotrechtes Reibeholz

Anstelle der Schweißung kann die Befestigung der Winkel durch Hammerkopfschrauben oder durch Stiftschrauben in mit Gewinde versehenen Löchern an der Spundbohle erfolgen

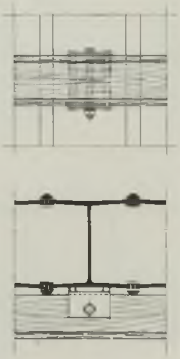


Abb. 50

Waagerechtes Reibeholz

Diese Anordnung ist nur bei gleichbleibendem Wasserstand zu empfehlen.

Die Reibehölzer können in beiden Fällen leicht ausgewechselt werden

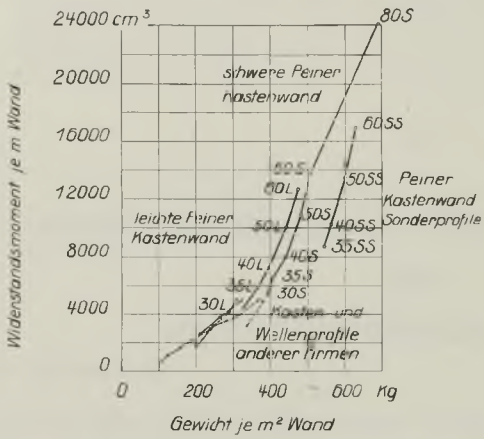
IV.

Eigenschaften und Verwendungsgebiete der Peiner Kastenspundbohlen

A. Eigenschaften

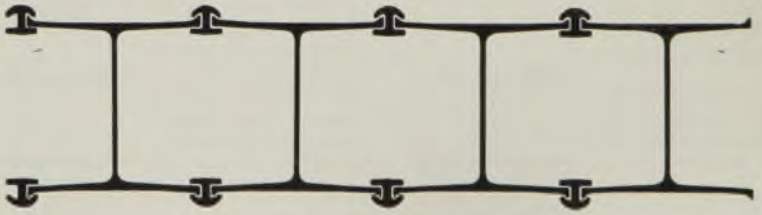
Allgemeines

Die Peiner Kastenspundwand ist ein in der Formgebung von den sonstigen Stahlspundwänden völlig abweichendes Bauelement, das ein weiteres Wachsen der Bauwerksabmessungen in der Spundwandbauweise ermöglicht und den dadurch bedingten gesteigerten Anforderungen in hohem Maße gerecht wird. Die bisher bekannten Anwendungsgebiete stählerner Spundwände werden durch die Peiner Kastenspundbohlen beträchtlich erweitert, da diese infolge ihrer hohen Widerstandsmomente sehr große waagerechte Drücke aufzunehmen vermögen und durch ihre geschlossene Kastenform hervorragend zum Tragen lotrechter Lasten geeignet sind. Wie aus dem vorstehenden Schaubild hervorgeht, beginnen die Widerstandsmomente und Gewichte der Peiner Kastenspundwände ungefähr erst da, wo diejenigen der übrigen Stahlspundwände aufhören; sie stellen somit eine Fortsetzung der bisher bekannten Kasten- und Wellenprofile dar.



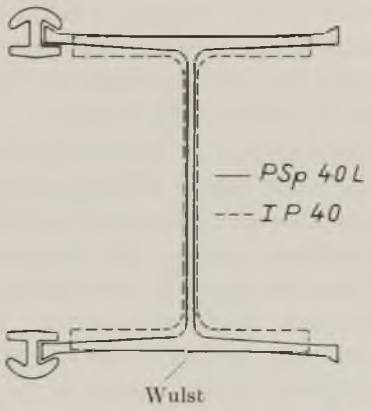
Formgebung

Die Peiner Kastenspundwand zeigt als kennzeichnendes Merkmal der Form zwei durchlaufende, nicht unterbrochene Außenhäute. Die Bohlen sind aus der Grundform des Peiner Breitflanschträgers heraus entwickelt.



Es war naheliegend, das hohe Widerstandsmoment der P-Träger auch für Spundwände nutzbar zu machen. Es mußte zu diesem Zweck eine Profilform geschaffen werden, die sich einerseits gut walzen läßt, andererseits aber auch bei möglichst geringem Gewicht hohe statische Werte besitzt und schließlich gut rammbar ist. Nach eingehenden Versuchen ist es gelungen, allen diesen Anforderungen gerecht zu werden und eine Profilform zu finden, die sich in zahlreichen Ausführungen bestens bewährt hat.

Wie aus der nachstehenden Abbildung (vgl. auch die S. 3 bis 12) hervorgeht, sind bei den Peiner Kastenspundbohlen die Flansche wesentlich breiter, aber die Flansch- und Stegstärken schwächer als bei den entsprechenden Breitflanschträgern. Die Flanschenden haben keulenförmige Verdickungen, über die zur Herstellung einer zug- und druckfesten Verbindung geeignet geformte Schlösser greifen. Bei den Profilen PSp 30, 35 und 40 L und S haben die inneren Flanschflächen eine Neigung von rd. 3,75 v. H., bei allen anderen von rd. 5,25 v. H. Die äußeren Flanschflächen laufen bei allen Profilen etwa bis zur Hälfte ihrer Breite senkrecht zur Stegachse, während sie an ihren beiden äußeren Enden teils parallel zur Innenfläche, teils nach außen etwas ansteigend verlaufen. Die äußeren Keulenflächen haben durchweg eine Neigung von 35° zu der Senkrechten durch die Stegachse. Diese Formgebung gewährleistet eine feste Schloßverbindung auch trotz der bei Walzprofilen nicht vermeidbaren und zulässigen Abweichungen von den Sollmaßen.



Die Profile werden bei etwa gleichen äußeren Abmessungen mit Profilhöhen von 30 bis 80 cm normalerweise in zwei Gruppen gewalzt (siehe Zahlentafel 1, S. 14), einer leichten — mit L bezeichneten — und einer schweren — mit S bezeichneten — Gruppe. Die Unterschiede liegen in der Hauptsache in den größeren Steg- und Flanschstärken, sodaß die S-Profile vorteilhaft dort verwendet werden, wo schwere Rammarbeit oder größerer Rostangriff zu erwarten sind. Für besonders hohe Beanspruchungen sowohl in statischer Hinsicht als auch bezüglich des Widerstandes gegen Korrosion steht noch eine Sondergruppe schwerster Profile,

die mit SS bezeichnet sind, aufgrund besonderer Vereinbarung zur Verfügung.

Die Verbindung der Bohlen zur Spundwand erfolgt durch H-förmige Schlösser, für deren Formgebung vor allem das Bestreben maßgebend war, eine möglichst hohe Zugfestigkeit zu erreichen. Entsprechend den verschiedenen Bohlenprofilen werden 4 verschiedene Schloßprofile gewalzt (s. S. 13). Belastungsversuche ergaben Zugfestigkeiten von durchschnittlich 90 bis 120 t je m Einzelschloß, das sind rd. 180 bis 240 t je m Bohle. Damit ist der Längszusammenhalt der Spundwand auch bei großen Belastungen ausreichend gesichert. Für den Spielraum im Schloß wurde ein allseitiger Abstand zwischen Schloß und Keule von rd. 1,7 mm gewählt und damit erreicht, daß einerseits beim Rammen keine Schwierigkeiten entstehen und andererseits die Zugfestigkeit und normale Wasserdichtigkeit nicht beeinträchtigt werden.

Die Schlösser der Peiner Kastenspundwand ragen um ein geringes Maß aus der sonst glatten Wandflucht heraus. Der Schloßrücken ist aber gut abgerundet und bildet daher kein Hindernis, sodaß Schiffsplatten nicht daran festhaken können. Bei Baugruben können die Aussteifungen bzw. das Brustholz gegen die zwischen den Schlössern vorhandene glatte Wand in Steghöhe abgestützt werden. Im übrigen wirkt die regelmäßige Unterbrechung der sonst glatt durchlaufenden Wand durch die vorspringenden Schlösser architektonisch recht gut.

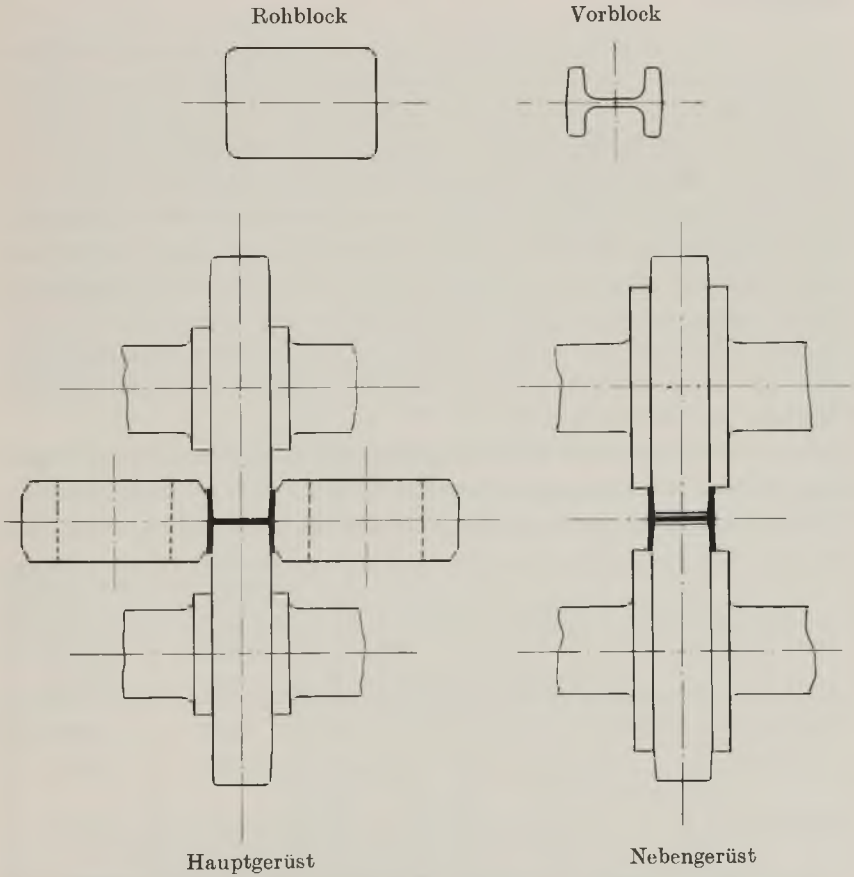
normal auf Zug auf Druck

Die Wasserdichtigkeit der Peiner Kastenspundwand entspricht der bei Spundwänden allgemein vorhandenen Dichtigkeit. Beim Rammen setzen sich die Schloßfugen leicht mit Bodenteilchen zu. Darüber hinaus ergeben sich, wie die vorstehenden Skizzen zeigen, bei der in Spannung stehenden Wand in den gerammten Schlössern Berührungsflächen, die eine Steigerung der Dichtigkeit bewirken. Wird eine besonders große Wasserdichtigkeit gefordert, so besteht bei der Peiner Kastenspundwand der Vorteil, diese durch Ausfüllen der Zellen mit bindigem Boden oder Beton

zu erzielen (Einsparung der Gurtung bei Betonausfüllung s. S. 37). Ferner kann in besonderen Fällen, z. B. bei Schleusenwänden, eine praktisch vollkommene Dichtigkeit durch eine nachträgliche Bearbeitung der Schloßflansche mit Hilfe der Schloßdichtungsmaschine erreicht werden. Näheres hierüber siehe S. 129.

Walzung

Die Herstellung der Spundbohlen erfolgt in gleicher Weise wie die der P-Träger im Vierwalzen-Walzwerk (Universalwalzwerk). Das Walzverfahren ist in der nachstehenden Skizze in seinen Grundzügen dar-



Walzverfahren der Peiner Kastenspundbohlen im Vierwalzen-Walzwerk

gestellt. Der Rohblock wird in einem Blockwalzwerk zu einem Vorprofil ausgewalzt, das schon annähernd die Form des Fertigprofils zeigt. Dieses Vorprofil gelangt dann in das Vierwalzengerüst (Hauptgerüst), in dem es, von zwei waagerechten und zwei senkrechten Walzen allseitig umschlossen, in bestimmten Arbeitsgängen zur endgültigen Abmessung ausgewalzt wird. Die Flanschkanten werden gleichzeitig im Nebengerüst durch zwei waagerechte Walzen bearbeitet.
Die Schloßstähle werden in bekannter Weise im normalen Kaliber-Walzwerk gewalzt.

Stahlgüten

Die Herstellung der Peiner Kastenspundbohlen erfolgt fast ausschließlich in Thomas-Stahl. Der Peiner Thomas-Stahl wird aus einem Roheisen erblasen, das aus deutschen Erzen erschmolzen wird, die den eigenen Lagerstätten der Ilseder Hütte im Harzvorland entstammen. Das zur Stahlherstellung verwendete Thomas-Roheisen unterscheidet sich von dem sonst in Deutschland üblichen durch einen höheren Gehalt an Phosphor sowie Mangan und durch einen geringeren Schwefelgehalt. Der aus diesem Roheisen hergestellte Thomas-Stahl besitzt bei gleichen Festigkeitswerten einen gegenüber Siemens-Martin-Stahl um etwa 2 bis 4 v. H. höheren Dehnungs- und einen um etwa 4 v. H. höheren Einschnürungswert. Die Kerbzähigkeit liegt in derselben Größenordnung wie bei dem SM-Stahl gleicher Festigkeit.
Während die Schlösser zur Erreichung einer hohen Zugfestigkeit und wegen ihrer größeren Rammbeanspruchung grundsätzlich nur aus einem Thomas-Stahl mit einer Festigkeit von 50—60 kg/mm² geliefert werden, stehen für

Bezeichnung	Profile	Streckgrenze kg/mm²	Festigkeit kg/mm²	Dehnung v. H.	Zulässige Beanspruchungen Belastungsfall 1 kg/cm²	Zulässige Beanspruchungen Belastungsfall 2 kg/cm²
Handelsgüte	sämtliche	—	34—50	—	1400	1600
St 37/45	„	24	37—45	20	1400	1600
St Sp 50/60	L-Profile	36	50—62	20	2100	2400
	S- „	34	50—64	19		
	SS- „	33	50—64	18		

Zahlentafel 14

die eigentlichen Spundbohlen normalerweise die in Zahlentafel 14 aufgeführten Stahlgüten zur Verfügung.

Auf besondere Vereinbarung hin können die Spundbohlen auch in Thomas-Stählen geliefert werden, deren technologische Eigenschaften von den in der Zahlentafel 14 aufgeführten abweichen.

Die Abnahmeprüfungen werden nach DIN 1605 durchgeführt.

Lebensdauer

Die Ergebnisse einer ganzen Reihe von Untersuchungen an Spundwandbauwerken haben gezeigt, daß die Lebensdauer des Stahles auch unter den ungünstigsten Bedingungen stets den zu stellenden Anforderungen genügt. Es ist dabei festgestellt worden, daß z. B. bei einer 37 Jahre alten Spundwand eine Querschnittsverminderung von 10 v. H. eingetreten, und daß an einer anderen Stelle im Verlauf von 20 Jahren im Mittel nur rd. 1 mm abgerostet war. Es kann mit einer Lebensdauer von rd. 80 bis 120 Jahren gerechnet werden [1]), die im allgemeinen für alle Bauwerke des Verkehrswasserbaues durchaus ausreichend ist.

Wie alle anderen im Grund- und Wasserbau verwendeten Baustoffe unterliegt auch der Stahl den Einwirkungen der Natur, und zwar den Angriffen der Witterung, des Wassers und des Bodens. Hierbei sind die Angriffe durch den Boden am geringsten, wie die Untersuchungen der im allgemeinen gegen den Boden stehenden Wandrückseiten ergeben haben. Es bildet sich hier eine feste Kruste aus Rost und Bodenteilen, die das Weiterrosten verhindert. Ebenso ist auch in größeren Wassertiefen das Rosten gering, da hier die Angriffsfähigkeit des Wassers infolge des Mangels an aktivem Sauerstoff wesentlich herabgesetzt ist. Die stärkste Verrostung erfolgt in der Zone, die dem Luft-Wasser-Wechsel ausgesetzt ist. Doch kann die Spundwand in diesem Bereich durch einen Anstrich geschützt werden. Da dieser Teil der Wand im allgemeinen statisch am geringsten bean-

[1]) Oberbaurat Koelle, Rostgefahr und Lebensdauer eiserner Spundwände. Zentralblatt der Bauverwaltung 1925, Nr. 45, S. 545. — Dr.-Ing. Holthaus, Untersuchungen über den Angriff von Spundwandeisen in Fluß- und Seewasser. Archiv für das Eisenhüttenwesen 8 (1934/35), Heft 9, S. 379—389.

sprucht wird, so bedeutet hier der höhere Rostangriff keine besonderen Nachteile für die Spundwand.

Die Stärke des Rostangriffs an der Luft, in Süß- und Seewasser wird durch den im Thomas-Stahl höher liegenden Phosphorgehalt nicht merklich beeinflußt. Bei gleichzeitigem Vorhandensein eines Kupfergehalts[1]) im Stahl von etwa 0,20 v. H. ist sogar in den meisten Fällen die Witterungsbeständigkeit des im Walzzustand und vor allem im angestrichenen Zustand vorliegenden Thomas-Stahles größer als die des SM-Stahles. Die Frage, ob es ratsam ist, einen mit Kupferzusatz versehenen Spundwandstahl zu verwenden, hängt von den örtlich vorliegenden Korrosionsbedingungen ab. Es wird empfohlen, in jedem Falle die Beratungsstelle des Lieferwerkes zu befragen.

Als Schutzanstrich gegen Verrostung hat sich am besten ein säurefreier Bitumenanstrich bewährt, der zweckmäßig sofort nach dem Walzen auf dem Werk aufgebracht wird. Nach dem Rammen erhalten die über dem Boden oder über Wasser stehenden Teile der Wand noch einen zweiten Anstrich, der an dem fertigen Bauwerk an den sichtbaren Stellen von Zeit zu Zeit erneuert werden kann.

Im übrigen kann ein etwaiger Rostangriff bei der Peiner Kastenspundwand nur an den Außenseiten der Flansche erfolgen, da nach Ausfüllen der Zellen mit Sand, Lehm oder Beton der Steg und die Innenseiten der Flansche wirksam geschützt sind.

Zulässige Beanspruchungen

Die in der Tafel auf S. 62 angegebenen zulässigen Beanspruchungen entsprechen den amtlichen Vorschriften für die Berechnung von Stahlbauwerken (DIN 1050). Im allgemeinen wird man die zulässigen Beanspruchungen nach dem Belastungsfall 1 zugrunde legen. Hierbei ist der Sicherheitsgrad gegenüber der Streckgrenze bei allen Stahlsorten gleich **rd. 1,7.** Bei überschläglichen Berechnungen sowie bei ungenügender

---

[1]) Stähle mit Kupferzusatz können z. Z. nicht geliefert werden.

Kenntnis der Bodenverhältnisse und bei schwierigen statischen Verhältnissen läßt man zweckmäßig geringere Beanspruchungen zu, um eine größere Sicherheit zu haben. Sind dagegen durch einwandfreie Untersuchungen alle Bodenbeiwerte genau bekannt, die statischen Verhältnisse genau erfaßt und Haupt- und Nebenkräfte berücksichtigt, oder handelt es sich nur um vorübergehende Bauten, so können die zulässigen Beanspruchungen nach Belastungsfall 2 eingesetzt werden.

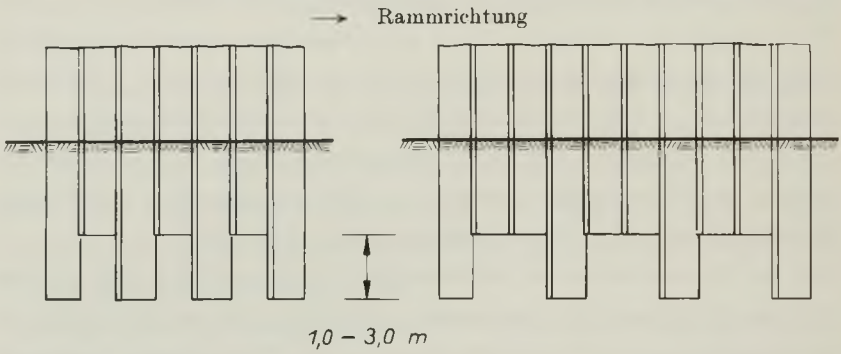
Statische und konstruktive Verhältnisse

Bei der Peiner Kastenspundwand liegen die Stahlmassen fast ausschließlich in den statisch wirksamen Außenzonen des Profils, sodaß sich ein hoher Wirkungsgrad $W_x : G$ ergibt. Wenn auch dieses sogenannte Güteverhältnis nicht als ausschlaggebender Maßstab für die Eignung einer Spundwand anzusehen ist, so läßt es doch einen Schluß auf die Werkstoffausnutzung zu. Die hohen Gütezahlen der Peiner Spundwand zeigen, daß in dieser Beziehung das Bestmögliche erreicht ist. Mit zunehmendem Gewicht der Spundwand wird das Güteverhältnis ständig günstiger.

Alle für Entwurfsarbeiten erforderlichen Daten sind aus den auf den S. 14 bis 19 aufgeführten Zahlentafeln ersichtlich. Bei der Ermittlung der Widerstandsmomente für die Spundwand ist das Rammelement, bestehend aus 1 Bohle mit 2 Schlössern, zugrunde gelegt. Diese Maßnahme ist berechtigt, da die Reibung zwischen Schlössern und Bohle in Verbindung mit der hohen Zugfestigkeit der Schlösser ein einwandfreies Zusammenwirken gewährleistet. Die mit der Peiner Kastenspundwand bei den verschiedenen Profilen und Stahlsorten aufnehmbaren Biegungsmomente sind aus der Darstellung auf S. 22 zu entnehmen. Es sei jedoch darauf hingewiesen, daß die statischen Momente bei der Wahl des Spundwandprofils nicht allein maßgebend sein dürfen, sondern daß auch etwaige schwierige Bodenverhältnisse und der Dauerwert des Bauwerkes entsprechende Berücksichtigung finden müssen.

Aus statischen, konstruktiven und rammtechnischen Gründen empfiehlt es sich, bei einer Spundwand aus Peiner Kastenspundbohlen nicht sämtliche

Bohlen bis zur gleichen Tiefe zu schlagen, sondern vielmehr die Unterkante der Wand verzahnt oder kammartig auszubilden. Es wird hierbei vor allem an Stahl gespart, während andererseits diese Maßnahme in statischer Beziehung den Vorteil mit sich bringt, daß infolge des größeren Reibungsumfanges höhere senkrechte Auflasten aufgenommen werden können. Der aufnehmbare Erdwiderstand vor der Wand wird dabei aber in keiner Weise vermindert, da sich im allgemeinen der Boden in den Lücken verspannt und somit Spundwand und Lücke wie eine zusammenhängende Fläche wirken. Der Erdwiderstand kann daher bei festem Boden bis zur Unterkante der langen Bohlen in voller Größe angesetzt werden[1]).

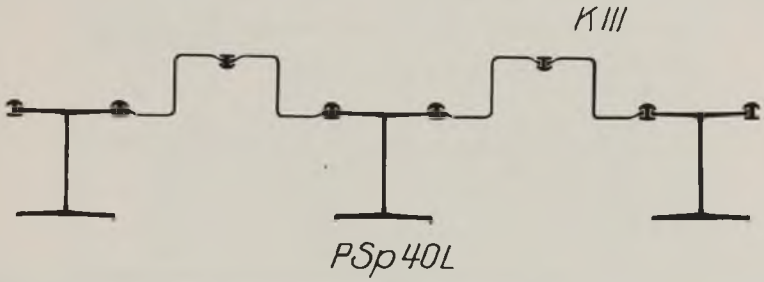


Die Staffelung wird je nach Rammtiefe im allgemeinen von 1,0 bis 3,0 m ausgeführt (Beispiele s. S. 200, 207 u. 210). Es muß hierbei unbedingt darauf geachtet werden, daß die Schlösser stets mindestens die gleiche Länge haben wie die zu rammende Bohle. Ein Fortlassen der Schlösser bei den längeren Bohlen um das Maß der Staffelung würde zur Folge haben, daß das untere Bohlenende infolge der Zellenpressung in Rammrichtung ausweicht, wodurch im ungünstigen Fall ein Ausspringen der Schlösser hervorgerufen werden kann. Vor dem Kürzen der Schlösser ist also dringend zu warnen (s. a. S. 114ff.).

Die Ausbildung von Eckverbindungen oder Abzweigungen kann in einfacher Weise dadurch bewerkstelligt werden, daß man von der Normal-

[1]) Vgl. O. Franzius, Der Grundbau, S. 112, Berlin 1927, Springer-Verlag.

bohle Teile abschneidet und diese Teile, dem Zweck entsprechend, zusammenschweißt oder besondere Zwischenstücke aus Winkelstahl, Flachstahl od. dgl. dazwischenschaltet (Näheres s. S. 24ff.). Für die Abschlüsse der offenen Flansche bei einwandigen Pfeilern können die besonders gewalzten Spundwinkel bei PSp 30 oder entsprechend zugerichtete Breitflachstähle bei den höheren Profilen Verwendung finden (Näheres s. S. 30). Über die Möglichkeit der Anbringung von Verankerungen sind auf den S. 36 bis 41 eingehende Vorschläge gemacht. Bemerkenswert ist, daß infolge der Eigensteifigkeit der Wand die Anordnung eines Gurtes in den meisten Fällen nicht erforderlich ist.



Zusammengesetzte Spundwand aus Peiner Kastenbohlen und Krupp-Bohlen

In diesem Zusammenhang sei noch die bereits wiederholt zur Anwendung gekommene zusammengesetzte Spundwand erwähnt, bei der Peiner Kastenspundbohlen mit wellenförmigen Spundbohlen (Krupp-Bohlen) vereinigt werden. Über die hierbei zu erzielenden Stahl- und Baukosten-Ersparnisse sowie Vorteile bei der Ausführung wird in einem besonderen Abschnitt auf S. 81 Näheres ausgeführt.

Tragfähigkeit

Die Peiner Kastenspundwand eignet sich sowohl als durchlaufende Wand bei Ufermauern als auch in geschlossener Kastenform bei Pfeilern und auch als einzeln gerammte Doppel- oder Einzelbohle oder kurzes Wandstück infolge ihrer hohen Knickfestigkeit und Tragfähigkeit hervorragend zur

Aufnahme lotrechter Belastungen. Die geschlossene Doppelwand kann dabei gleichzeitig noch auf Biegung beansprucht werden.
Bekanntlich setzt sich die Tragfähigkeit eines Pfahles aus Spitzenwiderstand und Mantelreibung zusammen. Zur Aufnahme des Spitzenwiderstandes steht die Grundfläche des umschriebenen Rechtecks zur Verfügung, da sich der Boden beim Einzelpfahl in den offenen Flanschen fest verspannt und sich bei der Wand in der Zelle ein fester Kern bildet. Durch die starke Profilierung haben die Peiner Spundbohlen eine große Außenfläche, und infolgedessen tritt eine sehr große Mantelreibung auf.

Zahlreiche Probebelastungen liefern den Beweis für die hohe Tragfähigkeit der Peiner Kastenspundbohle. Es wurden hierbei folgende Tragfähigkeiten (Grenzlasten) festgestellt:

Bei Doppelbohlen PSp	Rammtiefe m	Grenzlast rd. t	Beanspruchung $\sigma = \frac{F \cdot \omega}{F}$ kg/cm²
30	16–17	310	1790
40	16	330	1120
60	22	420	1080

Nähere Angaben sind aus der Zusammenstellung auf S. 151 zu entnehmen. Auf S. 146 ist ein einfaches Berechnungsverfahren zur Vorausbestimmung der Tragfähigkeit angegeben. Bei größeren Bauvorhaben wird es aber immer zweckmäßig sein, durch eine Probebelastung die tatsächlich vorhandene Tragfähigkeit festzustellen. Die Ilseder Hütte stellt zu diesem Zweck Behörden und Baufirmen ein Probebelastungsgerät zur Verfügung (vgl. Abschnitt VI, S. 87).

Lieferung

Die Peiner Kastenspundbohlen werden in rammfertigem Zustand ab Werk geliefert, d. h. im allgemeinen mit 2 aufgezogenen Schlössern Die erste Bohle für ein Bauwerk oder einen Bauabschnitt wird in der Regel ohne Schlösser geliefert, während bei den übrigen Bohlen die Schlösser immer auf der der Rammrichtung entgegengesetzten Seite aufgezogen werden. Zur Vermeidung von Rammschwierigkeiten werden die Schlösser jeweils 5 bis 10 cm länger als die Bohle vorgesehen (siehe S. 117).

An jeder Bohle wird am oberen Ende mit weißer Ölfarbe die genaue Längenbezeichnung angebracht. Ferner erhalten die Bohlen — um Verwechslungen auszuschließen — an beiden Enden einen breiten farbigen Strich, und zwar:

L-Bohlen in grüner, S-Bohlen in roter und
SS-Bohlen in gelber Farbe.

Zur Erleichterung des Hochziehens unter die Ramme werden die Bohlen auf Wunsch mit einem Kranhakenloch versehen. Sofern nicht besondere Angaben gemacht werden, wird dieses Loch mit 60 mm Durchmesser im Abstand von 400 mm von der Oberkante ausgeführt. Für diese Lochung werden Mehrkosten nicht berechnet.

Die Profile können in allen normalerweise gebräuchlichen Längen geliefert werden. Erfahrungsgemäß haben sich hierbei folgende Maße ergeben:

Profile PSp	Gebräuchliche Bohlenlängen m
30	12—20
35 u. 40	15—25
50—80	20—30

Selbstverständlich können die Bohlen erforderlichenfalls auch in noch größeren Längen geliefert werden. Es empfiehlt sich in diesem Falle jedoch eine vorherige Rückfrage beim Lieferwerk. Die Schlösser können nur in Längen bis zu 25—28 m geliefert werden. Bei längeren Bohlen werden die Schlösser stumpf gestoßen und verschweißt.

Die Ermittlung des rechnerischen Gewichtes von Bohlenlieferungen erfolgt nur nach den Einheitsgewichten der Zahlentafel 1, S. 14, für 1 Einzelbohle und für 2 Schlösser. Die Gewichtsangaben der Zahlentafeln 2 bis 6 sind abgerundet.

Auf Wunsch des Bestellers können die Bohlen zum Schutz gegen Rostangriffe auf dem Werk mit einem Bitumenanstrich versehen werden.

Rammfähigkeit

Die Rammfähigkeit der Peiner Kastenspundbohlen hat sich bei allen Ausführungen im allgemeinen als gut erwiesen. Infolge des großen Gewichtes werden in der Regel Einzelbohlen geschlagen, und zwar wird das Ramm-

element aus 1 Bohle mit 2 aufgezogenen Schlössern gebildet. Die Rammergebnisse zeigen deutlich, daß die einzelne Bohle mit der Schloßführung an der benachbarten Bohle entlanggleitet und gleichsam in den Boden hineinschneidet. Dabei ist nicht zu befürchten, daß die senkrechte Tragfähigkeit unter der Rammung von Einzelbohlen leidet, weil sich die Verspannung des Bodens innerhalb der Spundwandzellen sofort beim Auftreten des Belastungsfalles einstellt. Im allgemeinen ist die Rammung so vorzunehmen, daß die Bohlen mit den freien Keulen vorweg gerammt werden, um hierdurch das lästige Zusetzen der offen in den Boden gerammten Schlösser zu vermeiden. Das gleichzeitige Einfädeln der beiden in der Rammrichtung rückwärts liegenden Schloßnuten bereitet keine Schwierigkeiten, da stets ein Schloß etwas kürzer als das andere gehalten wird, so daß die beiden Schloßteile nicht gleichzeitig eingefädelt zu werden brauchen.

Ein Ausweichen der Peiner Kastenspundwand aus der Rammrichtung ist wegen der gedrungenen Form und der doppelten Schloßführung unter normalen Verhältnissen und bei einigermaßen Achtsamkeit nicht zu be-

Von einer Bohle PSp 60 L durchrammter Baumstamm von 65 cm Durchmesser.

An den mit ↑ bezeichneten Stellen sind die Einkerbungen von den durchgerammten Schloßrücken deutlich erkennbar

fürchten. Auch beim Rammen in schwerem Boden und in Boden mit durchrammbaren Hindernissen hat sich die Peiner Kastenspundwand bewährt. Können Hindernisse nicht durchrammt werden, dann ist es möglich, nach Ausspülen der infrage kommenden Zellen das Hindernis mit einem Fallmeißel oder ähnlichem zu zertrümmern. Dies ist leicht durchzuführen, da die einzelnen Zellen nur durch den dünnen Steg voneinander getrennt

sind. Sollte in besonderen Fällen trotz Verwendung des Fallmeißels ein weiteres Einrammen der Bohle nicht möglich sein, dann kann man mit dem Fallmeißel zum mindesten ein genügend tiefes Loch in das Felshindernis schlagen, um nach Ausspülung eine Bewehrung einzubringen und die Zelle auszubetonieren. Der Teil der Wand, der auf dem Hindernis aufsitzt, ist dann fest verankert.

Um eine sowohl den Bauherrn wie den Bauunternehmer befriedigende Ausführung der Rammarbeiten zu erzielen, ist die Beachtung einiger Regeln erforderlich, die aufgrund der bisher gemachten Erfahrungen im Abschnitt VII auf den S. 95 bis 128 zusammengestellt sind.

Sollte in besonderen Fällen ein Ziehen von Bohlen erforderlich werden, so ist dies möglich, selbstverständlich unter Anwendung des für das große Gewicht, die Doppelführung und die großen Reibungsflächen notwendigen hohen Arbeitsaufwandes und eines entsprechend schweren Ziehgerätes. Durch Ausspülen der Zellen läßt sich der Ziehvorgang wesentlich erleichtern.

B. Verwendungsgebiete

Aus der Eigenart der Peiner Kastenspundwand als schwerer Spundwand mit hohem Widerstandsmoment und großer Tragfähigkeit ist es erklärlich, daß sie größtenteils als selbständiger und bleibender Bauteil Verwendung findet und nur in verhältnismäßig geringem Maße als vorübergehendes Bauhilfsmittel dient. Nachstehend sollen die Hauptverwendungsgebiete der Peiner Kastenspundwand näher beschrieben und die für die Ausbildung zweckmäßiger und wirtschaftlicher Entwürfe maßgebenden Gesichtspunkte sowie die Vorteile gegenüber anderen Bauweisen kurz erläutert werden.

Uferwände und Molen

Die häufigste Anwendung findet die Peiner Kastenspundwand beim Bau von Ufermauern und Kaiwänden, besonders bei großen Wassertiefen und schlechten Bodenverhältnissen. Je nach den vorliegenden Verhältnissen kann man zwischen reiner Spundwandbauweise und einer Winkelstützmauer auf Pfahlrost mit vorderer Spundwand wählen. Bei der reinen Spundwandbauweise ist selbst bei Wassertiefen bis zu 14 m

und je nach der Bodenart auch noch darüber hinaus nur eine Verankerungsreihe erforderlich, wobei diese auch als Unterwasserverankerung ausgeführt werden kann (s. S. 40). Zur Aufnahme der Ankerkräfte wählt man entweder eine durchlaufende Wand aus Stahlspundbohlen oder Pfahlböcke, die vorteilhaft aus Einzelpfählen aus Peiner Kastenspundbohlen hergestellt werden. Die Überwindung eines Geländesprunges mit einem Bauwerk in reiner Spundwandbauweise stellt im allgemeinen die einfachste

Uferwand aus Peiner Kastenspundbohlen PSp 50 S an der Nordsee

und wirtschaftlichste Lösung dar. Für Ausrüstungskais wird dagegen eine Stützmauer auf Pfahlrost mit vorderer Spundwand gern gewählt. Auch bei schlechten Bodenverhältnissen ist diese Ausbildung am Platze, wenn zur Übertragung der Auflasten Pfahlgründungen vorgenommen werden müssen. Die vordere Spundwand nimmt den Erddruck auf und überträgt zugleich einen Teil der lotrechten Mauerlast in den Boden. Die Peiner Kastenspundwand ist hierfür infolge ihrer hohen Tragfähigkeit ganz besonders geeignet, sodaß eine besondere vordere Pfahlreihe in diesem Fall nicht erforderlich ist. Infolge der Schirmwirkung durch die Mauerplatte und

gegebenenfalls auch durch den Pfahlrost verringert sich der Erddruck auf die Wand, sodaß gegenüber der reinen Spundwandbauweise ein leichteres Profil gewählt werden kann. Die Pfähle des Pfahlrostes werden je nach Bodenart und Pfahllänge aus Holz, Stahlbeton oder aus Stahl vorgesehen (Ausführungsbeispiele S. 198 ff.).

Zum Bau von Ufermauern mit geringer Wassertiefe sowie von Stützmauern u. dgl. können Peiner Kastenspundbohlen ebenfalls vorteilhaft verwendet werden, da sie infolge ihrer großen Steifigkeit schon beträchtliche waagerechte Kräfte ohne Verankerung allein durch die Einspannung im Boden aufnehmen können. Es können auf diese Weise die oft sehr erheblichen Kosten für die Anker und deren Einbau gespart werden. Andererseits wird diese Bauweise dort Vorteile mit sich bringen, wo Verankerungen nicht durchgeführt werden können, z. B. vor Gebäuden oder bei der Verstärkung von Uferwänden (Ausführungsbeispiele S. 217).

Auf die zusammengesetzte Bauweise, die auf den S. 81 bis 86 näher beschrieben ist, sei hier nochmals verwiesen.

Bei der Herstellung von Molen aus Peiner Kastenspundbohlen gestaltet sich der Bauvorgang äußerst einfach, da man das Bauwerk in diesem Falle ohne besonderes Hilfsgerüst frei in die See vorbauen kann. Auf den bereits gerammten Bohlen, die durch einen druckfesten Rahmen ausgesteift werden, läuft eine Doppelramme, die auf beiden Seiten der Mole die Bohlen vor Kopf weiter rammt (Ausführungsbeispiele S. 212, 215 u. 216).

Die besonderen Vorteile der Bauweise mit Peiner Kastenspundwänden gegenüber anderen Bauweisen liegen neben den geringeren Baukosten vor allem auch in der kürzeren Bauzeit. Senkkasten- oder Druckluftgründungen erfordern umfangreiche Vorarbeiten, viel Sondergeräte und zahlreiche gut ausgebildete Fachkräfte.

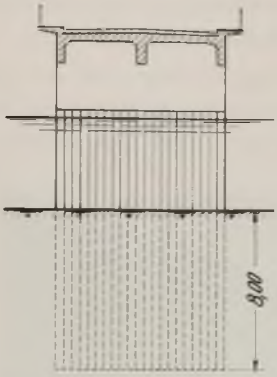
Schleusen

Auch im Schleusenbau haben sich die Peiner Kastenspundwände bewährt. Wegen der großen Wandsteifigkeit kann man bei Verwendung von Peiner Kastenspundbohlen an Verankerung sparen, sodaß sich auch Schleusen mit großem Gefälle vorteilhaft in Spundwandbauweise herstellen lassen. Gegenüber anderen Ausführungsarten ergeben sich hierbei die gleichen Vorteile, wie bei den Uferwänden vorstehend bereits ausgeführt, und zwar kürzere Bauzeit, niedrigere Baukosten und geringerer Bedarf an Fach-

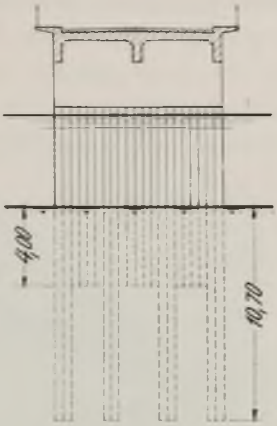
kräften. Durch die flach abgerundeten, nur wenig vorstehenden Schloßrücken ist eine Beschädigung der Schiffe unmöglich, andererseits ist auch die eigentliche Spundwand vor etwaigen Stößen und Beschädigungen geschützt. Es sind daher auch besondere Reibehölzer nicht erforderlich. Infolge der nahezu glatten Außenfläche ist die Peiner Kastenspundwand in bezug auf den Wasserinhalt der Schleuse und etwaige Wasserverluste einer massiven Mauer fast gleichwertig. Bei hohem Gefälle und einer großen Anzahl von Schleusungen wird sich diese Tatsache günstig auf die Höhe der jährlichen Betriebskosten auswirken (Beispiele S. 223 ff.).

Brücken

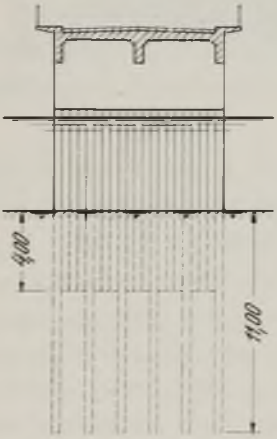
Ein sehr umfangreiches Anwendungsgebiet haben die Peiner Kastenspundbohlen bei der Gründung von Brücken gefunden. Sie werden hier unter Ausnutzung ihrer hohen Tragfähigkeit sowohl für die Ausbildung von Widerlagern als auch von Pfeilern verwendet. Die Widerlager werden entweder aus geschlossenen Kästen aus Peiner Kastenspundbohlen gebaut, die durch einen Betonbalken miteinander verbunden werden, oder sie werden aus einer verankerten Spundwand erstellt. Für die Flügelwände werden meist leichtere Spundwände vorgesehen. Als Brückenpfeiler wählt man vorteilhaft eine einfache Wand aus Peiner Kastenspundbohlen. Die lotrechten Brückenlasten können von dieser einwandfrei in den Baugrund übertragen werden, während das hohe Widerstandsmoment und die große Quersteifigkeit die Aufnahme der waagerechten Kräfte aus Winddruck, Bremswirkung u. dgl. gewährleisten. Um an Stahl zu sparen, werden nur einzelne Bohlen tief in den tragfähigen Baugrund gerammt, wodurch deren gesamte Außenfläche zum Tragen herangezogen wird. Die Verbindungsbohlen zwischen den Tragbohlen werden dagegen nur so tief geführt, daß keine Unterspülung zu befürchten ist (s. Skizze auf S. 75). Die im Vergleich zu massiven Brückenpfeilern verhältnismäßig schmale Wand bietet ein bedeutend geringeres Hindernis für die Geschiebeführung des Flusses und den Hochwasserabfluß. Wo man sonst zur Vermeidung von Profileinschränkungen eine teure weitgespannte Brücke ohne Zwischenpfeiler baute, ist es bei leichteren und mittelschweren Brücken möglich, durch den Bau mehrerer schmaler Mittelpfeiler einen billigeren Überbau zu erstellen. Die hierdurch bedingten Mehrkosten für die zahlreicheren Pfeiler aus Peiner Kastenspund-



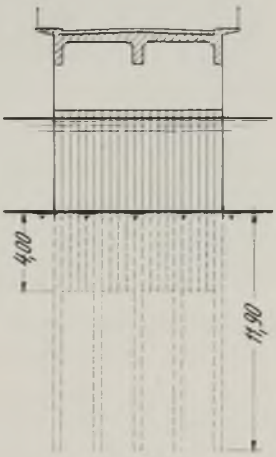
Stahlbedarf 100 v. H.



88 v. H.



Stahlbedarf 85 v. H.



82 v. H.

Vier verschiedene Pfeilerausbildungen gleicher Tragfähigkeit

Der Tragfähigkeitsberechnung wurde ein gleichmäßiger Boden zugrunde gelegt

bohlen sind aber geringer als die Ersparnisse, die durch den Bau der Brücke mit geringeren Spannweiten erzielt werden. Der Mehrbedarf an Stahl für die Pfeiler wird durch den Minderbedarf bei dem leichteren Überbau ausgeglichen (Ausführungsbeispiele S. 233 ff.).

Gegenüber der sonst üblichen massiven Gründung hat die Ausbildung der Widerlager und Pfeiler aus Peiner Kastenspundbohlen noch den Vorzug, daß Erdarbeiten und Wasserhaltung nicht erforderlich werden. Die Ar-

Pfeiler einer Straßenbrücke aus Peiner Kastenspundbohlen PSp 60 L

beiten können bei dieser Bauweise durchweg ohne Rücksicht auf den jeweiligen Wasserstand und die Jahreszeit durchgeführt werden und erfordern nur eine kurze Bauzeit sowie wenig Arbeitskräfte.

Für die Berechnung ist auf den S. 175 ein Beispiel gegeben.

Bei großen Brücken und tiefem Wasser werden die Peiner Kastenspundbohlen vorteilhaft als Bauhilfsmittel zur Umschließung der Baugruben verwendet. Es ist damit möglich, auch Bauwerke im Trockenen zu gründen, für deren Errichtung bisher nur schwierige und kostspielige Gründungsverfahren zur Verfügung standen. Durch den Einsatz der Spundwände wird die Bauzeit verkürzt und der Bedarf an Arbeitskräften und Baugeräten verringert. Außerdem bietet die Gründung in offener Baugrube größere Sicherheit, weil man in der Lage ist, durch unmittelbare Besichtigung der beim Aushub angetroffenen Bodenbeschaffenheit die Tiefe der Gründungs-

sohle zu bestimmen. Infolge des hohen Widerstandsmomentes und des großen Längszusammenhaltes der Peiner Kastenspundwand sind nur wenige Aussteifungen erforderlich, sodaß der Aushubquerschnitt nur in geringem Maße eingeschränkt wird.

Dalben und Leitwerke

Bei Dalben und Leitwerken hat sich die Stahlbauweise immer mehr durchgesetzt. Es sind daher in großem Umfang Peiner Kastenspundbohlen für diese Zwecke benutzt worden. Sie sind hierzu besonders geeignet, da der I-förmige Querschnitt dank seiner günstigen Massenverteilung in der Lage ist, hohe Stoßkräfte in Formänderungsarbeit umzusetzen. Andererseits können infolge der Steifigkeit der Bohlen große Zugkräfte aufgenommen werden. Schiffahrtstechnisch ist die Peiner Spundwand dadurch sehr begünstigt, daß die Dalben in der Längsrichtung eine fast glatte Außenfläche haben. Eine Beschädigung der Schiffshaut ist so gut wie unmöglich, da die Berührung zwischen Schiff und Dalben nur an den wenig vorspringenden, flach abgerundeten Schloßrücken erfolgt. Gegenüber dem sonst üblichen Holzdalben hat der Stahldalben die Vorteile größerer Elastizität, längerer Lebensdauer, geringerer Unterhaltungskosten, leichterer Rammbarkeit sowie der Unempfindlichkeit gegen tierische und mechanische Beschädigungen. Daher sind die Holzdalben vielfach von Stahldalben verdrängt worden.

Dalben aus Peiner Kastenspundbohlen PSp40 S, 22 m lg., in einem Ostseehafen

Es sind sowohl elastische Dalben, welche die lebendige Kraft der anfahrenden Schiffe durch eine entsprechende Durchbiegung vernichten, als auch starre Dalben zum Festmachen der Schiffe oder als Führungsdalben bei Schwimmdocks, Pontons u. dgl. aus Peiner Kastenbohlen gebaut

worden. Die elastischen Anfahrdalben werden aus einer oder zwei Reihen der leichten Profile (PSp 30—40) hergestellt, während bei den starren Festmachedalben gewöhnlich mehrere Reihen schwererer Profile (PSp 40—60) oder ein vier- oder mehreckiger Grundriß gewählt werden. Auf den S. 260 bis 279 sind eine Reihe von Ausführungsbeispielen aller Arten von Dalben aus Peiner Kastenspundbohlen wiedergegeben. Bezüglich der Berechnung von Dalben sei auf die S. 155 u. 186 verwiesen.

Bei Schleusen- oder Hafeneinfahrten werden oft Leitwerke in Verbindung mit Dalben vorgesehen. Hinsichtlich der Vorteile gegenüber der Holzbauweise gelten die gleichen Gesichtspunkte, wie sie vorstehend für die Dalben aufgeführt sind. Diese Leitwerke werden meist in aufgelöster Bauweise, bei der die Pfahljoche aus Peiner Kastenbohlen bestehen, hergestellt.

Gründungen

Bei Gründungsarbeiten aller Art auf dem Lande und im Wasser leisten Peiner Spundbohlen vielfache Dienste, und zwar als Baugrubenumschließungswand sowie als Gründungswand und Gründungspfähle. Durch ihre Verwendung können insbesondere sehr tiefe Baugruben hergestellt und somit die Gründungen im Trockenen durchgeführt werden. Infolge der hohen Widerstandsmomente und der großen Quersteifigkeit dieser Wand kommt man mit wenigen Aussteifungen aus, sodaß die Aushubarbeiten kaum behindert werden. Andererseits steht diese schwere Wand auch auf sehr große Höhen frei ohne jegliche Aussteifung. Im offenen Wasser gewährleistet die Peiner Wand, besonders bei Ausfüllung der Zellen mit entsprechendem Boden, eine wasserdichte Umschließung der Baugrube.

Aber auch als selbständige Bauglieder finden die Peiner Spundbohlen bei Gründungen Verwendung, und zwar als senkrechte oder schräge Druck- und Zugpfähle wie auch als Pfahlböcke. Die Peiner Bohle läßt sich, wie schon auf S. 70 erwähnt, wegen ihres I-förmigen Querschnittes leicht rammen, da das Profil in den Boden einschneidet und nur geringe Kräfte für die Bodenverdrängung erforderlich werden. Infolge der hohen Trägheitsmomente auf beide Achsen und der großen Quersteifigkeit sind diese Profile den höchsten Rammbeanspruchungen gewachsen und besonders da am Platze, wo schwerer Boden mit Hindernissen die Anwendung von Holz- und Stahlbetonpfählen unmöglich macht oder wo sehr lange Pfähle notwendig sind. Da sich der Boden zwischen den Flanschen

verspannt, ist die Tragfähigkeit außerordentlich hoch, wie durch zahlreiche Probebelastungen erwiesen ist. Dabei ist beachtenswert, daß die Tragfähigkeit eines Einzelpfahles je nach der Bodenart bis zu $^2/_3$ der Tragfähigkeit eines Doppelpfahles beträgt (vgl. die Zusammenstellung der Belastungsergebnisse S. 151). Wegen des geringen Rammaufwandes und der hohen Tragfähigkeit ist die Verwendung der Peiner Bohlen als Stahlpfähle sehr wirtschaftlich. Gegenüber den gleichhohen I P-Profilen haben die Spundbohlen den Vorteil, daß sie wesentlich leichter sind. Aber auch gegenüber der leichten Reihe der Breitflanschträger (I Pl = I mit dünnen Flanschen und dünnem Steg) sind die Spundbohlen vorteilhafter, da sie infolge der größeren Flanschbreiten eine größere Steifigkeit in bezug auf die y-Achse haben. [In Amerika werden für diese Zwecke ebenfalls leichter ausgewalzte I-Profile mit breiteren Flanschen als die Normalprofile verwendet[1]).] Die Keulen geben den freien Flanschenden eine gute Versteifung, sodaß in den weitaus meisten Fällen eine ausreichende Knicksicherheit gegeben ist. Erforderlichenfalls kann durch Aufziehen entsprechend langer Schlösser eine Verstärkung erzielt werden, sofern nicht Doppelbohlen gewählt werden müssen. Ferner bedingen die größeren Flanschbreiten größere Reibungsflächen, sodaß die Tragfähigkeit höher ist.

Die Stahlpfähle sind bei einer großen Anzahl von Gründungen mit Erfolg angewendet, und zwar zur Gründung von Hochbauten, Speichern, Dockanlagen, Fabrikschornsteinen u. dgl. Ausführungsbeispiele sind auf den S. 280f. aufgeführt.

Sonstiges

Außer den vorgenannten Hauptverwendungsgebieten ergeben sich noch sehr viele andere Möglichkeiten, die Peiner Kastenspundbohlen als Bauelement zu verwerten. So eignen sie sich vorteilhaft für die Erstellung von Fangedämmen bei tiefem Wasser oder schlechten Bodenverhältnissen, ferner als Bockpfähle bei Anlegebrücken.

Bei Stauanlagen brauchen die Wehre vermöge der körperhaften Form der Peiner Wand nur aus einer Reihe Peiner Kastenbohlen ausgeführt zu werden, wobei eine entsprechend tiefe Einbindung einzelner Bohlen im Untergrund Voraussetzung ist. Die Überlaufschwelle kann hierbei sowohl in Beton als in Stahl ausgebildet werden (s. S. 232).

---

[1]) S. a. Zeitschrift „Der P-Träger" 1939, Nr. 2, S. 17; 1941, Nr. 1, S. 9.

Schließlich sei noch erwähnt, daß sich die Peiner Kastenwand auch für die Herstellung von Luftschutzräumen eignet. Hierbei wirken sich das große Widerstandsmoment und der gute Längszusammenhalt sehr günstig aus. Es werden sowohl die Wände als auch die Decke dieser Schutzräume aus Peiner Bohlen hergestellt. Die Widerstandsfähigkeit kann durch Verfüllen der Zellen in den Wänden sowie in der Decke mit gutem Beton noch erhöht werden. Auf den S. 286ff. sind Ausführungsbeispiele abgebildet.

Durch die Einführung der Peiner Kastenspundwand in den Grund-, Wasser- und Brückenbau sind diese Gebiete um ein Bauelement bereichert worden, mit dem als Bauhilfsmittel, als Bauteil und als Bauwerk große bauliche Aufgaben gelöst werden können. In den meisten Fällen bedeutet ihre Verwendung nicht nur eine Vereinfachung, sondern auch eine Verbilligung und Beschleunigung des Bauvorganges. Die Anwendungsgebiete sind mit Vorstehendem noch nicht erschöpft; es ist vielmehr zu erwarten, daß sie noch manche Erweiterung erfahren werden.

Schrifttum über die Peiner Kastenspundwand

Franzius, Gutachten über die Peiner Kastenspundwand. Peine, Selbstverlag Ilseder Hütte, 1933. (Vergriffen.)

Bode, Peiner Kastenspundwände zur Ausführung von Tiefgründungen. Die Bautechnik 1933, S. 452.

Otlinghaus, Die Peiner Kastenspundwand. Die Bautechnik 1934, S. 313.

Leichtweiß, Verwendung von Stahl (Peiner Kastenspundbohlen) bei Verkehrswasserbauten. Jahrb. d. Hafenbautechn. Gesellschaft, Bd. 14 (1934/35), S. 174.

Wreden, Ostebrücke bei Hechthausen (mit Stahlwand-Unterbauten). Der Bauingenieur 1935, S. 263.

Wolter u. Peters, Ergebnisse der Rammung und Probebelastung von Peiner Kastenspundbohlen an der Ostebrücke bei Hechthausen. Der Bauingenieur 1935, S. 383.

Jerichow, Talsperren ganz aus Stahl. Der Stahlbau 1935, S. 152.

Horn u. Peschges, Eine neuartige Brückenkonstruktion in Hamburg. Beton und Eisen 1935, Heft 1.

Gerdes, Die Seeschleusen der III. Hafeneinfahrt in Wilhelmshaven und ihre gründliche Instandsetzung in den Jahren 1934—1937. Jahrb. der Hafenbautechn. Gesellschaft, Bd. 16 (1937), S. 102.

Arens u. Röhnisch, Belastungsproben an Stahlpfählen und deren Anwendung bei der Erweiterung des Dortmund-Ems-Kanals. Die Bautechnik 1937, S. 586.

Mügge, Stahl-Widerlager für eine Feldwegbrücke über den Schleusenkanal der Staustufe Drakenburg in der Kanalisierung der Mittelweser. Die Bautechnik 1938, S. 437.

Willeke, Der Bau des Mirower Kanals. Die Bautechnik 1938, S. 29.

Leichtweiß u. Baer, Die Peiner Kastenspundwand, ein neues Bauelement. Staal, Den Haag, 1939, S. 115.

Mügge, Bau des Schleusenkanals der Staustufe einer Flußkanalisierung. Die Bautechnik 1940, S. 472.

V.

Zusammengesetzte Spundwand aus Peiner Kastenbohlen und wellenförmigen Spundbohlen

Zusammengesetzte Spundwand Peine–Krupp

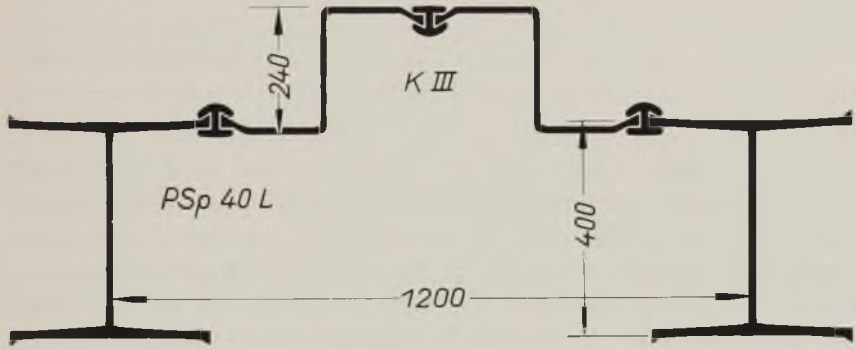
Profil-bezeichnung									
PSp	**K**	a mm	h mm	x mm	F cm²/m	G kg/m²	J_x cm⁴/m	W_x cm³/m	$\frac{W_x}{G}$ cm³/kg
40 L	**III**	1200	620	353	276	**216**	114 200	**3250**	15,0
50 L	**III**	1200	720	419	295	**232**	171 000	**4080**	17,6
60 L	**III**	1200	820	484	308	**242**	239 000	**4950**	20,4
60 L	**IV**	1200	860	510	335	**263**	272 000	**5330**	20,3
60 L	**V**	1120	900	535	383	**301**	329 000	**6150**	20,4

Profil-bezeichnung									
PSp	**K**	a mm	h mm	x mm	F cm²/m	G kg/m²	J_x cm⁴/m	W_x cm³/m	$\frac{W_x}{G}$ cm³/kg
40 L	**III**	2400	620	343	287	**226**	127 000	**3380**	15,0
50 L	**III**	2400	720	406	306	**240**	188 000	**4280**	17,8
60 L	**III**	2400	820	470	321	**252**	263 000	**5230**	20,8
60 L	**IV**	2400	860	497	347	**272**	298 000	**5620**	20,7

Zahlentafel 15

Außer den vorstehend aufgeführten Profilen können auch beliebig andere zusammengesetzt werden; nähere Auskunft hierüber auf besondere Anfrage

In dem Bestreben nach größter Stahlersparnis und möglichster Werkstoffausnutzung ist eine Bauweise entwickelt worden, bei welcher Peiner Kastenspundbohlen mit wellenförmigen Spundbohlen zu einer zusammengesetzten Spundwand vereinigt werden. Bei Verwendung von Krupp-Bohlen als Zwischenbohlen gestattet die Gleichartigkeit der Schloßverbindungen das unmittelbare Aneinanderreihen der beiden Profile. Die übrigen Spundwandprofile können in gleicher Weise, allerdings durch Einschalten von besonderen Zwischenstücken, verwendet werden. Da diese Zwischenstücke jedoch zur Zeit noch nicht zur Verfügung stehen, wird im folgenden nur auf die Bauweise mit Krupp-Bohlen eingegangen.



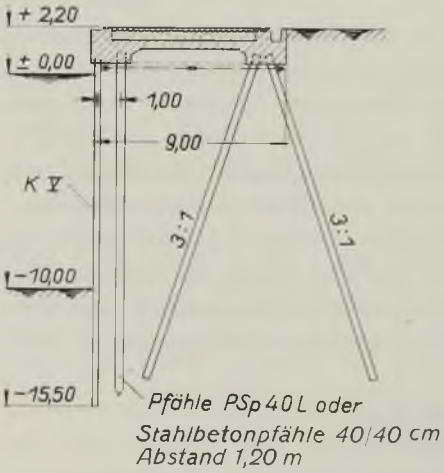
Die Bohlen werden gemäß den Skizzen auf S. 82 in der Art aneinandergereiht, daß entweder eine Peiner Bohle mit einer Doppelbohle oder zwei Peiner Bohlen mit zwei Doppelbohlen abwechseln. Für einige Zusammenstellungen sind die statischen Werte und die Gewichte je m² Wand in Zahlentafel 15 angegeben. Es besteht selbstverständlich die Möglichkeit, auch andere Profile als in den Tafeln aufgeführt zusammenzustellen; ebenso können auch einzelne Peiner Bohlen mit zwei Doppelbohlen Krupp oder zwei Peiner Bohlen mit einer Doppelbohle Krupp abwechseln. Man ist daher in der Lage, sich den erdbaustatischen Forderungen, besonders bei wechselnden Bodenschichten oder ungünstigen Bodenarten, in jeder Weise anzupassen.

Diese Bauweise bietet den Hauptvorteil, daß die Peiner Bohlen die senkrechten Auflasten aus dem Kaimaueraufbau, der Nutzlast und der Kranbelastung gesichert in den guten Baugrund übertragen und gleichzeitig mit den eingeschalteten Krupp-Bohlen zusammen die waage-

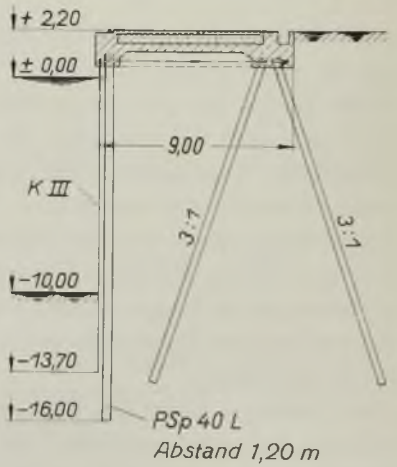
rechten Erddruckkräfte aufnehmen. (Über die Tragfähigkeit der Peiner Bohle vgl. die Ausführungen auf den S. 67 u. 151.)

Die eingeschalteten Krupp-Bohlen werden durch entsprechende Ausbildung der Konstruktion senkrecht nicht belastet. Da die lotrechten Lasten von den Peiner Bohlen übertragen werden, ist eine Pfahlreihe unmittelbar hinter der Spundwand nicht erforderlich. Diese Pfahlreihe wird gewissermaßen in die Spundwand hereingezogen. Der Stahlbedarf für die Wand wird hierdurch geringer. Außerdem können auch die Krupp-Bohlen kürzer gehalten werden, da das kleinere Biegungsmoment im unteren Wandteil von den Peiner Bohlen, die zur Erzielung der Tragfähigkeit eine größere Länge haben müssen, allein aufgenommen werden kann. Zu der Baustoffersparnis tritt auch noch eine Ersparnis an Rammkosten hinzu, da das Rammen der zusätzlichen Pfahlreihe fortfällt. Die Bauweise bietet also wirtschaftliche Vorteile und gestattet Sparsamkeit in der Stahlverwendung.

Diese Vorteile seien an einem Beispiel erläutert, und zwar durch den Vergleich zwischen einer einfachen Spundwand mit dahinterstehenden Tragpfählen und einer zusammengesetzten Spundwand aus Peiner Kastenspundbohlen und Krupp-Bohlen. Dem Vergleich sind die beiden unten dargestellten Querschnitte zugrunde gelegt. Nach der Festigkeitsberechnung beträgt das größte Biegungsmoment für die Spundwand 40,0 tm/m und die senkrechte Belastung an der Mauervorderkante rd. 34,0 t/m Wand.



Vorschlag 1. Wellenförmige Spundwand mit lotrechtem Tragpfahl



Vorschlag 2. Zusammengesetzte Spundwand

a) Einfache Spundwand mit Tragpfählen

Gewählt wird

Krupp K V mit $W_x = 3000\ \text{cm}^3/\text{m}$ Wand,

sodaß sich eine Beanspruchung von $\sigma = \frac{4000000}{3000} = 1332\ \text{kg/cm}^2$ ergibt. Die Bohlenlänge ist zeichnerisch zu 16,0 m ermittelt. Bei einem Gewicht der Spundwand von 238 kg/m² beträgt das erforderliche Stahlgewicht je lfd. m Mauer:

16,0 m² · 0,238	= rd. 3,8 t
Für die hinter der Wand anzuordnenden Stahlbeton-Tragpfähle von 40 × 40 cm Querschnitt und rd. 15,5 m Länge ist nach überschläglicher Ermittlung noch ein Stahlbedarf einzusetzen von (auf den lfd. m Mauer umgerechnet)	rd. 0,3 t
Der Gesamt-Stahlbedarf ist also	rd. 4,1 t/m

(Bei Verwendung von Stahlpfählen anstelle der Stahlbetonpfähle würde sich der Bedarf auf rd. 4,9 t/m Wand erhöhen.)

b) Zusammengesetzte Spundwand

Gewählt werden

1 PSp 40 L und 1 Doppelbohle K III abwechselnd mit $W_x = 3250\ \text{cm}^3/\text{m}$ Wand,

sodaß sich eine Beanspruchung von $\sigma_1 = \frac{4000000}{3250} = 1230\ \text{kg/cm}^2$ ergibt. Die in 1,2 m Abstand angeordneten Peiner Bohlen werden außerdem lotrecht mit $1{,}2 \cdot 34{,}0 = 40{,}8$ t belastet und erhalten daher bei einem Querschnitt von $F = 155\ \text{cm}^2$ eine Zusatzspannung von $\sigma_2 = \frac{40800}{155} = 263\ \text{kg/cm}^2$. Die Gesamtspannung der Peiner Bohlen beträgt somit

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 = 1230 + 263 = 1493\ \text{kg/cm}^2.$$

Die Länge der ausfachenden Krupp-Spundbohlen wurde zeichnerisch aufgrund der Momentenlinie zu 14,2 m bestimmt. Unterhalb dieser Tiefe kann das Biegungsmoment von den Peiner Kastenbohlen allein aufgenommen werden, die zur Erzielung der notwendigen Tragfähigkeit 16,5 m lang werden müssen. Bei einem Gewicht der zusammengesetzten Spundwand von 216 kg/m² beträgt das erforderliche Stahlgewicht je lfd. m Mauer:

14,2 m² · 0,216	= rd. 3,1 t
Dazu für die überstehenden Peiner Bohlen PSp 40 L je lfd. m: $\frac{16{,}5 - 14{,}2}{1{,}2} \cdot 0{,}122$	= rd. 0,2 t
Der Gesamt-Stahlbedarf ist also	rd. 3,3 t/m

Die Stahl-Ersparnis bei Anwendung der zusammengesetzten Spundwand beträgt also im vorliegenden Fall 4,1 − 3,3 = 0,8 t/m, d. h. rd. 20 v. H. gegenüber einem Entwurf mit einwandiger Spundwand und dahinterstehenden Stahlbetontragpfählen. Mit gleich großer Ersparnis kann auch in allen anderen Fällen gerechnet werden.

Außer dieser Baustoffeinsparung tritt aber auch noch eine Baukosten-Ersparnis ein. Eine überschlägliche Ermittlung der Gesamt-Baukosten einschließlich der Lieferungen für die beiden vorgenannten Ausführungsvorschläge ergibt eine Ersparnis von rd. 25 v. H. zugunsten der Verwendung der zusammengesetzten Spundwand, wobei berücksichtigt ist, daß die Rammkosten für diese Wand etwas höher sein werden als die für eine einfache Spundwand.

Für das Rammen der zusammengesetzten Spundwand hat sich das Festpunktverfahren bestens bewährt, d. h. es werden zuerst die Peiner Pfähle ohne Schlösser einzeln und dann dazwischen die Krupp-Bohlen — beiderseits mit Schlössern versehen — herunter geschlagen (s. auch S. 124). Die Krupp-Schlösser V/VI passen zu den Peiner Bohlen der L-Reihe (außer PSp 30 L), sodaß die Peiner Bohlen ohne Schlösser bezogen werden können, während die Krupp-Bohlen mit einem zusätzlichen Krupp-Schloß geliefert werden müssen. Das Nacheinanderrammen der Bohlen ist nicht zu empfehlen, da in diesem Falle die Peiner Bohlen mit nur einem Schloß geschlagen werden müßten, sodaß sehr leicht ein Verdrehen des in diesem Fall unsymmetrischen Querschnittes eintreten kann.

Auf den S. 218 bis 221 sind einige Beispiele von Ufermauern, die in dieser Bauweise ausgeführt sind, dargestellt, wobei auch Einzelheiten der Verankerung gezeigt werden. Weitere Ausführungsmöglichkeiten für die Verankerung siehe S. 41.

Ansicht einer zusammengesetzten Spundwand aus Peiner und Krupp-Bohlen

VI.

Probebelastung von Pfählen aus Peiner Kastenspundbohlen

Die Peiner Kastenspundbohlen werden sowohl als Einzelpfähle wie auch als zusammenhängende Spundwand bei der Gründung von Ufermauern, Brücken, Hochbauten u. dgl. mit gutem Erfolg zur Übertragung von Lasten in den tragfähigen Baugrund verwendet. Die erzielten bautechnischen und wirtschaftlichen Vorteile sind auf den S. 71ff. bereits eingehend erläutert. Für die Errechnung der Tragfähigkeit von Rammpfählen aller Art gibt es nun bekanntlich eine Reihe von Formeln, von denen nach den vorliegenden Erfahrungen die Formel von Dörr (s. S. 146) die beste Möglichkeit bietet, die voraussichtliche Tragfähigkeit von gerammten Peiner Kastenspundbohlen mit einiger Genauigkeit schon beim Entwurf zu berechnen, unter der Voraussetzung, daß die Bodenbeiwerte genau bekannt sind. Vielfach fehlt jedoch die genaue Kenntnis der Bodeneigenschaften; andererseits ist auch bei stark wechselnden Bodenschichten die Größe der auftretenden Reibungskräfte schwer zu ermitteln. In diesen Fällen wird die tatsächliche Tragfähigkeit zweckmäßig durch die Ausführung einer Probebelastung festgestellt.

Das Normblatt DIN 1054 „Richtlinien für die zulässige Belastung des Baugrundes und der Pfahlgründungen“[1]) empfiehlt ebenfalls die Vornahme von Probebelastungen, über deren Durchführung folgende Anweisungen gegeben werden (im Auszug):

§ 5. C. Probebelastung von Pfählen

16. Anwendung

Durch die Probebelastung soll die zulässige Belastung der unter gleichen Bedingungen stehenden Tragpfähle des Bauwerkes ermittelt werden. Deshalb müssen dabei die Bodenverhältnisse, die Rammtiefe und die Ausbildung der Probepfähle den tatsächlichen Verhältnissen beim Bau entsprechen.

Stehen die Pfahlspitzen ausnahmsweise in nicht sehr festen bindigen Böden, so stellen sich die Setzungen sehr langsam ein, sodaß ihr Endzustand bei der Probebelastung im allgemeinen nicht abgewartet werden kann.

Durch die folgenden Richtlinien soll erreicht werden, daß die Ergebnisse von Probebelastungen untereinander und mit den später zu beobachtenden Senkungen der Bauwerke leicht verglichen werden können.

17. Zahl der Probepfähle

Die Zahl der Probepfähle richtet sich nach der Gestalt des Bauwerkes und der Beschaffenheit des Baugrundes. Bei wichtigen Bauten sollen, auch bei gleichmäßigem Baugrund, zwei Probepfähle belastet werden.

18. Vorbereitung der Probebelastung

Vor der Probebelastung ist die Beschaffenheit des Baugrundes[2]) festzustellen. Während der gesamten Rammdauer des Probepfahles sind seine Senkungen bei

---

[1]) 2. Ausgabe, August 1940. Beuth-Vertrieb, G. m. b. H., Berlin SW 19.
[2]) Vgl. § 3 und 4 des Normblattes.

jeder Hitze von 10 oder 20 Schlägen zu messen; dabei sollen mindestens die drei letzten Hitzen aus je 10 Schlägen bestehen. Mit der Probebelastung darf erst 24 Stunden, in bindigen Böden erst 5 Tage nach dem Einrammen des Pfahles begonnen werden.
Der Probebelastung sind Erschütterungen aller Art, auch die durch den Verkehr, laufende Maschinen oder Rammarbeiten, fernzuhalten, auch die gegenseitige Beeinflussung zweier Probebelastungen ist zu vermeiden.

19. Belastungsvorrichtung

Die Belastung ist so aufzubringen, daß sie möglichst genau in der Längsachse des Pfahles wirkt, während des Versuchs nicht schwankt und gegen Kippen gesichert ist. Beim Auf- und Abbauen der Last sind Stöße und Erschütterungen unbedingt zu vermeiden. Werden Wasserdruckpressen, Öldruckpressen, Schraubenspindeln oder Belastungshebel verwendet, so ist darauf zu achten, daß ihre Gegengewichte und Verankerungen so anzuordnen sind, daß der Probepfahl durch die Veränderung ihrer Beanspruchungen nicht beeinflußt werden kann. Die Pumpen der Druckpressen müssen so leistungsfähig sein, daß sie den Druck möglichst ohne Schwankungen halten können, weil andernfalls das Senkungsbild verändert wird. Vor und nach dem Versuch ist zu prüfen, ob die Druckmesser richtig anzeigen.

20. Verlauf der Probebelastung

Die Probebelastung ist möglichst bis zum Bruch durchzuführen.
Die Last ist stufenweise zu steigern. Die Laststufen sind so zu wählen, daß die Lastsenkungslinie sich deutlich zeichnen läßt. Jede Laststufe soll so lange unverändert gehalten werden, bis der Pfahl nicht mehr meßbar nachgibt.
Nach Entlastung ist die bleibende Einsenkung zu messen, was von besonderer Bedeutung bei stark wechselnden Pfahlbelastungen ist.

21. Messungen

Beim Messen der Senkungen des Pfahles dürfen weder die Meßgeräte noch die zum Vergleich benutzten Festpunkte durch die Bewegung der Last, des Probepfahles oder der Gegengewichte oder der Verankerungen der Last beeinflußt werden. Empfohlen wird, die Senkungen gleichzeitig in verschiedener Weise zu messen, z. B. durch Meßuhren und durch Nivellieren.

22. Zugversuch

Für auf Zug beanspruchte Pfähle können Zugversuche vorgenommen werden, die sinngemäß vorzunehmen und auszuwerten sind.

23. Aufzeichnungen

Die Aufzeichnungen über die Probebelastung sollen folgende Angaben enthalten:

a) eine Lageplanskizze des Bauwerkes und der Probepfähle,
b) Boden- und Grundwasserverhältnisse, Ergebnisse benachbarter Bohrungen und etwa ausgeführter bodenkundlicher Untersuchungen,
c) Herkunft, Baustoff und Abmessungen der Probepfähle,
d) Gestalt und Abmessungen der Pfahlenden,
e) Rammergebnisse der Probepfähle, Ziehen bei jeder Hitze, Gewicht und Fallhöhe des Rammbären, Schlagzahl in der Minute, Gewicht, Baustoffe und Abmessungen der Rammhauben, Höhenlage von Kopf und Ende der eingerammten Pfähle,
g) Tag und Stunde des Beginns und des Endes der Probebelastung, Witterung und Temperatur während der Belastung,
h) Beschreibung der Belastungs- und Meßvorrichtungen unter Beigabe von Zeichnungen, Beschreibung des Auf- und Abbringens der Last, Nachweis der amtlichen Prüfung der Druck- und Dehnungsmesser,
i) die Lastsenkungslinie mit sämtlichen gemessenen Zahlenwerten,
k) die Zeitsenkungslinie mit sämtlichen gemessenen Zahlenwerten,

l) besondere Ereignisse während der Belastung, Störungen an den Belastungs- und Meßvorrichtungen, Veränderungen der Bodenoberfläche neben dem Probepfahl, Lageänderungen der Gegengewichte und Verankerungen,
m) Angaben über das Ausziehen der Probepfähle, Zugkraft, Versuchsdauer und -verlauf, Ziehgerät.

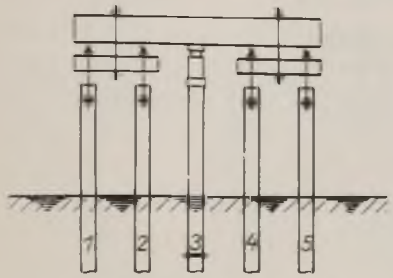
Die Probebelastung von Peiner Kastenspundbohlen wird wegen der erforderlichen großen Kräfte nur mit Hilfe von Druckpressen durchgeführt. Die Presse wird dabei auf dem Kopf des zu belastenden Pfahles so aufgebaut, daß sich der Druck auf die gesamte Querschnittsfläche gleichmäßig verteilt. Der Gegendruck der Presse wird auf einen kräftigen Balken übertragen, der im allgemeinen beiderseits mit Zugpfählen verbunden ist. Die grundsätzliche Anordnung von Belastungsversuchen ist auf S. 91 dargestellt. Die Skizzen zeigen, wie mit Hilfe derselben Belastungsvorrichtung 5 Probepfähle nacheinander belastet werden können. Stehen so viele Pfähle nicht zur Verfügung, so kann anstelle der Zugpfähle auch eine Totlast (eingegrabener Schwellrost) treten. Auf S. 92 sind außerdem noch zwei Beispiele ausgeführter Probebelastungen dargestellt, bei denen im einen Falle eine Doppelbohle innerhalb der Spundwand und im anderen Falle eine Probebohle außerhalb der Spundwand belastet wird. Im letzteren Falle wird der als Hebel wirkende Balken durch einen Schwellenstapel abgestützt.

In ähnlicher Weise wie die Belastungsversuche lassen sich mit der gleichen Vorrichtung nach entsprechendem Umbau auch Zugversuche ausführen (s. S. 91). Auch hierbei können Zug- bzw. Druckbohlen durch Totlast bzw. Schwellenstapel ersetzt werden.

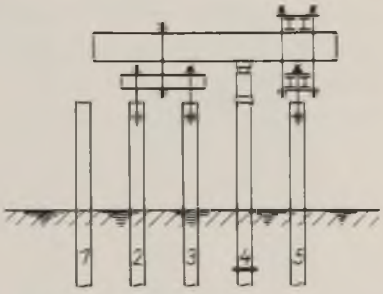
Wegen der großen aufzunehmenden Lasten ist die Stützkonstruktion aus kräftigen, entsprechend verstärkten P-Trägern herzustellen. Die Verbindung mit den Zugpfählen erfolgt durch starke Anker, welche die Stege der Peiner Kastenbohlen gabelartig umfassen und durch Bolzen gehalten werden. Die Stege der Bohlen müssen durch aufgeschweißte Platten verstärkt werden, um ein Aufreißen infolge des Lochleibungsdruckes zu vermeiden. Sämtliche Auflager sind mit waageschneidenartigen Lagern zu versehen, damit keine zusätzlichen Biegungsbeanspruchungen in den Ankern entstehen können.

Die Ilseder Hütte hat ein vollständiges Belastungsgerät nach der vorbeschriebenen Bauweise aus IP 80, IP $42^1/_2$ und $4^1/_4$''-Ankern hergestellt (s. Abbildung S. 92) und stellt dieses mit der erforderlichen Druckpresse und -pumpe für Probebelastungen von Peiner Kastenspundbohlen

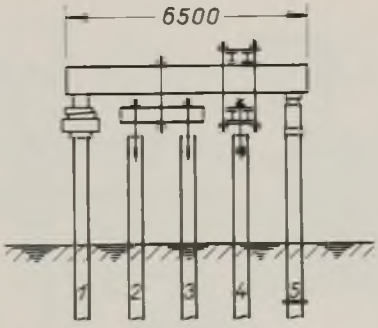
Druck- und Zugversuche
mit dem Belastungsgerät der Ilseder Hütte



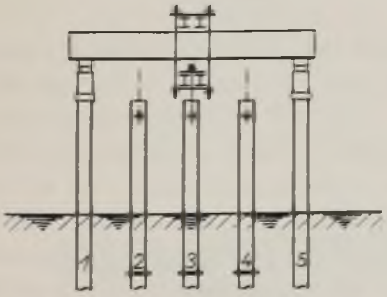
Druckbelastung an Pfahl 3



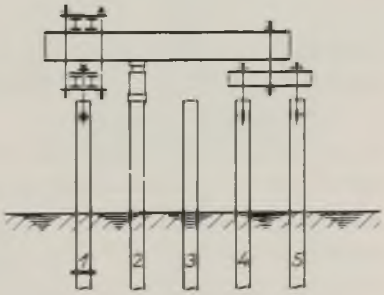
Druckbelastung an Pfahl 4



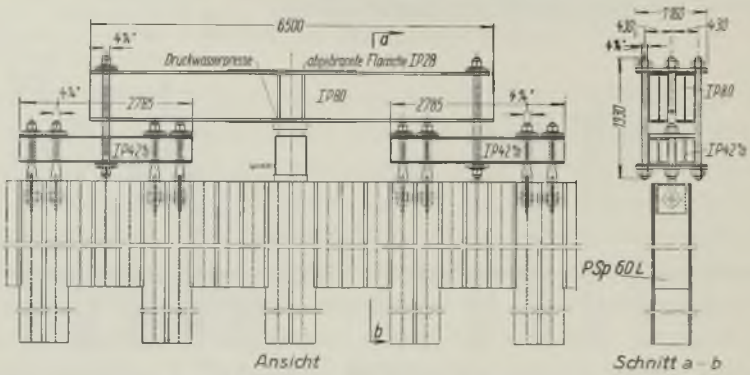
Druckbelastung an Pfahl 5



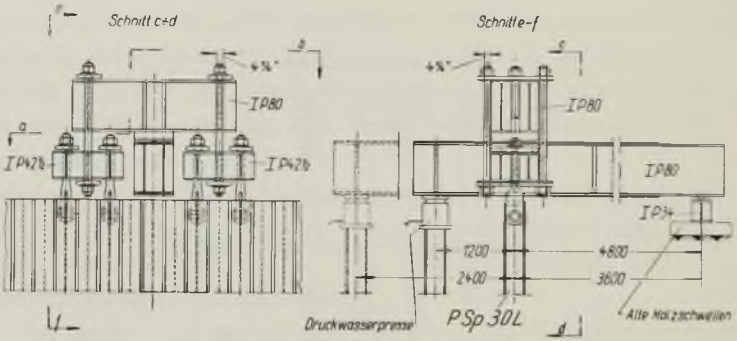
Zugbelastung an Pfahl 3 (2 oder 4)

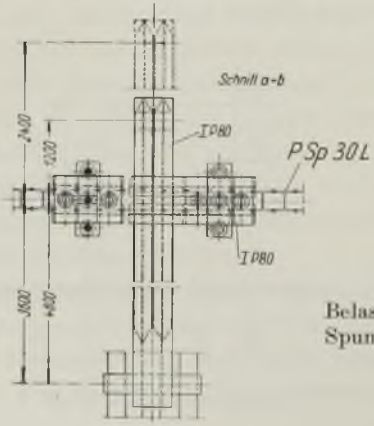


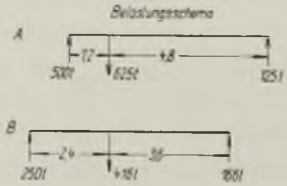
Zugbelastung an Pfahl 1



Belastung einer Doppelbohle innerhalb einer Spundwand mit dem Belastungsgerät der Ilseder Hütte



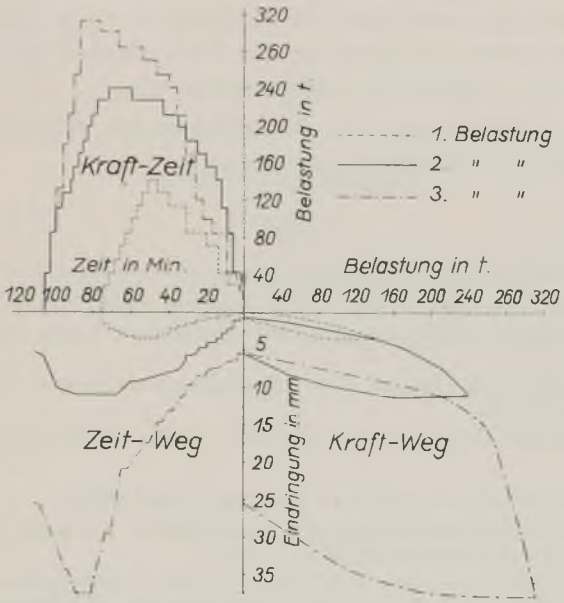




Belastung einer Probebohle neben der Spundwand mit dem Belastungsgerät der Ilseder Hütte

kostenlos zur Verfügung. (Die Frachtkosten sind vom Besteller zu tragen.)

Die Eindringungen des Probepfahles werden mit Meßuhren von $^1/_{10}$ mm Ablesegenauigkeit gemessen. Im allgemeinen werden 2 Meßuhren angebracht, und zwar zwischen einem an dem Probepfahl festgeklemmten Bügel und einem Festpunkt, der von der Belastung nicht beeinträchtigt wird. Zweckmäßig wird außerdem auch noch die Pfahleindringung mit



Last- und Zeitsenkungslinie bei einer Probebelastung

einem Nivellierinstrument an Meßstäben mit 0,5 mm Teilung abgelesen. (Es darf selbstverständlich nicht unterlassen werden, auch die Zugpfähle genau einzumessen.)

Die Last wird je nach der zu erwartenden Tragfähigkeit in Stufen von je 10 bis 25 t unter Einschaltung von Beruhigungszeiten von etwa 5 bis 10 Min. aufgebracht. In der Regel werden mehrere Belastungsschleifen durchgeführt, und zwar wird die Last allmählich bis zu einer bestimmten Höhe gesteigert und dann wieder ganz entlastet. Für die Art der Aufzeichnung gibt das vorstehende Schaubild ein Beispiel (s. a. S. 245).

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, daß die Bestimmung der Tragfähigkeit mit Hilfe von dynamischen Rammformeln aufgrund der Proberammung unzuverlässig ist. Diese Formeln setzen voraus, daß der dynamische Eindringungswiderstand gleich dem statischen Eindringungswiderstand und von der Bodenart unabhängig ist. Die aus den verschiedenen Formeln errechneten Werte weichen außerordentlich stark voneinander ab, sodaß ihre Anwendung keine Sicherheit bietet. Es ist daher, wie einleitend schon erwähnt, die Durchführung von Probebelastungen zur Ermittlung der Pfahltragfähigkeit und damit der Pfahllänge sehr zu empfehlen, zumal die Kosten in keinem Verhältnis zu den Gesamtkosten stehen und dem Bauvorhaben eine größere Sicherheit gegeben wird.

Zur weiteren Unterrichtung über Probebelastungen wird auf das nachstehend aufgeführte Schrifttum verwiesen.

Schrifttum:

A. Allgemeines über Probebelastungen

Franzius, Der Grundbau. Berlin, Julius Springer, 1927. S. 21 u. 108.

Agatz, Der Kampf des Ingenieurs gegen Erde und Wasser. Berlin, Julius Springer, 1936. S. 202.

Loos, Praktische Anwendungen der Baugrunduntersuchungen. Berlin, Julius Springer, 1937. S. 58.

Kögler-Scheidig, Baugrund und Bauwerk. Berlin, W. Ernst & Sohn, 1939. S. 242.

B. Probebelastungen von Peiner Kastenspundbohlen

Spieker, Probebelastungsvorrichtung für Rammpfähle. Zeitschrift Der P-Träger 1935, S. 75 (P-Träger-Beratungsstelle in Peine).

Wolter u. Peters, Ergebnisse der Rammung und Probebelastung von Peiner Kastenspundbohlen an der Ostebrücke bei Hechthausen. Der Bauingenieur 1935, S. 383.

Arens u. Röhnisch, Belastungsproben an Stahlpfählen und deren Anwendung bei der Erweiterung des Dortmund-Ems-Kanals. Die Bautechnik 1937, S. 586.

VII.

Das Rammen von Peiner Kastenspundbohlen

Allgemeines

Das Rammen von Stahlspundbohlen ist im Laufe der letzten Zeit zu einem in Tiefbaukreisen vertrauten Bauvorgang geworden. Es sind bekanntermaßen eine Reihe von Regeln anzuwenden, um ein Ergebnis zu erzielen, das alle Beteiligten befriedigt. Bei jeder Spundwandbauart sind nun infolge der Eigenart der Profilform einige Besonderheiten zu beachten. Das Rammen der Peiner Kastenspundbohlen unterscheidet sich in manchen Dingen wesentlich von dem der übrigen Spundbohlen. Es dürfen daher die für letztere gültigen Rammverfahren nicht ohne weiteres auch beim Rammen von Peiner Kastenspundbohlen angewendet werden.

Neuzeitliche Rohrgerüst-Dampframme

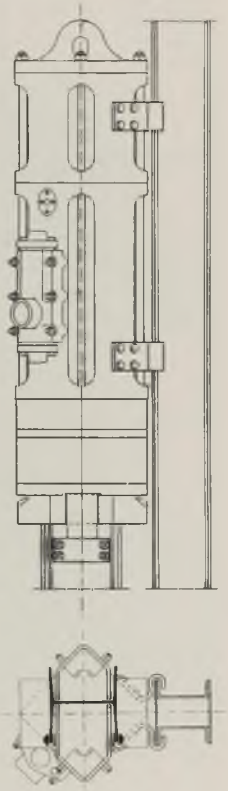
Im folgenden sind nun im Zusammenhang mit den allgemeinen auch die besonderen Regeln für die Peiner Kastenspundbohlen aufgrund unserer mehrjährigen Erfahrungen zusammengestellt, um Bauleitern, Bauführern und Rammeistern das notwendige Rüstzeug in die Hand zu geben, das ihnen ermöglicht, eine technisch einwandfreie Rammung in wirtschaftlicher Weise zu erzielen.

Rammgerät

Für die Wahl des geeigneten Gerätes zum Rammen von Peiner Kastenspundbohlen sind, wie bei jeder anderen Rammung, die besonderen örtlichen Verhältnisse von ausschlaggebender Bedeutung. Bei umfangreichen Arbeiten lohnt es sich immer, falls keine Freirammung (s. S. 103) infrage kommt, eine möglichst bewegliche Ramme zu verwenden. Starre und auch halbstarre

Gerüstrammen sollte man nur zum Schlagen von Einzelbohlen oder Pfeilern verwenden, niemals aber für längere Wandrammungen, denn die hierbei von Zeit zu Zeit erforderlichen Gerüstverstellungen würden wegen des damit verbundenen Zeitverlustes entweder gar nicht oder aus Gründen der Umständlichkeit stets zu spät vorgenommen, sodaß unangenehme Störungen nicht vermeidbar wären.

Der Dampfbär mit 2 bis 4 t Gewicht ist das Gerät, das sich in Verbindung mit einer neuzeitlichen Stahlgerüstramme bei allen Verhältnissen und bei allen zu durchrammenden Bodenschichten immer bewährt hat. Ein Bär von 5 bis 6 t ist nur für die größten Profile bei besonders großen Rammtiefen und gleichzeitig besonders festen Bodenschichten erforderlich. Im allgemeinen soll das Bärgewicht mindestens dem Bohlengewicht gleich sein.



Der Schnellschlaghammer kann mit entsprechend gebogenen Führungsbügeln (s. nebenstehende Abbildung) an jeder Gerüstramme arbeiten, selbst an der einfachen und sehr beweglichen „Holländischen Ramme" (s. S. 264). Infolge seiner geringen Bauhöhe bleibt die Nutzhöhe des Mäklers größer als beim Dampfbären. Während des Einfädelns einer Bohle bleibt der Hammer zweckmäßig auf der geschlagenen Wand stehen. Eine Rammhaube ist bei diesem Gerät nicht nötig; die Schlagplatte des Hammers liegt unmittelbar auf dem Bohlenkopf. Die an den Hämmern angebrachten Flachstahlbügel verhindern eine seitliche Verschiebung zwischen Schlagplatte und Bohle. Vor dem Einsatz eines Hammers ist zu prüfen, ob die Schlösser des Profils von der Schlagplatte voll überdeckt werden. Ebenso ist darauf zu achten, daß kein Hammerfuß oder Bügel beim „Aufgleichehöheschlagen" die Nachbarbohle berührt. Die für die Peiner Kastenspundbohlen passenden Schnellschlaghammer-Bauarten sind in einer Übersicht auf der nächsten Seite zusammengestellt. Mit Rücksicht auf eine entsprechend günstige Hammerstellung kann die Abweichung von der Mittellinie (Maß „*a*" in der Abbildung auf S. 108) bis zu rd. 7 cm betragen.

Verwendung von Schnellschlaghämmern bei Peiner Kastenspundbohlen

Hammer-bezeichnung		Gewicht t	Normale Verwendungsmöglichkeit bei Profil PSp				
			30	35	40	50	60
Demag-Union-Rammhammer	VR 15	1,95 2,15	◆ ▬ ▮	▬	▬		
	R 20	3,05 3,30	◆ ▬ ▮	▬ ▮	▬ ▮		
	VR 20	3,65 3,95	◆ ▬ ▮	◆ ▬ ▮	◆ ▬ ▮	◆	◆
	VR 28	6,70			◆	◆	◆
Menck-Schnellschlaghammer	SB 8	1,10	▬	▬	▬		
	SB 12	1,65	▬ ▮	▬	▬	▬	
	SB 18	2,48	▬ ▮	▬ ▮	▬	▬	
	SB 27	3,63	▬ ▮	▬ ▮	▬ ▮	▬	▬
	SB 40	5,40			▬ ▮	▬ ▮	▬
	SB 60	8,00			▬ ▮	▬ ▮	▬ ▮
Menck-Dieselhammer	DB 5	1,25	▬ ▮	▬	▬		
	DB 8	1,75	▬ ▮	▬ ▮	▬	▬	
	DB 12	2,50	▬ ▮	▬ ▮	▬ ▮	▬	▬
	DB 18	3,40	▬ ▮	▬ ▮	▬ ▮	▬ ▮	▬
	DB 27	5,00			▬ ▮	▬ ▮	▬ ▮

Bei den Demag-Union-Rammhämmern VR 15, R 20 und VR 20 bezeichnet die Zahl über dem Bruchstrich das Gewicht mit kleiner Rammplatte, die Zahl unter dem Bruchstrich das Gewicht mit großer Rammplatte.

Zeichen für die Hammerstellung:

Kleine Rammplatte — Große bzw. normale Rammplatte — Sonderplatte f. VR 20, auch für PSp 30—40

Der Rammhammer wird mit Erfolg bei sandigen und kiesigen Böden verwendet. Die Benutzung ist auch dann anzuraten, wenn Erschütterungen der Umgebung vermieden werden müssen. Beim Arbeiten mit dem Rammhammer hat man ferner noch den Vorteil, daß die Bohlenköpfe sehr geschont werden. Wird der Rammhammer mit Preßluft betrieben, kann bekanntlich auch unter Wasser gerammt werden. Bei bindigen Böden ist die Verwendung des Rammhammers weniger zu empfehlen, da hier oft die Schlagkraft zur Überwindung des Bodenwiderstandes nicht ausreicht. Solche Bodenschichten durchrammt man besser mit langsameren, aber schwereren Schlägen.

Bagger als Ramme mit Freifallbär bei der Rammung von Peiner Kastenspundbohlen in Felsboden

Der Freifallbär wird erfolgreich bei allen Bodenschichten, vor allem bei felsigem Untergrund und bindigem Boden angewendet. Das erforderliche Fallgewicht ist abhängig von der Bodenart, von der Rammtiefe sowie der Profilgröße und ist daher von Fall zu Fall zu bestimmen. Es sind im allgemeinen große Bärgewichte mit kleinen Fallhöhen zu bevorzugen. Bei

sehr festem und felsigem Untergrund wählt man jedoch zweckmäßig kleine Bärgewichte mit größeren Fallhöhen. Als Faustregel gilt auch hier, daß das Bärgewicht etwa gleich dem $1 - 1^1/_2$-fachen Bohlengewicht sein soll (vgl. die Zusammenstellung auf S. 115). Von der gesamten Rammtiefe ist etwa die erste Hälfte stets mit kleinerem Hub zu schlagen. Durch die unbegrenzte Hubmöglichkeit wird oft unwillkürlich eine zu hohe Fallhöhe genommen; ist der Bär dabei reichlich schwer, so kann die ausgelöste Energie nicht immer voll zum Eindringen ausgenutzt werden und führt zu Überbeanspruchungen des Bohlenkopfes, wobei Verformungen nicht ausbleiben. Für die Erhaltung eines guten Bohlenkopfes ist weiterhin bis zuletzt der jederzeit genau mittige Schlag auf die Haube anzustreben, der zweckmäßig mit den auf S. 108 gezeigten Bohlenkopf-Führungsstücken, selbst bei Schwimmrammen, erreicht wird.

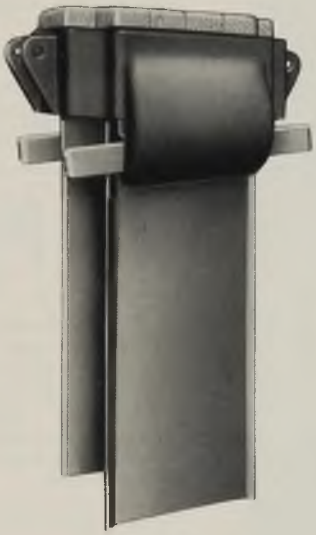
Diesel-Rammhammer
bei der Rammung von PSp 30 L
für ein Brückenwiderlager

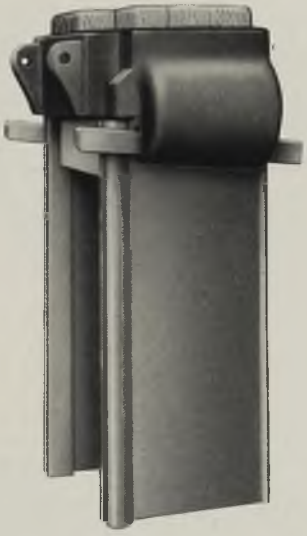
Auch Dieselrammen wurden bisher für die leichteren Peiner Bohlen auf kleineren Baustellen mit Erfolg eingesetzt. Eine Ausführung mit einem beweglichen und leicht aufzubauenden Gerüst mit einem 0,5-t-Bär zeigt das obige Lichtbild.

Rammhauben

Zum Rammen der Peiner Kastenspundbohlen werden zur gleichmäßigen Übertragung der Schlagkraft auf die Bohlen Rammhauben aus Elektro-Stahlguß verwandt, die mit einem Futter aus Weißbuchenholz versehen sind. Die umseitige Zusammenstellung gibt eine Übersicht über die normalen Rammhauben, die jederzeit von der Ilseder Hütte gegen geringe Miete leihweise zur Verfügung gestellt werden können.

Für Sonderprofile, Paßbohlen und Eckausbildungen werden nach Bedarf Rammplatten hergestellt, die zur Befestigung mit entsprechenden Ansätzen versehen sind.

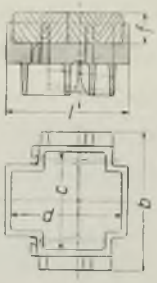




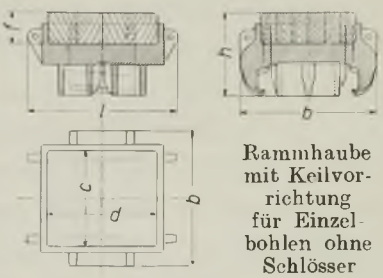
Rammhaube
für eine Bohle ohne Schlösser

Rammhaube
für eine Bohle mit 2 Schlössern

Zusammenstellung der Rammhauben

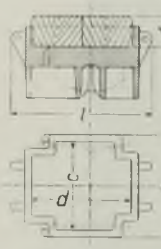


Rammhaube mit Keilvorrichtung für Einzelbohlen

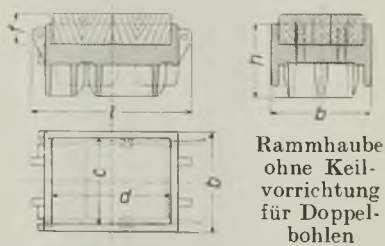


Rammhaube mit Keilvorrichtung für Einzelbohlen ohne Schlösser

Rammhauben mit Keilvorrichtung für Einzelbohlen								Rammhauben mit Keilvorrichtung für Einzelbohlen ohne Schlösser							
Profil PSp	Haube			Futter			Gewicht	Haube			Futter			Gewicht	Profil PSp
	h	*b*	*l*	*c*	*d*	*f*	kg	*h*	*b*	*l*	*c*	*d*	*f*	kg	
30	355	570	500	380	440	150	340	355	560	630	370	440	150	360	**30**
35	355	625	600	430	540	150	430	355	610	730	420	540	150	470	**35**
40	355	675	600	480	540	150	470	355	660	730	470	540	150	500	**40**
50	355	775	600	580	540	150	540	355	760	730	570	540	150	570	**50**



Rammhaube ohne Keilvorrichtung für Einzelbohlen



Rammhaube ohne Keilvorrichtung für Doppelbohlen

Rammhauben ohne Keilvorrichtung für Einzelbohlen								Rammhauben ohne Keilvorrichtung für Doppelbohlen							
Profil PSp	Haube			Futter			Gewicht	Haube			Futter			Gewicht	Profil PSp
	h	*b*	*l*	*c*	*d*	*f*	kg	*h*	*b*	*l*	*c*	*d*	*f*	kg	
60	355	700	690	630	490	150	500	340	395	680	325	490	150	270	**30**
80	400	930	660	860	480	150	800	300	490	780	420	580	150	380	**35**
								340	490	780	420	580	150	400	**40**
								340	590	780	520	580	150	460	**50**

Zahlentafel 16

Abmessungen in mm, Gewichte in kg einschließlich Holzfutter (bei den Rammhauben mit Keilvorrichtung auch einschließlich Keile).
Die aufgeführten Rammhauben passen jeweils sowohl für das L- als auch S- und SS-Profil. Die Angaben über Abmessungen und Gewichte der Rammhauben sind unverbindlich.

Es empfiehlt sich, die Rammhauben entsprechend ihrer Ausbildung durch Keile an den Bohlen zu befestigen, um das Springen der Hauben und das Verbiegen der Bohlenköpfe zu vermeiden. Beim Rammen mit Schnellschlaghämmern sind keine Rammhauben erforderlich.

Rammen ohne Mäklerführung — Freirammung

Die Peiner Kastenspundbohle ist infolge ihrer großen Steifigkeit vorzüglich zum Freirammen geeignet, d. h. zum Rammen ohne Mäklerführung mit

Freirammen
von
Peiner Kastenspundbohlen
mit Demag-
Union-Rammhämmern
für eine Schleuse

Auf der Baustelle angefertigtes Führungsgestell am Rammhammer zur Ausführung der Freirammung

frei aufgesetztem oder von einem Kran gehaltenen Rammhammer. Außer der erforderlichen Führungszange, wie man sie bei allen Rammungen auf der Rammebene anordnet, sind Zug- oder Druckvorrichtungen nach der Skizze auf S. 106 vorzusehen. Diese Hilfsmittel werden eingesetzt, sobald sich die geringste seitliche Neigung bemerkbar macht. (Hierüber ausführlicher auf S. 118.) Nach dem Einfädeln mit Hilfe eines Auslegerkranes ist die Bohle gegen Umfallen gesichert, wenn sie je nach ihrer Länge mindestens 0,5 bis 2,0 m an der gerammten Nachbarbohle mit beiden Schlössern geführt ist. Der gleiche Kran setzt jetzt den Hammer auf den Bohlenkopf und ist dann für ein zweites Rammgerät im gleichen Arbeitsbereich bzw. für andere Arbeiten, wie z. B. Vorziehen von Bohlen od. dgl., frei. Der frei aufgesetzte Hammer wird durch ein etwa 1,0 m über die Bohle greifendes Führungsgestell gesichert, das durch Verschraubung mit dem Hammer verbunden wird (s. obige Abbildung).

Führung

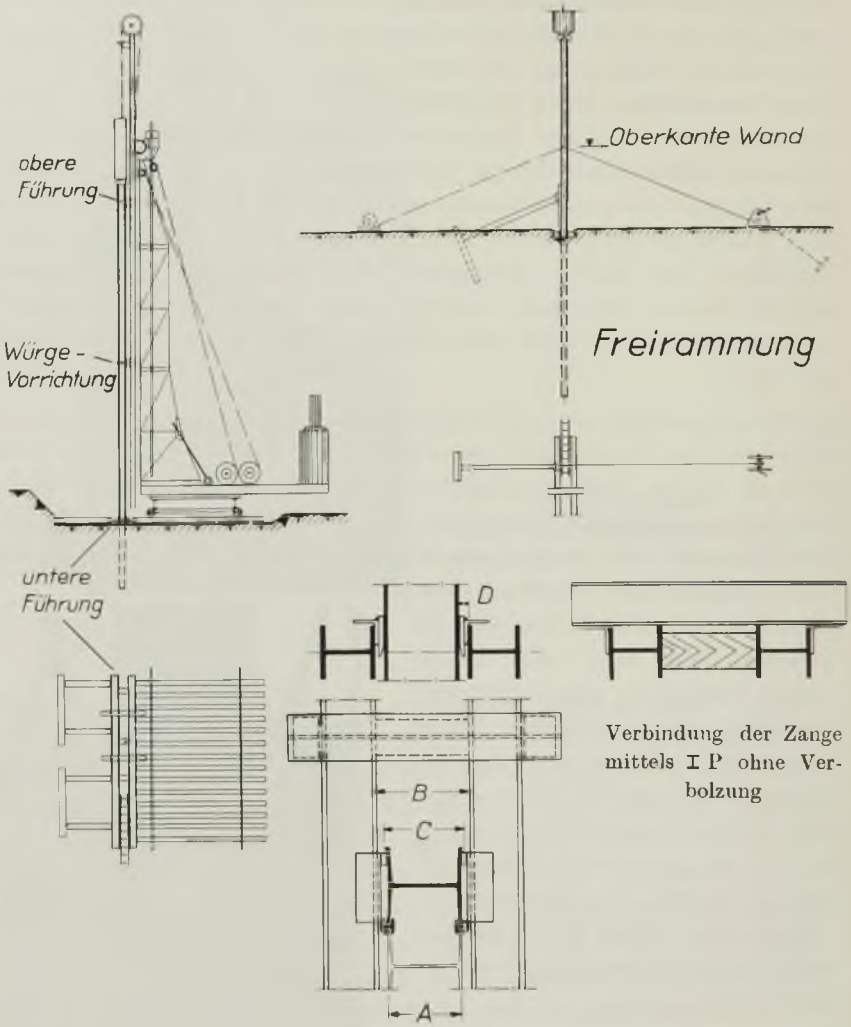
Die wichtigste Vorbedingung zur Erzielung einer guten Rammung ist das Anordnen einer einwandfreien Führung der Spundbohlen. Diese gewährleistet nicht nur die Einhaltung der genauen Flucht, sondern läßt auch die Bohle etwaige Hindernisse im Boden leichter überwinden. Obwohl die Peiner Spundbohlen durch Doppelschlösser geführt werden, so sind sie doch durch eine auf der Rammebene liegende Führungszange fluchtgerecht anzusetzen und während des Schlagens darin zu halten. Damit die Bohle während des ganzen Rammverlaufs parallel zum genau ausgerichteten Mäkler gehalten werden kann, ist eine zweite Führung zwischen Bohlenkopf und Mäkler erforderlich. Von Wichtigkeit ist außerdem, daß die Ramme auf einer sorgfältig ausgerichteten festen, möglichst unverschieblichen Fahrbahn steht und ihre Stellung immer wieder überprüft wird.

a) Führungszange auf der Rammebene (Bodenzange). Als Zange wählt man am besten nicht unter 10,0 m lange Breitflanschträger von Profil 24 bis 30. Falls es möglich ist, die Zange gegen seitliche feste Stützpunkte genügend auszusteifen, so kann diese auch kürzer und schwächer sein. Es ist aber in allen Fällen darauf zu achten, daß die Führungszange gut verankert bzw. abgestützt ist. Die Skizze auf der nächsten Seite zeigt eine zweckmäßige Verbindung ohne gegenseitige Verbolzung der Zangenträger. Stehen entsprechende Träger nicht zur Verfügung, so können für diesen Zweck auch Peiner Spundbohlen vom Vorrat der zu rammenden Bohlen genommen werden. Bei kleineren Bauvorhaben oder kurzen Bohlen genügen auch Kanthölzer von etwa 25 × 25 cm Querschnitt.

Aus der Zahlentafel 17, S. 107, sind für das jeweilige Profil die erforderlichen Zangen-Lichtmaße und Futterstück-Stärken zu entnehmen.

Würgevorrichtung mit Hanfseil

Führungen für die Rammung von Peiner Kastenspundbohlen



Verbindung der Zange mittels I P ohne Verbolzung

Einzelheiten der unteren Führung

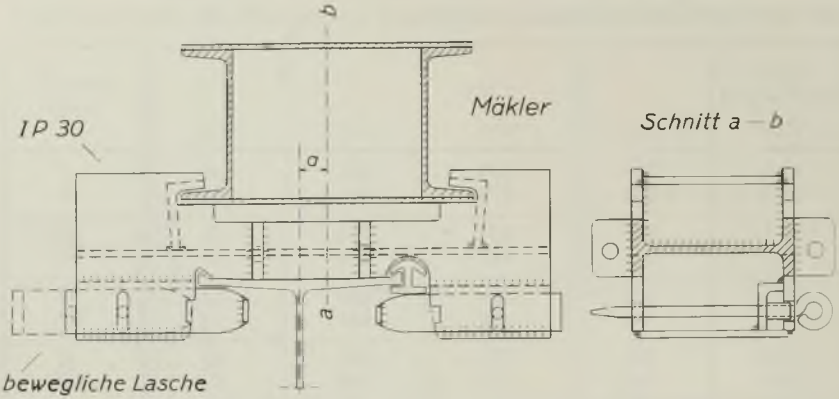
Maße zur Herstellung der Führungszange und Futterstücke nach nebenstehender Skizze:

Profil-bezeichnung PSp	*A* mm	*B*[1]) mm	*C* mm	*D*[1]) mm	Schloß-größe
30 L	300	360	330	28	**I**
30 S	304	375	335	32	**II**
35 L	350	420	380	32	**II**
35 S	354	425	384	32	**III**
40 L	400	470	430	32	**II**
40 S	404	475	434	32	**III**
50 L	500	570	530	32	**II**
50 S	504	575	534	32	**III**
60 L	600	670	630	32	**II**
60 S	604	675	634	32	**III**
80 S	806	875	835	32	**V**
35 SS	368	438	398	32	**V**
40 SS	416	485	444	32	**V**
50 SS	514	585	544	32	**V**
60 SS	614	685	644	32	**V**

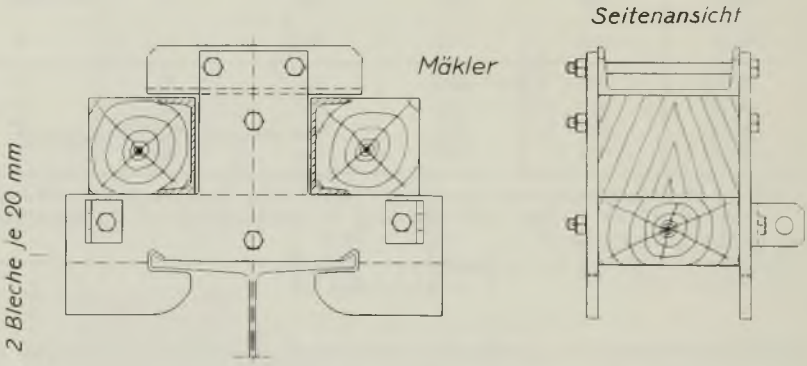
[1]) Bei Zangenanordnung über dem Wasser ist das lichte Maß *B* je nach der Wassertiefe rd. 40 bis 80 mm und das Maß *D* entsprechend rd. 20 bis 40 mm größer zu halten.

Zahlentafel 17

b) Obere Führung am Mäkler. Bei der Verwendung von Dampf- oder Freifall-Bären könnte die Bohle durch an die Rammhaube angegossene oder angeschweißte Arme am Mäkler geführt werden. Bei der Verschiedenartigkeit der Mäkler ist es aber nicht möglich, solche Rammhauben für alle Fälle passend herzustellen. Vor dem Anschweißen derartiger Teile muß andererseits auch gewarnt werden, da sie infolge der ständigen Erschütterungen sehr bald abfallen und zu Unfällen führen können. Die nachstehenden Abbildungen zeigen nun zwei einfache und leicht auf der Baustelle herzustellende Führungsgestelle, die jeder Mäklerform angepaßt werden können. Ein solches Führungsgestell wird dicht unter die Rammhaube gehängt, sodaß hierdurch eine Rammhaube mit Mäklerführung ersetzt wird. Bei der Herstellung der Führung für die Rammung von Bohlen mit Schlössern ist zu beachten, daß die Mäklerachse bzw. Bärachse



Führungsgestell für Bohlen mit Schlössern



Führungsgestell für Bohlen ohne Schlösser

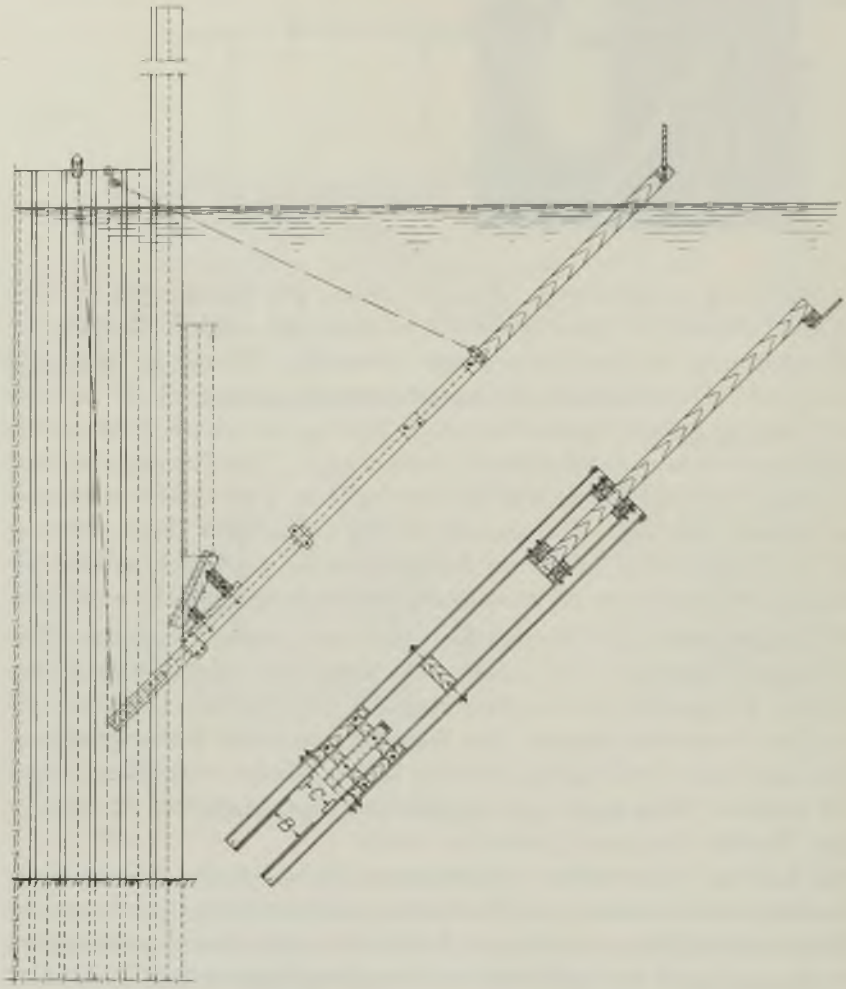
nicht mit dem Bohlensteg zusammenfällt, sondern um das Maß „*a*“ (rd. 5 cm) nach den Schlössern zu verschoben sein muß, damit sich der Rammschlag gleichmäßig auf die Bohlenwurzeln und Schlösser verteilt. Bei langen Bohlen muß außerdem in halber Höhe eine Würgevorrichtung angebracht werden, um eine Federung der Bohle und damit Verringerung der Schlagwirkung zu vermeiden. Hierbei ist zwischen Bohle und Mäkler ein einfaches Holz mit entsprechenden Einkerbungen für Schloß und Keule dicht unter dem Würgeseil an der Ramme aufzuhängen (s. Abbildung auf S. 105). Zweckmäßig wählt man zum Würgen eine Stahltrosse mit zwei Rohrkrümmern oder ein entsprechend starkes Hanfseil (s. S. 109).

Würgevorrichtung mit Drahtseil und Rohrkrümmern

c) Führung bei größeren Wassertiefen. Bei Rammungen auf dem Wasser werden die Führungszangen so dicht wie möglich oberhalb des Wasserspiegels mit dem Rammgerüst verbunden. Wichtig ist dabei, daß das in der Zahlentafel auf S. 107 angegebene lichte Zangenmaß „*B*" um etwa 40 bis 80 mm größer gehalten wird, damit jeweilig die vorletzte Bohle zwecks Neigungsverbesserung überspannt werden kann. Das Rammgerüst muß in jedem Fall stark genug sein, um die Zug- bzw. Druckkräfte aufnehmen zu können, die beim Überspannen der zu rammenden Bohle auftreten (s. a. S. 119). Wird mit einer Schwimmramme gearbeitet, so sind besondere Pfahlböcke für die Anbringung der Führungszangen zu empfehlen.

Für außergewöhnliche Bauvorhaben wird man meistens besondere Vorrichtungen schaffen; z. B. lassen sich Molen und Wellenbrecher ohne jegliche Hilfsgerüste frei ins Meer rammen. Die Führung übernimmt ein auf den Versteifungsträgern oder Zugankern liegender Führungsrahmen, der nach jeder Vorverlegung zwischen beiden Wänden verkeilt und dabei auf einfache Weise leicht neu eingefluchtet wird. Auf diese Art wurden gute Fluchten bei guten Leistungen erzielt.

Bei größeren Wassertiefen und steinigem Boden ist das fluchtgerechte Ansetzen auf der Sohle unter Umständen stark erschwert, sodaß seitliche Neigungen die Folge sein können. Leider kann man diese unerwünschten Stellungen immer erst nach einer weiteren Anzahl gerammter Bohlen über dem Wasser feststellen. Bei Verwendung des in der umseitigen Abbildung wiedergegebenen Fluchtanzeige- und Ausgleichsgerätes kann die eingefädelte Bohle im Augenblick der ersten Eindringung in den Boden in der richtigen Lage gehalten werden. Außerdem ist die Fluchtrichtung der Wand auf der Sohle an dem oberen Teil der Schrägzange bei nicht allzu unruhigem Wasser feststellbar.

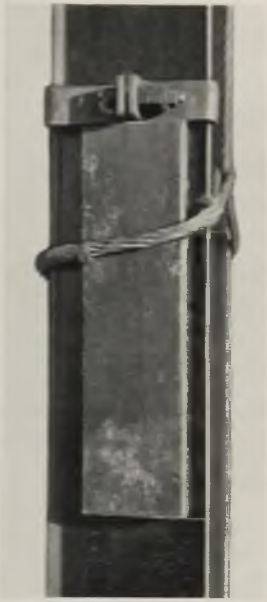


Fluchtanzeige- und Ausgleichsgerät für die Rammung bei großen Wassertiefen

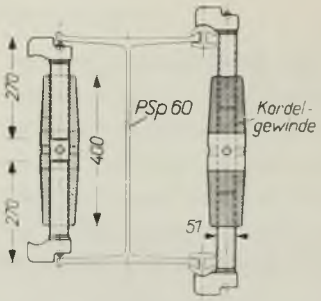
Die Maße für *B* und *C* sind der Zahlentafel 17, S. 107, zu entnehmen

Ansetzen und Einfädeln

Das Hochziehen der Bohlen zum Ansetzen unter die Ramme wird nicht immer mittels Zughaken im besonders vorgesehenen Loch in Stegmitte des Bohlenkopfes möglich sein. Ragen die Bohlen beim Einfädeln über die Nutzhöhe der Ramme oder des Schwenkkranes hinaus, oder sollten die Löcher für die spätere Bearbeitung unerwünscht sein, so kann das Aufziehen auch mittels Drahtseilschlaufe erfolgen. Zur Schonung des Seiles und Vermeidung des Rutschens sind hierbei die Bohlenrücken mit Holz auszufüttern. Eine weitere Sicherung gegen Rutschgefahr bietet die Verwendung der in nebenstehender Abbildung gezeigten Klammer.



Beim Ansetzen der ersten Bohle ist der genau lotrechten Stellung nach beiden Seiten ganz besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Von der Stellung dieser ersten Bohle hängt meist die ganze folgende Rammung ab. Zum Einfädeln der folgenden Bohlen setzt man die stets etwas vorstehenden Schlösser der hochgezogenen Bohle zunächst auf die freien Keulen der letztgerammten Bohle. Kommt es nicht sofort zur Führung, so bewirken einige Hammerschläge gegen das noch aufsitzende Schloß oder gegen die Flanschecken der gerammten Bohle ein leichtes Hineingleiten infolge der Eigenlast. Die stets vorhandenen geringen Längenunterschiede der Schlösser erleichtern das Einfädeln außerdem insofern, als erst das längere Schloß zum Eingreifen kommt und dann das andere. Gleitet die Bohle nach dem beiderseitigen Einfädeln nicht, so hängt sie meistens nach einer Seite schräg. Bewegung am oberen Teile, auch wenn die Bohle senkrecht zu hängen scheint, führt dann immer zum Erfolg. Auch ein schwaches Einfetten der oberen Keulenstellen begünstigt das Gleiten.



Schraubzwinge zum Ausrichten der Peiner Kastenspundbohlen

Falls bei der Beförderung oder beim Abladen der Bohlen kleinere Verbiegungen der Flansche vorgekommen sein sollten, so lassen sich diese mit Hilfe der in nebenstehender Skizze dargestellten Schraubzwinge beheben. Das Ausrichten erfolgt durch kräftige Hammerschläge neben der eingespannten Zwinge. Die Schraubzwingen werden von der Ilseder Hütte auf Anforderung gern leihweise zur Verfügung gestellt.

Rammung

Die Peiner Kastenspundbohlen werden fast durchweg nur einzeln geschlagen; dabei umfaßt das Rammelement eine Bohle mit zwei Schlössern. Das Rammen von Einzelbohlen ist deswegen vorteilhaft, weil die I-förmige Bohle in den Boden einschneidet, während beim Rammen von Doppelbohlen infolge der Pfropfenbildung in der Zelle der Boden entsprechend dem Zellenquerschnitt verdrängt werden muß. Auch läßt das große Gewicht der Bohlen bei den stärkeren Profilen nur das Rammen von Einzelbohlen zu. Bei Pfählen aus zwei Bohlen, die mit zwei Schlössern verbunden sind, werden zweckmäßig ebenfalls beide Bohlen einzeln gerammt.

Die erste Bohle wird bei jeder Rammung in der Regel ohne Schlösser geschlagen, sodaß die anschließenden Bohlen stets mit den freien Keulen voraus gerammt werden. Da die Flansche in Rammrichtung genügend Steifigkeit haben und die Bohle mit den beiden Schlössern gut geführt ist, besteht keine Neigung zur Verdrehung. Die auf dem Werk aufgezogenen Schlösser sind mit den Bohlen durch eine kurze Schweißnaht verbunden, damit sie bei der Beförderung zur Baustelle, beim Hochziehen oder Einfädeln nicht abrutschen können. Das Mitziehen der Schlösser erfolgt beim Rammen durch die Rammhauben-Überdeckung, nicht durch die Schweißnaht. Die vorhandene kurze Heftnaht soll sogar nach etlichen Rammschlägen reißen, um die erforderliche Beweglichkeit des Schlosses wieder freizugeben.

Die Flansche der Bohlen sind um 5 mm verschieden breit; die breitere Seite hat als Erkennungszeichen auf dem Flanschrücken einen Wulst-

Schwimmramme beim Schlagen eines Dalbens

streifen (s. Abb. auf S. 59). Beim Rammen hat auf einer Seite jeweils nach einem breiten Flansch (mit Wulst) ein schmaler (ohne Wulst) zu folgen, sofern nicht bei Fluchtänderungen oder bei Bogenrammungen eine andere Anordnung erforderlich wird (s. S. 119). Die Erfahrung hat gezeigt, daß es zweckmäßig ist, die Peiner Kastenbohlen sofort auf die volle Tiefe herunter zu bringen. Ein späteres Nachschlagen ist wegen der Verspannungen in der Wand nur unter großen Schwierigkeiten möglich.

Die erste Bohle ist mit der größten Sorgfalt, d. h. mit kleinen Schlägen und unter häufigem Loten auf Tiefe zu bringen, da die senkrechte Stellung der ersten Bohle, wie schon im vorhergehenden Abschnitt ausgeführt, für die richtige Führung der weiteren Bohlen von entscheidender Bedeutung ist. Je nach der Bodenart und Rammtiefe läßt man die erste Bohle zunächst etwas über der planmäßigen Höhe stehen, damit diese bei einem etwaigen Mitziehen nicht unterschritten wird (s. a. S. 120). Im Verlauf der weiteren Rammung ist die Stellung der Bohlen sowohl in der Rammrichtung als auch senkrecht dazu genau zu beobachten. Bei der geringsten Abweichung von der Lotrechten oder bei sonstigen Schwierigkeiten sind sofort die in den nachstehenden Abschnitten beschriebenen Maßnahmen zu ergreifen.

Das Beurteilen der Bohlenstellung macht im allgemeinen Schwierigkeiten, wenn der Bohlenkopf nach der Rammung nur wenig über den Boden oder den Wasserspiegel herausragt. In solchen Fällen bietet die Peiner Kastenbohle den besonderen Vorteil, daß man nach dem Aushub des Bodens aus einer Zelle mit Hilfe eines einfachen Meßschlittens die genaue Stellung der Bohle nachmessen kann. Das Meßverfahren ist auf S. 127 näher beschrieben. Dort ist noch eine weitere Möglichkeit angegeben, die das Messen der Bohlenstellung auch ohne Zellenentleerung gestattet. Es empfiehlt sich, besonders bei großen Rammtiefen, diese Messungen jeweils nach einer bestimmten Wandstrecke (je nach den Verhältnissen 20 bis 50 m), durchzuführen. Man hat damit die Möglichkeit, sich von der richtigen Stellung der Bohlen zu überzeugen bzw. bei geringfügigen Abweichungen das weitere Rammverfahren genau festzulegen.

Auf der folgenden Seite sind für einige mit gutem Erfolg ausgeführte Rammungen verschiedene Angaben zusammengestellt, die zum Vergleich bei ähnlichen Rammvorhaben herangezogen werden können.

a) Senkrechte Stellung in Wandrichtung. Fußvoreilung. Bekanntlich wird beim Rammen eines Pfahles oder einer Spundbohle der Boden durch die Reibung mehr oder weniger mit nach unten gezogen. Naturgemäß tritt diese Erscheinung beim Rammen von geschlossenen Räumen (z. B. Rohren oder ähnlichen Profilen) in verstärktem Maße auf. Auch bei den Peiner Kastenbohlen ist damit zu rechnen, und zwar in der Zelle, die zwischen gerammter und unter der Ramme befindlicher Bohle entsteht. Bei stark verdichtbaren Böden kann durch diese Zellen-

Zusammenstellung von Rammergebnissen

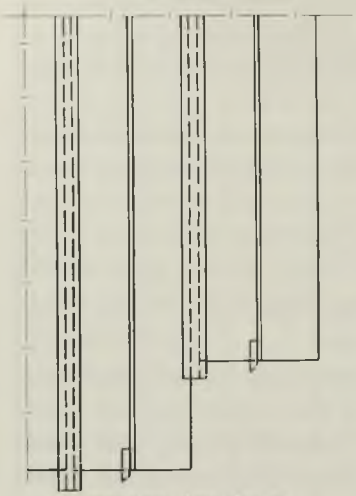
Profil PSp	Bohlenlänge m	Bohlengewicht t	Rammtiefe m	Hauptsächliche Bodenart	Rammgerät[1]	Bärgewicht t	Gesamt-Schlagzahl	Reine Rammzeit[2] min	Größter Hub m	Letzte Hitze cm
30 L	16,7	1,8	16,5	9,5 m Schlamm, Sand	FB	2,8	600	—	2,0	11,0
30 L	21,5	2,3	7,7	Sand	S	3,9	—	6	—	4,0
30 S	9,5	1,3	9,0	Klai, feiner Sand	S	3,2	—	7	—	1,8
35 L	12,9	1,9	10,6	Sand	FB	2,0	800	—	2,5	7,5
35 L	15,0	2,2	10,0	Sand mit Kies	S	3,0	—	30	—	0,8
35 L	26,0	3,8	18,7	4,8 m Schlamm, Ton und Sand	DB	4,0	650	—	1,0	18,0
35 L	28,0	4,1	20,6	wie vor	DB	4,0	780	—	1,0	14,0
40 L	20,4	3,2	20,0	16,8 m Schlamm, Sand	FB	2,5	870	—	0,7	5,0
40 S	22,0	3,9	16,0	Feinsand	S	3,9	—	40	—	1,3
50 L	25,0	4,4	23,5	toniger Sand	DB	4,0	1300	—	1,0	9,0
60 L	24,5	4,6	21,0	9 m Klai, Sand	S	3,9	—	44	—	1,1
60 L	26,5	5,0	21,0	wie vor	DB	2,5	2200	—	1,1	4,0

[1]) FB = Freifallbär; S = Schnellschlaghammer; DB = Dampfbär.
[2]) Summe der Minuten, in denen der Bär wirklich geschlagen hat.

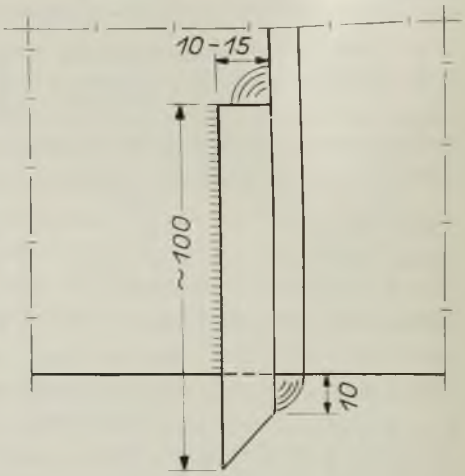
pressung der Bohlenfuß in Rammrichtung nach vorn gedrückt werden. Im allgemeinen ist diese Fußvoreilung gering und tritt bei kürzeren Wänden gar nicht in Erscheinung. Beim Schlagen von längeren Wänden und bei großen Rammtiefen, besonders jedoch vor Eck- und Abzweigbohlen, sind aber unter Umständen zur Erhaltung der senkrechten Stellung rechtzeitig die nachstehend beschriebenen Maßnahmen zu ergreifen.

Es muß zunächst vor allem darauf geachtet werden, daß die Schlösser mindestens die gleiche Länge haben wie die zu rammende Bohle. Ein Fortlassen der Schlösser am unteren Ende der Bohle (z. B. bei einer gestaffelten Wand) würde zur Folge haben, daß die Bohle unten infolge der Zellenpressung während des Rammens in Rammrichtung ausweicht, wodurch im ungünstigen Falle ein Ausspringen der Schlösser eintreten kann. Ist dagegen

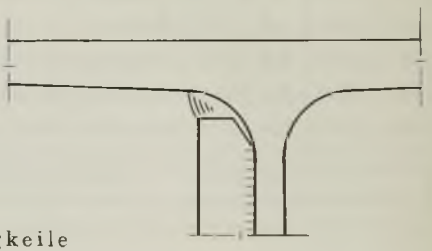
Erdräumer zur Verhinderung der Fußvoreilung



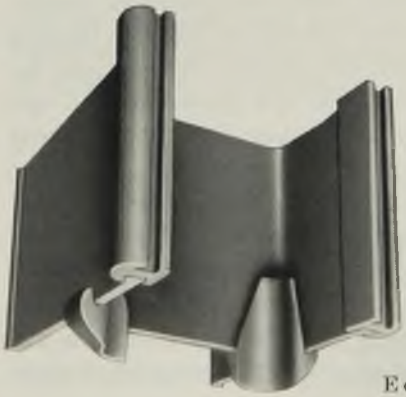
Allgemeine Anordnung

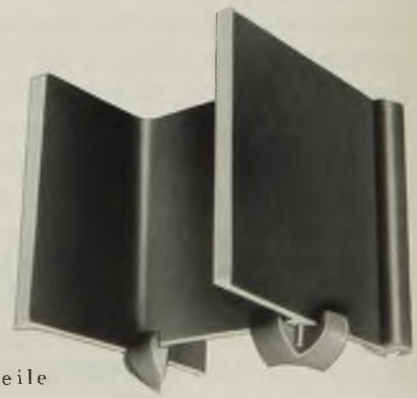


Einzelheiten



Stegkeile





Eckkeile

die Bohle mit Erdräumern (s. S. 116) versehen, so besteht beim Fortlassen der Schlösser infolge des Gegendruckes die Gefahr, daß der Bohlenfuß unter die vorhergehende Bohle gedrückt wird. Um diese Schwierigkeiten auszuschließen, werden alle Bohlen grundsätzlich mit etwa 5 bis 10 cm längeren Schlössern geliefert.

Die Fußvoreilungen werden vermieden durch Anbringen von Erdräumern, die entweder als Stegkeile angeschweißt oder als Eckkeile auf den Fuß aufgekeilt werden können (s. nebenstehende Abbildung). Die Stegkeile müssen so breit gewählt werden, daß sie seitlich an den Flanschen verschweißt werden können, da andernfalls der Steg einreißen kann. Die Spitze wird erfahrungsgemäß etwa 10 mm länger als die Stegkeilstärke gewählt. Die Stärke richtet sich nach der Bodenart und beträgt im allgemeinen 10—15 mm, in besonderen Fällen auch bis 25 mm. Der Eckkeil aus Stahlguß wird mit einem Rundstahlstück von unten an der Bohle festgekeilt, damit er während des Hochziehens und Einfädelns nicht abfällt. (Diese Eckkeile liefert die Ilseder Hütte zu mäßigen Preisen.)

Durch die Steg- oder Eckkeile wird in der Zelle die Bildung eines festen Erdpfropfens, der die Fußvoreilung herbeiführt, vermindert, und zudem wirkt noch der Erdwiderstand gegen die schrägen Keilflächen der Voreilung entgegen. Fernerhin wird ein Teil der Schloßreibung und der inneren Bodenreibung aufgehoben, während sich andererseits die vergrößerte Querschnittsfläche bei der Rammung nicht bemerkbar macht. Sogar lassen sich bei fast allen Bodenarten die mit Erdräumern versehenen Bohlen in erheblich kürzerer Zeit schlagen.

Um bei kurzen Bohlen eine geringe Fußvoreilung in einfacher Weise zu bekämpfen, genügt es, die Schloßspielräume am Bohlenkopf mit kleinen Stahlkeilen auszufüllen. Die erforderliche Lücke im Schloß kann man ohne Schwierigkeit durch eine zwischen den Stegen sogleich nach der Rammung der Bohle angesetzte Fußwinde erzielen. Für diese Keile reichen schon entsprechend starke Nägel aus, die zweckmäßig nach der Einführung hakenförmig umgeschlagen werden, damit sie später bei einem etwa erforderlichen Ausrichten der Wand wieder herausgenommen werden können.

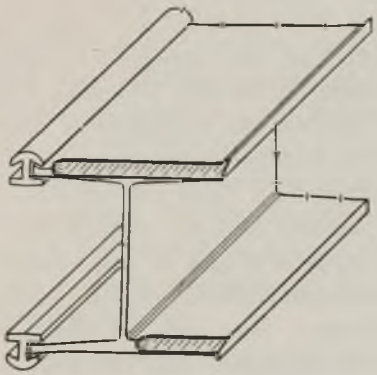
Wenn die Fußvoreilung zu groß geworden ist, weil man die vorbeschriebenen Abhilfemaßnahmen nicht oder zu spät angewendet hat, dann kann nur durch Einschalten einer Keilbohle Abhilfe geschaffen werden. (Näheres hierüber siehe Abschnitt II, S. 32 und 33.)

Kopfvoreilung. Das Voreilen des Bohlenkopfes kommt bei der Peiner Bohlenwand im allgemeinen selten vor. Es ist nur dann damit zu rechnen, wenn der Versuch gemacht wird, die Rückkehr stark aufgetretener Seitenneigungen in die Senkrechte auf zu wenig Bohlen zu verteilen. (Siehe unten, Absatz „Seitliche Neigung".) Sofort nach dem Erkennen der oberen Voreilung müssen die Gegenmaßnahmen einsetzen, und zwar läßt man den Rammschlag in Richtung der geschlagenen Wand wirken, wenn möglich, mit entsprechender Schrägstellung des Mäklers oder durch Reitstellung (vor Kopf schlagen), wobei der Mäkler nach der geschlagenen Wand zeigen muß. Gleichzeitig wendet man zweckmäßig die in der Skizze auf S. 106 dargestellten Zug- und Druckmaßnahmen an. Etwa ausgefüllte Schloßlücken bei den letzten Bohlen müssen in diesem Falle wieder freigemacht werden.

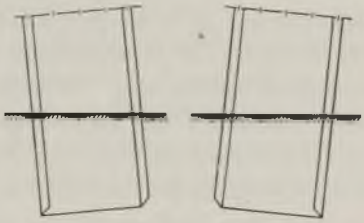
Bei Kopfvoreilungen dürfen Fußtreibmittel in Rammrichtung, wie ein- oder beiderseitige Schloßverkürzungen, Stegverformungen, Ein- oder Schrägschnitte am Fuße, in keinem Falle vorgenommen werden, da diese zu Schloßöffnungen führen; dabei kann es eintreten, daß sich entweder nur eine Schloßseite öffnet oder sich beide zugleich bzw. nacheinander öffnen. Die damit verbundenen Fußverdrehungen erzeugen dann außer einer Fußvoreilung auch eine Seitenneigung bei den nachfolgenden Bohlen. Falls die vorbeschriebenen Mittel nicht den gewünschten Erfolg haben sollten, dann empfiehlt es sich, auch in diesem Falle eine Keilbohle einzuschalten (s. S. 32 und 33). Bevor man die Keilbohle anfertigt, ist es ratsam, die Zelle der zuletzt geschlagenen Bohle so tief wie möglich abzuloten, da bei im oberen Teil der Bohlen festgestellten Kopfvoreilungen mitunter trotzdem im unteren Teil eine Fußvoreilung vorhanden sein kann (s. S. 127).

b) Seitliche Neigung. Bei guter Führung, lotrechtem Mäkler und mittigem Schlag auf die Rammhaube ist ein normaler Verlauf der Rammung immer gewährleistet. Wenn aber der Wandunterteil allmählich oder durch einseitige Widerstände im Boden (beispielsweise durch Böschungen, Findlinge od. dgl.) in stärkerem Maße eine andere Flucht annehmen will, als es die obere Führungszange vorschreibt, können seitliche Neigungen entstehen. Durch Abloten jeder einzelnen Bohle, entweder nach der Rammung oder wenn sie noch mindestens 2 m über der Rammebene steht, ist die Entstehung einer Neigung festzustellen. Durch sofortige Anwendung der nach-

stehend beschriebenen Maßnahmen können die anschließenden Bohlen wieder in die Senkrechte zurückgebracht werden.
Liegt die Oberkante Wand entsprechend hoch über der Rammebene, so wird während des Rammens jeweilig die Nachbarbohle nach der gewünschten Stellung hin mittels Windenzug oder Steife überspannt. Bei zu geringem Bohlenüberstand über der Rammebene kann man auch die zu rammende Bohle nach genügend großer Eindringung, einige Meter über der Rammebene angreifend, in gleicher Weise auf Anzug bringen. Ist das Gerüst der Ramme (Mäkler) stark genug, so kann man auch mit diesem die Bohlenstellung entsprechend beeinflussen. Andernfalls läßt sich die Flucht-



Anschrägen der Bohlenenden bei Seitenneigung



Richtung der Anschrägung entgegengesetzt der Bohlenneigung

abweichung des Wandunterteils wieder in die alte Richtung zurückbringen, wenn man die Bohlenfüße durch die in den vorstehenden Skizzen dargestellte Bearbeitung zur Drehung zwingt. Durch Nebeneinanderstellen von einigen Schmal- bzw. Breitseiten kann man eine stärkere Neigungsverbesserung erzielen, wenn die Fußenden dieser Bohlen gleichzeitig für die erforderliche Drehung angeschrägt werden. Durch die Fußzwangsmittel werden die Führungszangen stark beansprucht; sie sind daher in diesen Fällen besonders ausreichend zu verstärken bzw. abzusteifen.
Die Aufrichtung geneigter Bohlen soll stets möglichst gleichmäßig auf eine große Anzahl von Bohlen verteilt werden.
Sind durch besondere Umstände größere seitliche Neigungen aufgetreten, dann entstehen bis zur Wiedererlangung der Senkrechten auch größere

Reibungen in den Schlössern, da jede zur Aufrichtung beitragende Bohle in sich eine Verdrehung erfahren muß. Bei plötzlich auftretenden starken Seitenneigungen, hervorgerufen durch Hindernisse oder zu starke Zwangsmittel, kann es vorkommen, daß ein Schloß nicht mehr mitzieht. In diesem Falle muß das Schloß durch eine etwa 1 m lange Schweißnaht an der Bohle befestigt werden. Auf keinen Fall darf das stehenbleibende Schloß oben abgeschnitten werden, da dann die Bohle beim Weiterrammen unten einseitig keine Schloßführung mehr hat und Verdrehungen des Bohlenfußes die Folge sein werden. Es kann vor dieser Maßnahme nicht genug gewarnt werden, da ihre Wirkung nie vorauszusehen ist.

c) Mitziehen. Infolge der geringen Querschnittsverdrängung läßt sich eine einzeln stehende Peiner Bohle, z. B. eine Anfangsbohle, stets bedeutend leichter rammen als die Anschlußbohlen, bei denen zu der Schloßreibung noch eine gewisse Bodenverdichtung in der sich bildenden Zelle hinzukommt. Wie schon erwähnt, wird zuweilen die Anfangsbohle durch das Rammen der Anschlußbohle infolge der Bodenverspannung mehr oder weniger mitgenommen. Zweckmäßig schlägt man daher die erste Bohle nicht gleich auf die planmäßige Tiefe, sondern läßt sie vorsichtshalber etwa 0,5 m höher stehen. Das Mitziehen weiterer Bohlen ist eine seltenere Erscheinung, da der Spielraum in den Schlössern genügend groß ist, sodaß unerwünschte Reibungskräfte nicht auftreten. Nur dort, wo durch zu starke äußere Maßnahmen die Bohle in eine bestimmte Lage gezwängt ist, wird zuweilen eine Bohle mitziehen. Bei Anwendung der Erdräumer in Form von Steg- oder Eckkeilen wird die Verspannung zwischen den Stegen der Bohlen so weit aufgehoben, daß dann auch in besonders zum Mitziehen neigenden Böden kein Mitnehmen mehr erfolgt.

d) Spülung. Bei fest gelagertem Sandboden und bei langen Bohlen wird die Rammung durch Spülung wesentlich erleichtert. Die erforderliche Rammenergie ist naturgemäß bei Zuhilfenahme von Spülung bedeutend geringer; so benötigte beispielsweise eine 26,5 m lange Bohle PSp 50 S, die 15,4 m tief in dicht gelagerten Sandboden gerammt wurde, bei Spülung nur 530 Schlag gegenüber 1200 Schlag ohne Spülung. Das Spülverfahren ist also sehr wirtschaftlich und seine Anwendung daher jederzeit zu empfehlen, vorausgesetzt, daß der Boden und die sonstigen Verhältnisse hierzu geeignet sind. Die Ausführung der Spülung ist bei den Peiner Kastenspundbohlen besonders einfach; es wird nur mit einer Lanze in der sich bildenden Spund-

wandzelle gespült. Die Spüllanze wird seitlich durch die Flansche zwangsläufig geführt und braucht nur der Bohleneindringung entsprechend nachgeführt zu werden. Man hat es dabei in der Hand, mit der Spüldüse jederzeit soweit vom Bohlenende zurückzubleiben, daß ein Auflockern des äußeren Erdreiches nicht eintritt und somit die Tragfähigkeit nicht beeinträchtigt wird. Die Auflockerung nur in der Zelle genügt fast immer, um eine befriedigende Eindringung je Rammschlag zu erreichen. Der Spülkopf hat bei langen Bohlen und festeren Bodenarten zweckmäßig außer einer unteren Öffnung noch einige seitliche Öffnungen, damit eine ständige Lockerung des Bodens in der Zelle gewährleistet ist. Je nach der Tiefe spült man mit 6 bis 12 at Druck.

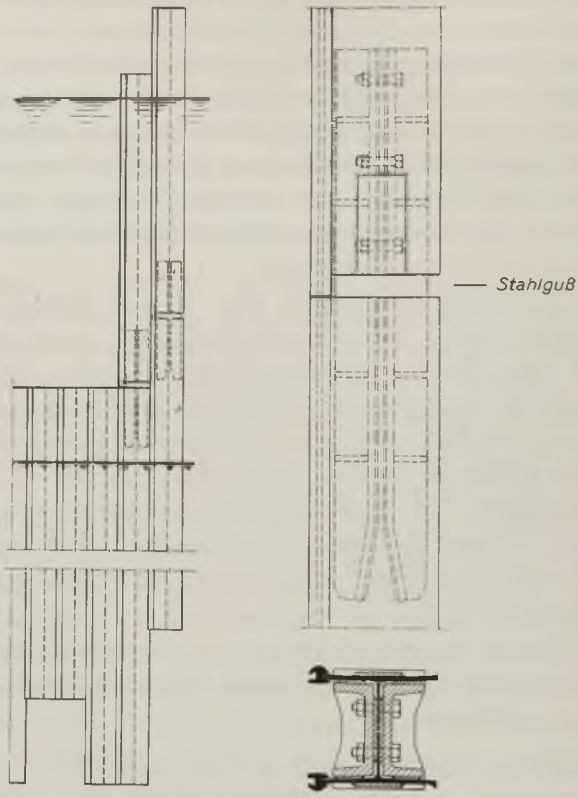
Wird aus besonderen Gründen nicht bis zum Erreichen der endgültigen Rammtiefe gespült, sondern vorher aufgehört, sodaß die Bohlen noch ein Stück ohne Spülung heruntergeschlagen werden müssen, dann ist es dringend zu empfehlen, die Bohlen mit Erdräumern nach S. 116 zu versehen, um eine Fußvoreilung zu vermeiden. Während des Spülens kommen nämlich infolge des äußeren Erddruckes entgegen der Rammrichtung in dem gespülten Teil die Keulen zum Anliegen an den Schloßstegen; im unteren Teil ohne Spülung wirkt sich dagegen die Zellenpressung voll aus, sodaß somit die Schlösser und Keulen entsprechend ihrem Spielraum auf Spannung kommen.

Beim Rammen im offenen Wasser vom Gerüst aus hat das Spülen in der Spundwandzelle den großen Vorteil, daß ein Freispülen der Gerüstpfähle nicht zu befürchten ist.

e) Jungfern und Aufstocken. Bei Bauwerken, bei denen zur Stahlersparnis oder aus anderen Gründen die Spundwandoberkante unter dem Wasserspiegel liegen soll, können die Bohlen mit Jungfern geschlagen werden. Als Jungfer nimmt man zweckmäßig das Profil der zu rammenden Spundbohlen, um durch die dann mögliche Schloßführung den Rammverlauf zu vereinfachen. Den hierbei einzuschlagenden Arbeitsvorgang und die Jungfer-Ausbildung zeigt die Abbildung auf S. 122. (Vgl. a. S. 205.)

In den Fällen, in denen besonders lange Bohlen nicht in voller Länge angesetzt werden können oder Bohlen streckenweise nicht genügend in festen Boden kommen, hat sich das Aufstocken stets bewährt. Während die aufeinanderstoßenden Bohlenquerschnitte je nach der erforderlichen Beanspruchung mit oder ohne Laschenüberdeckung stumpf verschweißt werden,

Jungfern von Peiner Kastenspundbohlen



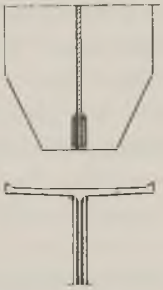
Arbeitsvorgang Ausführung einer Jungfer

bleiben die Schloßstöße zweckmäßig unverschweißt, da hier die Schweißverbindungen den Rammschlägen nur kurze Zeit standhalten würden.

Die Nachrammung der zu jungfernden oder aufgestockten Bohlen ist sofort vorzunehmen, also bevor weitere Bohlen davorgeschlagen werden. Es könnte sonst der Fall eintreten, daß beim späteren Nachschlagen das Eindringen infolge von Verspannungen nur noch sehr schwer möglich ist. Selbstverständlich müssen mit der nachzurammenden Bohle stets beide Schlösser in voller Länge bis Unterkante der Nachbarbohle mitgerammt werden.

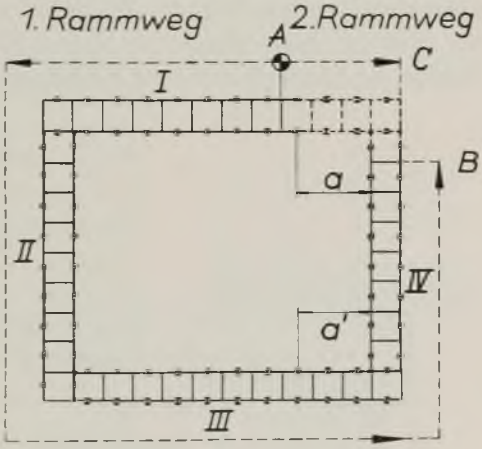
Rammen von Pfählen

Bei der Rammung von Pfählen aus einzelnen Peiner Kastenbohlen ist es bei schwerem oder mit Hindernissen durchsetztem Boden zweckmäßig, den Bohlenfuß entsprechend der nebenstehenden Skizze zu bearbeiten, d. h. die Flanschecken abzuschrägen und den Steg durch eingeschweißte Laschen zu verstärken. Diese Laschen sind gegen die Bohlenunterkante um 10 mm zu versetzen, damit die Schweißraupe angebracht werden kann. Zu beachten ist ferner, daß die Laschen seitlich an den Flanschen angeschweißt werden müssen.



Rammen von geschlossenen Kästen

Bei der Durchführung einer Rammung nach einem geschlossenen Rammplan, wie er z. B. bei einer Baugrubenumspundung, einem schweren Haltedalben oder einem Brückenpfeiler vorliegt, ist es erforderlich, daß die letzte Bohle sicher zum Schluß kommt. Die Rammung wird in diesem Falle, wie in dem nebenstehenden Beispiel dargestellt, in folgender Weise durchgeführt:



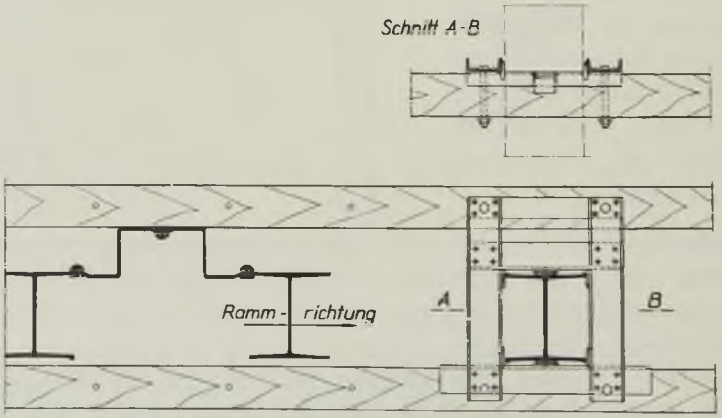
1. Rammweg, $A-B$. Bei A wird mit der Rammung begonnen; bei B muß der Abstand a, den man sich zweckmäßigerweise an der bereits gerammten Ecke bei a' aufmißt, möglichst genau eingehalten werden. Das läßt sich mit Hilfe der Zangenlage durchaus erreichen.

2. Rammweg, $A-C$. Die Rammung wird bei B unterbrochen und wieder bei A begonnen; diesmal aber in entgegengesetzter Richtung durchgeführt. Es kann nun eintreten, daß die Wand IV gegenüber der Wand II einen geringen Längenunterschied aufweist, der dadurch ausgeglichen wird, daß man von A aus die richtige Flucht nach der Ecke C zu einschlägt.

Grundsätzlich ist zu beachten, daß in diesem Falle niemals innerhalb der Wand geschlossen werden darf, sondern stets nur an einer Ecke, da hier die Schlußbohle etwaigen Neigungen der Anschlußbohlen nach außen hin folgen kann. Trotzdem ist schon frühzeitig darauf hinzuarbeiten, daß die Bohlen bei *A* und *B* in beiden Richtungen senkrecht stehen bzw. die gleichen parallelen Neigungen aufweisen. Falls es das Rammgerät zuläßt, schlägt man die vorletzte Bohle nicht gleich auf die planmäßige Tiefe, um das Einfädeln der letzten Bohle zu erleichtern. Den Abstand *a* wählt man je nach Wandlänge zu 5 bis 10 Bohlenbreiten.

Rammverfahren der zusammengesetzten Spundwand aus Peiner Kastenbohlen und einwandigen Bohlen

Die Rammung der auf S. 81 beschriebenen zusammengesetzten Spundwand wird zweckmäßig nach dem Festpunktverfahren ausgeführt. Es werden zuerst die Peiner Bohlen ohne Schlösser in den nach der Zeichnung festgelegten Abständen gerammt und dann die einwandigen Bohlen dazwischen heruntergeschlagen. Die richtige Abstandhaltung der Peiner Bohlen wird erleichtert, wenn man sich hierzu eines mit den Zangen verbolzten oder aufgeklemmten Rahmens bedient, der in der nachstehenden Skizze dargestellt ist. Bei der Verwendung von Krupp-Bohlen werden die an die Peiner Bohlen anschließenden Bohlen beiderseits mit Krupp-Schlössern versehen.

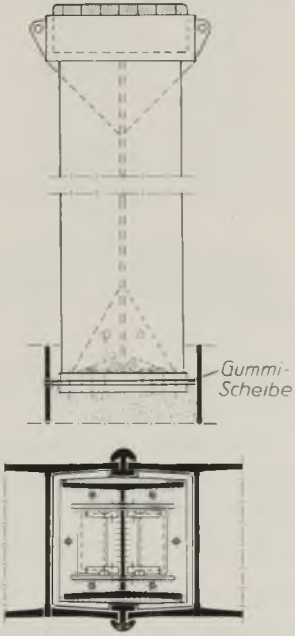


Führungszange für die Rammung der Peiner Bohlen bei der zusammengesetzten Spundwand

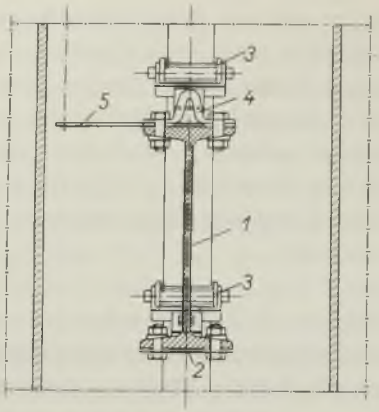
Bei schwerem Boden mit Hindernissen ist nur das Festpunktverfahren anwendbar, während man bei leichterem Boden auch beide Profile nacheinander rammen kann. Da hierbei aber die Peiner Bohlen nur mit einem Schloß gerammt werden müssen, besteht bei entsprechenden Bodenarten die Gefahr, daß sich die Bohlen beim Rammen verdrehen. Man wird daher auch in diesem Falle das Festpunktverfahren vorziehen. Auf die Bohlenfußverstärkung nach S. 123 sei auch in diesem Zusammenhang hingewiesen.

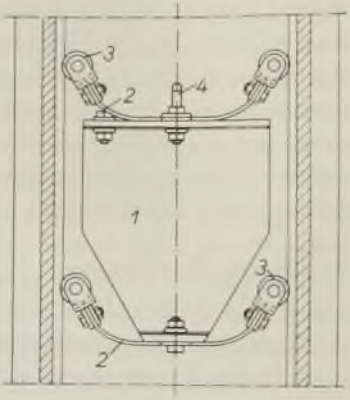
Entleerung der Profilzellen

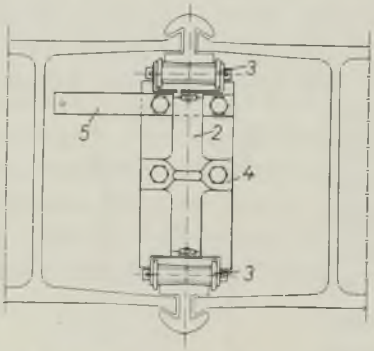
In manchen Fällen ergibt sich die Notwendigkeit, die Zellen zwischen den einzelnen Bohlen zu entleeren, um sie mit reinem Sand oder Beton auszufüllen. Je nach der Bodenart sind hierbei die verschiedensten Mittel anzuwenden. Handelt es sich um nicht bindige Böden, so erreicht man schon mit der üblichen Spülung eine gewisse Tiefenentleerung. Sollte die Spüllanze infolge zu niedrigen Wasserdruckes oder kiesigen oder schwach bindigen Untergrundes oder aus sonstigen Gründen die Zelle nicht tief genug freilegen, kann die Druckluftspülung den gewünschten Erfolg bringen, und zwar wird mit Druckwasser aufgelockert und der Boden gleichzeitig mittels Druckluft nach oben befördert. Handelt es sich dagegen um bindige Böden, so wird man bei kleinen Bauwerken mit Schlammbüchse und Tellerbohrer arbeiten. Bei umfangreicheren Bauvorhaben erzielt man eine Leistungssteigerung mit einem in die zu entleerende Zelle einzurammenden und wiederzuziehenden Gerät nach der nebenstehenden Skizze. Beim Ziehen bleibt ein großer Teil des Bodens in dem I-förmigen Querschnitt des Stempels haften. Bei Schlickboden versieht man den Stempel mit einer Fußplatte, sodaß der über die Fußplatte heraustretende Schlickboden beim Herausziehen mit nach oben genommen wird. Mit diesem letzteren Gerät sind bei weichem Schlick in einer Arbeitsschicht bis zu 25 Zellen auf 3 m Tiefe entleert worden.



Zellenentleerungsgerät für Schlickboden

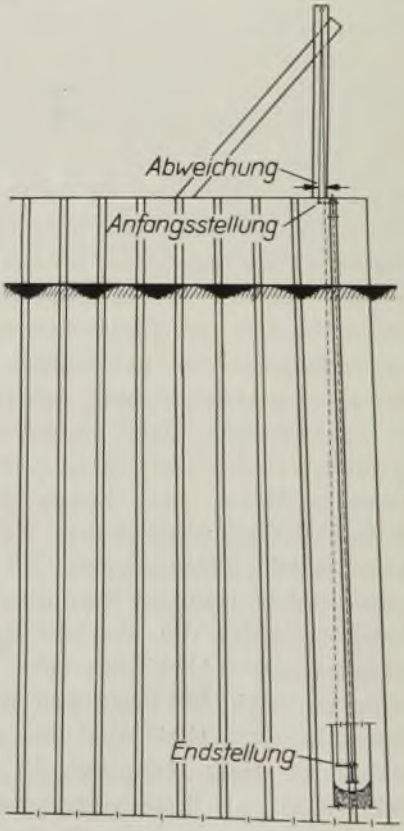






Meßschlitten zur Zellenlotung

1 = I-Träger-Abschnitt
2 = Blattfeder
3 = Rollen zur Führung am Schloßrücken
4 = Aufhänger
5 = Ausleger für das Meßseil

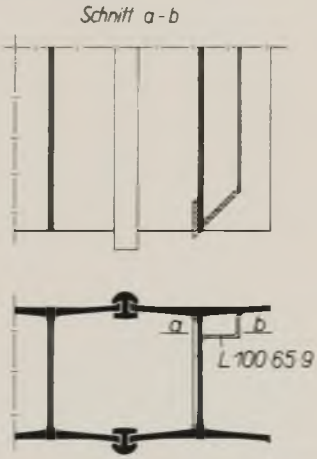


Rechts:
Grundsätzliche Anordnung der Zellenlotung

Neigungsmessung

Nach einer größeren Wandstrecke ist es, wie schon auf S. 114 erwähnt, besonders bei großen Rammtiefen unbedingt angebracht, etwa aufgetretene Neigungen der Bohlen zu ermitteln, um das weitere Rammverfahren festzulegen. Aber auch zur Anfertigung von Paßbohlen oder sonstigen Anschlüssen ist die Kenntnis des genauen Standes der Bohlen erforderlich.

Diese Feststellungen können durch eine Lotung in der vom Boden freigelegten Zelle erfolgen. Zu diesem Zwecke wird ein Meßschlitten nach der Skizze auf S. 126 in die Zelle herabgelassen und für die jeweiligen Tiefen werden die Verschiebungen des Aufhängeseiles am Bohlenkopf gemessen. Die notwendigen Hilfsmittel lassen sich auf der Baustelle auf einfachste Weise herstellen. Der Meßschlitten kann auch von der Ilseder Hütte entliehen werden.



Die Messung der Bohlenneigung läßt sich auch ohne Zellenentleerung durchführen, wenn man eine gemäß der nebenstehenden Skizze bearbeitete Meßbohle rammt. In diese Bohle ist ein Winkelstahl (mind. 100 · 65 · 9) durchlaufend eingeschweißt und unten durch ein Schrägblech abgeschlossen. Hierdurch entsteht eine vom Boden freie Kleinzelle, in die ein für diese Zwecke entwickeltes Meßgerät herabgelassen werden kann. Dieses Meßgerät zeigt in einfacher Weise in jeder gewünschten Tiefe die Bohlenneigung an. Es wird von der Ilseder Hütte für diese Zwecke gern ausgeliehen. Der Winkelstahl kann auf der Baustelle je nach Bedarf eingeschweißt werden. Es können aber auch rammfertige Meßbohlen mit eingeschweißtem Winkel vom Werk bezogen werden. Nach gemachten Erfahrungen läßt sich die mit einem Winkel versehene Meßbohle ohne besondere Schwierigkeiten rammen.

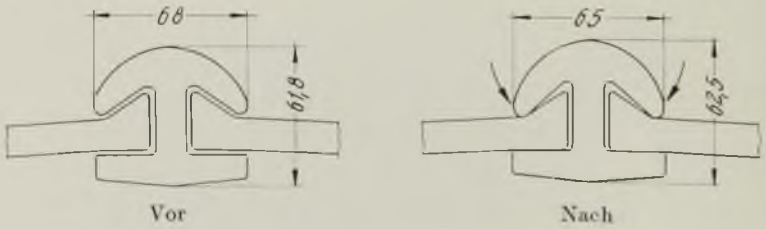
Bei genauer Beachtung aller vorstehenden Regeln und Hinweise ist in jedem Falle eine einwandfreie und wirtschaftliche Ausführung der Rammarbeit gewährleistet. Ist dann auch noch dafür Sorge getragen, daß für die Nebenarbeiten, wie das Herbeischaffen und Einfädeln der Bohlen, Vorstrecken der Führungen und Rammgleise, Aufsetzen der Rammhaube u. dgl., zweckmäßige Einrichtungen getroffen sind, so können stets gute Tagesleistungen erzielt werden.

Die Ilseder Hütte ist im übrigen gern bereit, Bauleitungen durch Fachingenieure in allen einschlägigen Fragen zu beraten, sowie zur Unterstützung der Bauführung und zur Einarbeitung der Rammannschaft einen Rammingenieur, der über langjährige praktische Erfahrungen verfügt, auf die Baustelle zu entsenden.

VIII.

Schloßdichtungsmaschine

Im allgemeinen genügt die bei den Schlössern der Stahlspundbohlen vorhandene Dichtigkeit den gestellten Anforderungen vollauf. Bei bestimmten Bauwerken muß jedoch eine erhöhte Dichtigkeit gefordert werden, die bei gewissen Bodenverhältnissen nicht immer ohne weiteres erreicht wird. So ist z. B. bei Schleusenkammerwänden aus Stahlspundbohlen meist eine vollkommene Dichtigkeit der Schlösser erforderlich, damit das Schleusenwasser nicht durch die Schloßfugen in den Untergrund oder umgekehrt das Grundwasser in die Schleuse eindringen kann. Außerdem besteht die Gefahr, daß bei sehr feinem Sand dieser in die Kammer gespült wird und die Hinterfüllung daher nachsackt. Man hat nun die verschiedensten Mittel angewandt, um eine vollkommene Dichtigkeit zu erzielen, und zwar wurden die Schlösser, wie man es von den Holzspundbohlen her kannte, kalfatert, d. h. mit Werg, Teerstrick od. dgl. ausgestemmt, auch wurden sie mit Dichtungsmasse ausgegossen oder im freien Wasser dichtende Stoffe eingeschlemmt. Man ist dann auch zu mechanischen Dichtungsverfahren übergegangen und hat die Schlösser gepreßt unter der gleichzeitigen Ausnutzung des hierbei erzielten Vorteils in statischer Beziehung. Alle diese Maßnahmen haben zum Teil den gewünschten Erfolg nicht gehabt; sie sind andererseits recht teuer und umständlich, und außerdem können die mechanischen Dichtungsverfahren nur vor dem Rammen angewandt werden, sodaß sie lediglich auf den aufgezogenen Teil der Schlösser beschränkt bleiben. Der gerammte Schloßteil ist dann nicht gedichtet und muß noch nachträglich besonders bearbeitet werden. Diese Nachteile werden vermieden, wenn man die Schlösser nach dem Rammen mit den Bohlen verschweißt. Jedoch ist dieses Verfahren sehr zeitraubend und sehr teuer. Weniger umständlich ist das Ausfüllen der Bohlenzellen mit Beton; doch bereitet die Herstellung eines einwandfrei wasserdichten Betons auch manche Schwierigkeit.



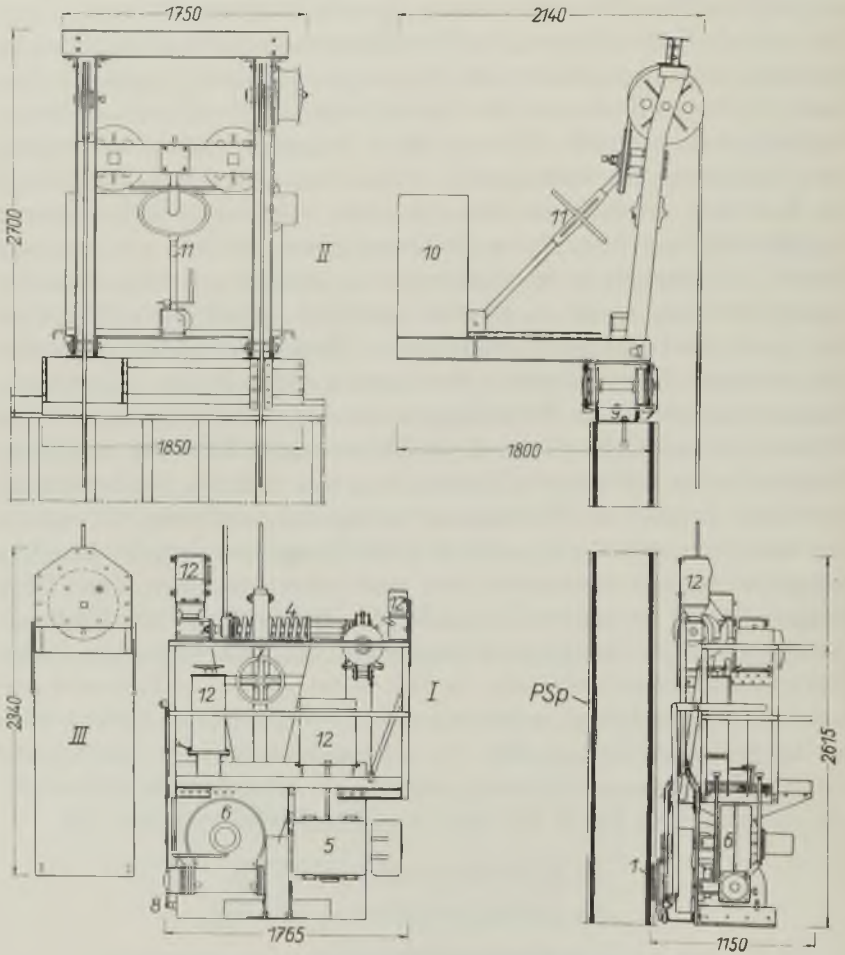
dem Bearbeiten des Schlosses mit der Schloßdichtungsmaschine

Um nun die Schlösser in einfacher und billiger Weise dichten zu können, hat die Ilseder Hütte, Peine, für die Peiner Kastenspundbohlen ein neues Verfahren entwickelt. Hierbei wird durch einen Druck auf die beiden Flanschkanten des Schloßstahles in Richtung quer zum Steg eine Verformung der Schloßflansche herbeigeführt, durch die ein sattes Anliegen der Schloßflansche an den Bohlenflanschen und damit eine erhöhte Dichtigkeit erzielt wird. Mit der bleibenden Verbiegung der Flansche wird im Steg des Schlosses eine Zugkraft hervorgerufen, die auch bei etwaigem Arbeiten der Wand infolge Wärmeänderungen für eine bleibende Dichtung sorgt. Die durch die Kaltverformung der Schloßflansche bedingten Änderungen der technologischen Eigenschaften des Werkstoffes sind durch eingehende Versuche der Ilseder Hütte und des Staatl. Materialprüfungsamtes in Berlin-Dahlem ermittelt worden. Es wurde dabei festgestellt, daß die Verformung vom technologischen Gesichtspunkt aus keinen nachteiligen Einfluß auf die Sicherheit des Bauwerks hat. Es zeigte sich, daß sich Streckgrenze und Zerreißfestigkeit durch das Zusammenpressen erhöhen, also günstiger werden. Andererseits ist die Dehnung etwas geringer geworden, was aber unbedenklich ist, da die im Bauwerk praktisch auftretenden Dehnungen nur gering sind und keine wesentlichen Wechselbeanspruchungen oder gar erhebliche Schwingungen in Erscheinung treten können. Durch das Zusammenklemmen der Schloßflansche wird die Dehnungsfähigkeit der Wand nicht beeinflußt, da durch das Klemmen eine Erhöhung der Druckfestigkeit in den Schlössern in Wandrichtung nicht eintritt. Bei Erwärmung wird daher lediglich die Dichtung nur geringfügig nachlassen, während sie bei Abkühlung erhöht wird, ohne daß ein Zusammenziehen der Wand in Längsrichtung zu befürchten ist. Zur praktischen Anwendung dieses Dichtungsverfahrens ist von der Bamag-Meguin, Butzbacher Werke für Eisenverarbeitung A. G. in Butzbach/Oberhessen, nach Entwürfen der Ilseder Hütte eine Maschine hergestellt, die sich an der gerammten Bohlwand aufwärts und abwärts bewegt, wobei zwei unter Druck befindliche Rollen seitlich an den Schlössern entlangrollen, die äußeren Schloßflansche stauchen und dadurch die gewünschte Dichtung erzielen. Die ganze Vorrichtung besteht, wie die Abbildung auf S. 132 zeigt, aus drei Teilen, und zwar aus

der Schloßdichtungsmaschine (I),
der Aufhängevorrichtung (II) und
dem Gegengewicht (III).

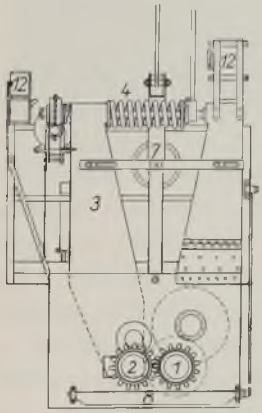
Die Einzelheiten sind aus der Zeichnung ersichtlich.

Die Hauptteile der eigentlichen Schloßdichtungsmaschine sind die beiden Druckrollen, welche die Verformung der Schloßflansche bewirken. Eine Rolle ist im Maschinenrahmen gelagert und wird angetrieben, um die Maschine an dem zu pressenden Schloß auf und ab zu bewegen, während die andere Rolle am unteren Ende eines Hebels sitzt und angedrückt wird. Der Walzdruck bis zu rd. 50 t wird am oberen Ende des Hebels durch



Vorder- und Seitenansicht der Schloßdichtungsmaschine

eine kräftige Spiralfeder erzeugt. Die Rollen sind aus einem Sonderstahl hergestellt und an den Laufflächen im Einsatz gehärtet. Die genau einstellbare Feder sorgt für gleichbleibenden Druck, sodaß Überbeanspruchungen der Druckrollen infolge von etwaigen Verdickungen an den Schlössern nicht eintreten können, da die Feder bei Drucküberschreitung nachgibt. Der Antrieb der festen Druckrolle erfolgt durch einen umsteuerbaren 17,5 PS-Elektromotor für 220/380 Volt Drehstrom. Die damit der Maschine erteilte Fahrgeschwindigkeit beträgt etwa 4 m/min. Die Aufhängung der Maschine ist leicht veränderlich angebracht, damit sowohl bei der Aufwärts- als auch bei der Abwärtsfahrt der Schwerpunkt der Maschine jeweils so verlagert werden kann, daß die Druckrollen stets das Bestreben haben, auf die Schlösser aufzulaufen und nicht abzugleiten.
Um die Maschine leicht von einem Schloß zum anderen bewegen zu können, ist noch eine Abdrückvorrichtung angebracht, die die ganze Maschine und damit die Rollen entsprechend der Höhe der Schloßrücken von der Wand abdrückt und durch ein Gestänge leicht bedient werden kann. In Ruhestellung und während der Beförderung mit der Bahn steht die Maschine auf dem Getriebekasten und den unteren Winkelstählen. Zur Beförderung auf der Baustelle werden 2 kräftige Kanthölzer auf die Rückseite aufgeschraubt, auf denen die Maschine dann wie auf den Kufen eines Schlittens bewegt werden kann.
Der Laufwagen trägt an seinem vorderen Ausleger die Schloßdichtungsmaschine und das Gegengewicht. Er läuft auf einer besonderen Schiene,



Rückansicht

Erläuterungen

I Schloßdichtungsmaschine
II Aufhängevorrichtung
III Gegengewicht

1 Feste Druckrolle
2 Bewegliche Druckrolle
3 Hebel
4 Spiralfeder mit Ratsche und Motor zum Spannen und Entlasten der Feder
5 Elektromotor 17,5 PS
6 Getriebe mit Schnecke
7 Aufhängebügel mit Stellvorrichtungen
8 Vorrichtung zum Abdrücken der Maschine von der Wand beim Umsetzen
9 Laufschiene mit Hakenschrauben
10 Gegengewichtskasten mit Sandfüllung
11 Spindel zum Verstellen des Auslegers
12 Schalter, Anlasser und Widerstand

die durch Hakenschrauben auf den Spundbohlen befestigt ist. Die an dem Ausleger wirkende Zugkraft wird durch einen Gegengewichtskasten mit Sandfüllung ausgeglichen. Um die Maschine bei sämtlichen Profilen von PSp 30 bis PSp 80 (also 30 bis 80 cm Profilhöhe) benutzen zu können, ist der Ausleger beweglich angeordnet.

Schloßdichtungsmaschine bei der Dichtung einer Peiner Kastenspundwand

Das Gesamtgewicht der Schloßdichtungsmaschine einschließlich der Bedienung beträgt rund 2000 kg; während der Fahrt wird es durch ein Gegengewicht im Gleichgewicht gehalten. Dieses Gegengewicht besteht aus einem Blechkasten, der jeweils eine entsprechende Füllung enthält.

Die Bedienung der Maschine erfolgt durch einen Maschinisten, der während des Betriebes auf der Steuerbühne steht. Zur Hilfeleistung beim Umsetzen der Anlage zum nächsten Schloß ist noch ein Hilfsarbeiter erforderlich.

Die Leistung der Maschine beträgt bei entsprechenden Bohlenlängen in 1 Stunde im Durchschnitt etwa 15 m Schloßlänge zweimal gewalzt (d. h. aufwärts und abwärts). Darin sind das Anziehen und Lösen der Druckfeder, das Umsetzen der Maschine von einem Schloß zum andern sowie anteilig das Auf- und Abbauen der Maschine enthalten. Um den Betrieb der Maschine nicht unnötigerweise zu unterbrechen, wird das Vorstrecken der Laufschienen jeweils durch einige besondere Hilfsarbeiter ausgeführt. Für das Auf- bzw. Abbauen der Maschine fallen jeweils rd. 150 Arbeitsstunden an. Wegen der Bauart der Maschine können die oberen und unteren je 0,50 m der Spundwand nicht erfaßt werden. Diese müssen nötigenfalls auf andere Weise gedichtet werden. Die Kosten für das Dichtwalzen eines Schlosses belaufen sich insgesamt auf ungefähr nur RM 1,50 je m Schloß.

Beim Vergleich mit den Kosten, die bei anderen Arbeitsweisen entstehen, ist zu beachten, daß bei 1 m Schloß jeweils 2 m zu dichten, d. h. zu verstemmen oder zu verschweißen sind.
Die Maschine wird von der Ilseder Hütte, Peine, gegen geringe Leihgebühren ausgeliehen. Ein eingearbeiteter Maschinist steht zur Verfügung. Nähere Bedingungen auf Anfrage.

Die Schloßdichtungsmaschine bei den Dichtungsarbeiten an den Kammerwänden einer Schleuse von 9,5 m Wasserspiegelunterschied

IX.

Berechnung von Spundwandbauwerken

Vorbemerkung

Über die Berechnung von Spundwandbauwerken, insbesondere von Uferwänden, sind in einer Reihe ausgezeichneter Lehrbücher eingehende Anweisungen gegeben. Da jedem Entwurfsingenieur sicherlich eines oder mehrere dieser Bücher zur Verfügung stehen, so erübrigt es sich u. E., näher auf die Grundsätze der verschiedenen Berechnungsarten einzugehen. Eine Erörterung der vielfältigen hiermit zusammenhängenden Fragen würde weit über den Rahmen dieses Handbuches hinausgehen; außerdem würden Wiederholungen nicht zu umgehen sein. Es sei daher zur Unterrichtung über die Grundlagen und Sonderfragen auf die Durchsicht der im Abschnitt C (S. 194) aufgeführten Bücher und Schriften verwiesen.

Im folgenden sollen nur kurze Hinweise für die überschlägliche Berechnung von Spundwandbauwerken gegeben werden. Der Abschnitt A enthält die gebräuchlichsten Formeln zur Bestimmung des Erddruckes, Erdwiderstandes und der Tragfähigkeit und vor allem die zugehörigen Werte in mehreren Zahlentafeln, sodaß sich für diese allgemeinen Angaben die Benutzung besonderer Hilfsbücher oder Nachschlagewerke erübrigt.

Im Abschnitt B sind dann einige kennzeichnende Ausführungsbeispiele von Bauten mit Peiner Kastenspundbohlen durchgerechnet, um dem Entwurfsingenieur Anregungen für die Berechnung ähnlicher Bauwerke zu geben. Aufgrund angenommener Belastungs- und Bodenverhältnisse werden eine Uferwand, ein Brückenpfeiler und ein Dalben berechnet.

A. Allgemeines

1. Bodenbeiwerte

Jede Berechnung von Spundwandbauwerken setzt eine gründliche und einwandfreie Aufschließung des Baugrundes voraus. Bei wichtigen Bauwerken genügt es nicht, einige Bohrungen auszuführen und die Bodenschichten nach dem Aussehen zu bestimmen, vielmehr ist auf die Entnahme einer ausreichenden Anzahl ungestörter Bodenproben und deren Untersuchung in einer anerkannten Versuchsanstalt ganz besonderer Wert zu legen, besonders, wenn es sich um bindige Böden handelt. Hierbei sind die für die erdstatischen Berechnungen maßgebenden Bodenbeiwerte, vor allem das Raumgewicht γ und der Winkel der inneren Reibung ϱ, möglichst genau zu ermitteln. Durch eine sorgfältige Untersuchung des

Baugrundes wird einerseits eine wirtschaftliche Bemessung des Bauwerkes ermöglicht und andererseits die Sicherheit erhöht. Über die Durchführung von Bodenuntersuchungen und die Beurteilung der einzelnen Bodenarten werden in dem auf S. 194 aufgeführten Schrifttum eingehende Hinweise gegeben [1]—[11][1]).

Sollen überschlägliche Berechnungen durchgeführt werden, bevor die genauen Bodenuntersuchungen abgeschlossen sind, so können die Beiwerte für die Erddruckermittlung anhand der Zahlentafel 18 (s. unten) geschätzt werden. Die dort angegebenen Werte sollen jedoch nur einen Anhalt geben und sollten bei wichtigen Bauwerken nachträglich unbedingt auf ihre Übereinstimmung mit den Untersuchungsergebnissen geprüft werden. In der Zusammenstellung sind lediglich die wichtigsten Bodenarten auf-

Erdstatische Beiwerte einiger Bodenarten (Durchschnittwerte)

Bodenart		Innerer Reibungswinkel	Raumgewicht ohne Auftrieb	Raumgewicht mit Auftrieb	Reibungsbeiwert	Haftfestigkeit (Kohäsion)
		ϱ	γ	γ	$\mu = \operatorname{tg} \varrho$	k
1. Schlamm und Torf			t/m^3	t/m^3		t/m^2
Schlamm u. Schlick	trocken	20—25°	1,6		0,36—0,47	
	naturfeucht	$7^1/_2$—20°	1,9	0,9	0.13—0,36	
Moor	naturfeucht	10—20°	1,8	0,8	0,18—0,36	
Torf	trocken	40°	0,8		0,84	
	naturfeucht	20—30°	1,1	0,5	0,36—0,58	
2. Nichtbindige Böden						
Sand und Kies	trocken	30—40°	1,8		0,58—0,84	
	naturfeucht	30—35°	2,1	1,1	0,58—0,70	0,07—0,15
3. Bindige Böden						
Lehm und Ton	trocken	30—40°	1,6		0,58—0,84	
	naturfeucht	20—30°	1,9	0,9	0,36—0,58	0,3—3,0
Mergel	trocken	35—45°	1,6		0,70—1,00	
	naturfeucht	30—40°	2,0	1,0	0,58—0,84	
4. Fels						
Geröll, Steinschüttung	trocken	45°	1,6		1,00	
	naturfeucht	45°	2,0	1,1	1,00	

Zahlentafel 18

[1]) Die Zahlen in [ ] weisen auf die entsprechenden Nummern im Schrifttumverzeichnis hin.

geführt. Meist kommen diese nicht in reiner Form vor, sondern vielfach mit Beimengungen anderer Bodenarten; die Beiwerte sind dann dem Verhältnis der Beimengungen entsprechend zwischen den angegebenen Werten liegend anzunehmen.
In der Zahlentafel 18 sind ferner die in manchen neueren Untersuchungen anstelle der Reibungswinkel ϱ angegebenen Reibungsbeiwerte μ aufgeführt. In der letzten Spalte sind dann noch einige Haftfestigkeitswerte (Kohäsionswerte) mitgeteilt, um die Größenordnung dieser Werte zu kennzeichnen. (Diese Werte entstammen [15] und [16], sowie anderen Quellen.)

2. Erddruck und Erdwiderstand

a) bei unbegrenzten Wänden.

Die Grundlagen der Erddrucklehre sind in den verschiedenen im Abschnitt C (S. 194) angegebenen Lehrbüchern und Schriften zu finden. Entsprechend der Vorbemerkung sollen hier nur kurze Angaben für überschlägliche Berechnungen gemacht werden.
Nach der klassischen Erddrucklehre erhält man unter Annahme ebener Gleitflächen bei glatter senkrechter Wand (ohne Reibung, d. h. Wandreibungswinkel $\delta = 0$) und waagerechtem Gelände für die Wandbreite $b = 1$ m den Erddruck (E_a) aus der Gleichung

$$\boxed{E_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot \mathrm{tg}^2\left(45^0 - \frac{\varrho}{2}\right) = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot \lambda_a}$$

und den Erdwiderstand (E_p) aus der Gleichung

$$\boxed{E_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot \mathrm{tg}^2\left(45^0 + \frac{\varrho}{2}\right) = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot \lambda_p}\,.$$

Aus der Zahlentafel 19, S. 141, können für die verschiedenen Bodenreibungswinkel ϱ die Werte für λ_a und λ_p entnommen werden.
In dieser Zahlentafel sind auch die Werte aufgeführt, die sich bei Berücksichtigung der Reibung zwischen Wand und Erde ergeben (Wandreibungswinkel δ). Da der Erddruck hierbei nur wenig verringert wird, kann der Einfluß der Wandreibung zugunsten der Sicherheit vernachlässigt werden. Beim Erdwiderstand ergibt sich jedoch eine wesentliche Vergrößerung, sodaß hier zweckmäßig die Wandreibung in Rechnung gestellt wird. Bei den Böden mit höherem Böschungswinkel ϱ und größerem Reibungs-

Erddruckbeiwerte

für senkrechte Wand und waagerechtes Gelände

$\lambda_a w$ für ebene Gleitflächen

$\varrho =$	10°	15°	17,5°	20°	22,5°	25°	27,5°	30°	32,5°	35°	40°	45°
$\delta = 0°$	**0,70**	**0,59**	**0,54**	**0,49**	**0,45**	**0,41**	**0,37**	**0,33**	**0,30**	**0,27**	**0,22**	**0,17**
+ 5°	0,66	0,56	0,51	0,45	0,42	0,38	0,35	0,32	0,29	0,26	0,21	0,16
+10°	0,63	0,53	0,48	0,44	0,40	0,37	0,33	0,30	0,28	0,25	0,20	0,16
+15°	—	0,50	0,46	0,42	0,38	0,35	0,32	0,29	0,26	0,24	0,19	0,15
+20°	—	—	—	0,40	0,37	0,34	0,31	0,28	0,25	0,23	0,19	0,15
+25°	—	—	—	—	—	0,32	0,30	0,27	0,25	0,22	0,18	0,14
+30°	—	—	—	—	—	—	—	0,26	0,24	0,21	0,17	0,14

$\lambda_p w$ für ebene Gleitflächen

$\varrho =$	10°	15°	17,5°	20°	22,5°	25°	27,5°	30°	32,5°	35°	40°	45°
$\delta = 0°$	**1,42**	**1,70**	**1,86**	**2,04**	**2,24**	**2,46**	**2,72**	**3,00**	**3,32**	**3,69**	**4,60**	**5,83**
− 5°	1,56	1,88	2,08	2,29	2,54	2,84	3,13	3,52	3,92	4,38	5,62	7,29
−10°	1,73	2,10	2,33	2,59	2,89	3,24	3,64	4,12	4,86	5,26	6,86	9,19
−15°	—	2,31	2,61	2,93	3,31	3,75	4,25	4,85	5,50	6,44	8,64	12,00
−20°	—	—	—	3,32	3,82	4,33	4,98	5,75	6,76	7,82	11,16	16,62
−25°	—	—	—	—	—	5,08	5,98	6,99	8,25	9,88	15,05	24,00
−30°	—	—	—	—	—	—	—	8,66	10,48	13,25	21,72	39,67

$\lambda_p w$ für gekrümmte Gleitflächen

$\varrho =$	10°	15°	17,5°	20°	22,5°	25°	27,5°	30°	32,5°	35°	40°	45°
$\delta = 0°$	**1,42**	**1,70**	**1,86**	**2,04**	**2,24**	**2,46**	**2,72**	**3,00**	**3,32**	**3,69**	**4,60**	**5,99**
− 5°	1,55	1,88	2,00	2,23	2,48	2,78	3 10	3,41	3,86	4,47	5,53	8,10
−10°	1,67	2,01	2,19	2,46	2,76	3,07	3,47	3,87	4,42	5,06	6,58	8,70
−15°	—	2,20	2,41	2,70	3,01	3,40	3,85	4,27	4,91	5,72	7,71	—
−20°	—	—	—	2,97	3,29	3,74	4,22	4,78	5,49	6,38	8,76	11,00
−25°	—	—	—	—	—	4,10	4,69	5,31	6,10	7,05	9,80	—
−30°	—	—	—	—	—	—	—	5,88	6,62	7,69	10,90	14,00

Es sind jeweils die Werte für die waagerechte Teilkraft angegeben. Die $\lambda_p w$-Werte für gekrümmte Gleitflächen sind bis $\varrho = 40°$ nach Krey für kreisförmige Gleitflächen [16] und für $\varrho = 45°$ nach Streck für gebrochene Gleitflächen [13] ermittelt. -- Begrenzung für $\lambda_p w > 1{,}5\ \lambda_{p_0}$, — Begrenzung für $\lambda_p w > 2{,}0\ \lambda_{p_0}$.

Zahlentafel 19

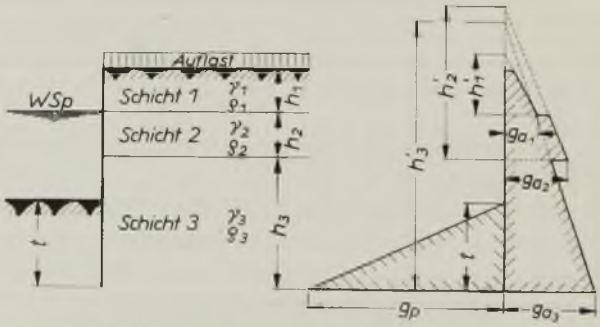
winkel δ hat sich durch Versuche ergeben, daß bei gekrümmten Gleitflächen geringere Werte auftreten. Diese Werte sind nach Krey [16] und Streck [13] in der Zahlentafel 19 ebenfalls aufgeführt.

Die Werte der Zahlentafeln sind für die gebräuchlichsten Reibungswerte ϱ angegeben und in die meist benötigte waagerechte Teilkraft des Erddruckes bzw. Erdwiderstandes umgerechnet. Durch eine gestrichelte bzw. durchlaufende Linie sind die Bereiche abgegrenzt, in denen der Erdwiderstand unter dem Einfluß der Wandreibung auf das 1,5-fache bzw. 2-fache des Wertes λ_{p_0} ($\delta = 0^0$) angewachsen ist. Bei einem inneren Reibungswinkel des Bodens von $\varrho = 30^0$ wird daher im allgemeinen mit dem Doppelten des normalen Erdwiderstandes gerechnet, wenn das Bauwerk die lotrechte Teilkraft des Erdwiderstandes aufnehmen kann.

Die Verteilung des Erddruckes bzw. Erdwiderstandes kann bei allen Überschlagsrechnungen dreieckförmig angenommen werden. Die Grundlinien der Belastungsdreiecke ergeben sich dann für die Einheit der Wandbreite $b = 1$ zu

$$\boxed{g_a = \gamma \cdot \lambda_a \cdot h \quad \text{bzw.} \quad g_p = \gamma \cdot \lambda_p \cdot h}\,.$$

Die verschiedenen Höhen h sind auf das Raumgewicht der jeweiligen Bodenschicht zu beziehen; für Auflasten ist die entsprechende Bodenlast zu ermitteln. Es ist daher stets mit den umgerechneten Höhen h' zu rechnen (s. folgende Abbildung).



$$h_1' = h_1 + \frac{\text{Auflast}}{\gamma_1}, \quad h_2' = h_2 + h_1' \cdot \frac{\gamma_1}{\gamma_2}, \quad h_3' = h_3 + h_2' \cdot \frac{\gamma_2}{\gamma_3},$$

$$g_{a_1} = \gamma_1 \cdot \lambda_{a_1} \cdot h_1', \quad g_{a_2} = \gamma_2 \cdot \lambda_{a_2} \cdot h_2', \quad g_{a_3} = \gamma_3 \cdot \lambda_{a_3} \cdot h_3', \quad g_p = \gamma_3 \cdot \lambda_{p_3} \cdot t.$$

Messungen an ausgeführten Spundwänden (insbesondere bei Baugrubenumschließungen) und neuere Forschungsergebnisse haben gezeigt, daß die dreieckförmige Verteilung des Erddruckes nicht in allen Fällen zutrifft [17], [21], [23], [40] u. [42]. Bei der Berechnung großer und wichtiger verankerter Bauwerke, vor allem mit doppelter Verankerung oder mehreren Aussteifungen, wird man diese Erkenntnisse zweckmäßig berücksichtigen. Hat man die Berechnung überschläglich zunächst nur nach der klassischen Erddrucklehre durchgeführt, dann setzt man zur Bemessung der oberen Anker oder Aussteifungen zweckmäßig den doppelten Wert des nach der Rechnung erhaltenen Auflagerdruckes (A) ein. Bei einem Vergleich der Ergebnisse nach den neueren Rechnungsverfahren mit denen nach der klassischen Erddrucklehre hat sich nämlich gezeigt, daß die Ankerkraft bei dem neuen Verfahren etwa in doppelter Größe erhalten wird, während sich bei dem Biegungsmoment und bei der Rammtiefe geringere Werte ergeben.

Die vorstehenden Formeln sind für nichtbindigen (kohäsionslosen) Boden ermittelt, werden aber auch in gleicher Weise für bindige Böden angewandt. Bei großer Haftfestigkeit (Kohäsion) ist diese jedoch entsprechend den Formeln von Fellenius [19] zu berücksichtigen. Der Kohäsionsanteil (E_k) des Erddruckes bzw. Erdwiderstandes beträgt danach

$$E_{ka} = -2 \cdot k \cdot h \cdot \sqrt{\lambda_a} \quad \text{bzw.} \quad E_{kp} = +2 \cdot k \cdot h \cdot \sqrt{\lambda_p},$$

worin k der Kohäsionswert in t/m² ist (vgl. Zahlentafel 18). Die Grundlinie der Belastungsfigur verringert (E_a) bzw. vergrößert (E_p) sich um

$$g_{ka} = -2 \cdot k \cdot \sqrt{\lambda_a} \quad \text{bzw.} \quad g_{kp} = +2 \cdot k \cdot \sqrt{\lambda_p}.$$

b) bei Einzelpfählen (Dalben oder Brückenpfeiler).

Vor einem durch Zug oder Druck am Kopf belasteten Einzelpfahl (z. B. Dalben oder Brückenpfeiler) tritt im Boden nicht nur der normale Erdwiderstand auf die Pfahlbreite b auf, sondern entsprechend dem sich seitlich verbreiternden Gleitkeil des widerstehenden Bodens ein erheblich größerer Widerstand.

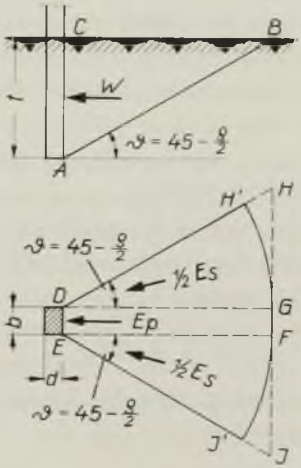
Von Brennecke-Lohmeyer [2], Bd. II S. 74, wird als Näherungsannahme angegeben, daß sich der gesamte Widerstand vor dem Pfahl zu dem normalen Erdwiderstand auf die Pfahlbreite b verhält wie der gesamte

widerstehende Erdkörper zu dem Inhalt des normalen Gleitkeiles. Es ist also

$$\frac{W}{E_p} = \frac{b \cdot F + 2 \cdot {}^1/_3 \cdot t \cdot F}{b \cdot F} = 1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{t}{b},$$

wobei W den Gesamtwiderstand bezeichnet, und F der Flächeninhalt der Dreiecke ABC, DGH und EFJ in nachstehender Skizze ist.

$$W = E_p \cdot \left(1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{t}{b}\right) = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot \lambda_p \cdot t^2 \cdot b \cdot \left(1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{t}{b}\right).$$



Zu dem gleichen Ergebnis kommt auch Krey in [16], S. 212, wenn man den dort angegebenen Beiwert m zu $^2/_3$ annimmt.

An der Erdoberfläche wird der Gleitkörper, wie auch neuere Forschungen ergeben haben (siehe u. a. [15]), nicht in der Geraden HJ, sondern in dem Kreisbogen $H'J'$ auslaufen. Wird die vorstehende Formel hierfür umgerechnet, so kann sie wie folgt angeschrieben werden:

$$\boxed{W = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot \lambda_p \cdot t^2 \cdot b \cdot \left(1 + \lambda_s \cdot \frac{t}{b}\right)},$$

worin λ_s einen Beiwert von der Größe $\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \frac{45 - {}^1/_2\,\varrho}{360} \cdot \operatorname{tg}\left(45 + \frac{\varrho}{2}\right)$ darstellt.

Dem Erdwiderstand auf der einen Seite wirkt auf der anderen der Erddruck entgegen. Statt λ_p müßte also $\lambda_p - \lambda_a$ eingeführt werden. Da aber der Einfluß des Erddruckes, umgekehrt wie beim Erdwiderstand, infolge der Seitenreibung wesentlich verringert wird, kann er vernachlässigt werden. Die Verteilung des Erdwiderstandes erfolgt dreieckförmig, die des Widerstandes aus den seitlich verbreiterten Gleitkörpern parabelförmig auf die Rammtiefe t.

Aus

$$W = E_p + E_s = {}^1/_2 \cdot \gamma \cdot \lambda_p \cdot t^2 \cdot b + {}^1/_2 \cdot \gamma \cdot \lambda_s \cdot \lambda_p \cdot t^3$$

erhält man durch Differentiation die Belastungslinien der Widerstandsfigur zu

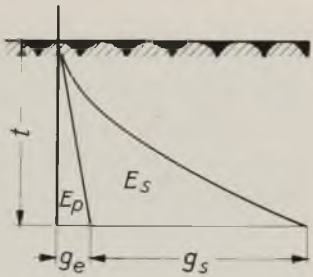
$$g_w = g_e + g_s$$

$$\boxed{g_w = \gamma \cdot \lambda_p \cdot t \cdot b + \gamma \cdot 1{,}5 \cdot \lambda_s \cdot \lambda_p \cdot t^2}\,.$$

Die Werte für λ_p, λ_s und $1{,}5 \cdot \lambda_s \cdot \lambda_p$ können für verschiedene Wandreibungswinkel ϱ der nachfolgenden Zahlentafel 20 entnommen werden.

ϱ Grad	λ_p	λ_s	$1{,}5 \cdot \lambda_s \cdot \lambda_p$	$2 \cdot \lambda_a \cdot \mathrm{tg}\,\varrho$
10	1,42	0,55	1,17	0,25
15	1,70	0,57	1,45	0,32
17,5	1,86	0,57	1,66	0,34
20	2,04	0,58	1,77	0,36
22,5	2,24	0,58	1,96	0,37
25	2,46	0,59	2,18	0,38
27,5	2,72	0,60	2,44	0,38
30	3,00	0,60	2,70	0,38
32,5	3,32	0,60	3,00	0,38
35	3,69	0,61	3,38	0,38
40	4,60	0,62	4,28	0,36
45	5,83	0,63	5,51	0,34

Zahlentafel 20



Außer dem Erdwiderstand und der Seitenreibung leistet auch noch der Reibungswiderstand an den Seitenwänden des Pfahles Widerstand, der jedoch bei geringen Pfahldicken (Dalbenbreiten) d (s. Abb. S. 144) vernachlässigt werden kann. Bei größeren Breiten errechnet sich die Reibung auf beiden Seitenflächen zu

$$R = 2 \cdot E_a \cdot \mathrm{tg}\,\varrho = \gamma \cdot \lambda_a \cdot t^2 \cdot \mathrm{tg}\,\varrho \cdot d.$$

Die Grundlinie des Belastungsdreieckes wird dann

$$g_r = 2 \cdot \gamma \cdot \lambda_a \cdot t \cdot \mathrm{tg}\,\varrho \cdot d.$$

Die Werte $2 \cdot \lambda_a \cdot \mathrm{tg}\,\varrho$ können ebenfalls der Zahlentafel 20 entnommen werden, wobei der Wandreibungswinkel $\delta = \varrho$ angenommen worden ist.

Der nach vorstehenden Formeln errechnete Gesamtwiderstand stellt den Grenzwert dar, der sich der Bewegung des Pfahles entgegensetzt. Bei der Ermittlung der erforderlichen Rammtiefe kann man zur Erlangung einer größeren Sicherheit mit den 1,5-fachen Belastungskräften rechnen.

3. Tragfähigkeitsermittlung

Die rechnerische Vorausbestimmung der Tragfähigkeit von Pfählen oder Spundwänden aus Peiner Kastenspundbohlen erfolgt für den Vorentwurf zweckmäßig nach der Formel von Dörr [24][1]). Da diese Formel auf der Erddrucklehre aufgebaut ist, ist sie nur von den Erddruckbeiwerten abhängig, während die durch die Rammung im Boden hervorgerufenen Formänderungen unberücksichtigt bleiben. Bei zahlreichen unter behördlicher Aufsicht durchgeführten Probebelastungen von Peiner Kastenspundbohlen hat sich jedoch erwiesen, daß die Formel bei richtiger Wahl der Erddruckbeiwerte genügend zuverlässige Ergebnisse liefert.

Nach den Angaben von Dörr kann die nach der Formel errechnete Tragfähigkeit der zulässigen Belastung gleichgesetzt werden und braucht nicht mehr durch eine besondere Sicherheitszahl verringert zu werden. Wie aus der Zusammenstellung der Ergebnisse von Probebelastungen bei Peiner Kastenspundbohlen (S. 151) hervorgeht, stellt die errechnete Tragfähigkeit durchweg das 0,4- bis 0,5-fache der festgestellten Höchstlast dar. Sie entspricht daher der nach DIN 1054, „Richtlinien für die zulässige Belastung des Baugrundes und der Pfahlgründungen", § 5, B, 14 zulässigen Tragfähigkeit, die $^2/_5 = 0{,}4$ der bei der Probebelastung erreichten Grenzlast beträgt. Wenn die voraussichtlichen Setzungen für das Bauwerk unschädlich sind, können auch größere Pfahllasten zugelassen werden, sodaß als obere Grenze bei Spundwandbauwerken und Gründungen auf Stahlpfählen unbedenklich $^1/_2 = 0{,}5$ der Grenzlast eingesetzt werden kann.
Die allgemeine Formel von Dörr lautet:

$$T = \gamma \cdot \varepsilon_p \cdot V + \gamma \cdot \varepsilon_r \cdot \delta \cdot u \cdot \frac{l^2}{2}.$$

Bei der Berechnung der Tragfähigkeit von Peiner Kastenspundbohlen wird das umschlossene Rechteck gemäß den folgenden Skizzen zugrunde gelegt.

[1]) Siehe auch: [2], Bd. I, S. 190 und Hütte, Bd. III, 25. Aufl., S. 120.

Mit $V = a \cdot b \cdot t$ und $u = 2 \cdot (a + b)$ wird die Formel für den praktischen Gebrauch wie folgt ausgewertet:

$$T = \gamma \cdot \varepsilon_p \cdot a \cdot b \cdot t + \gamma \cdot \varepsilon_r \cdot \delta \cdot 2 \cdot (a + b) \cdot \frac{t^2}{2} =$$

$$\boxed{T = \gamma \cdot \varepsilon_p \cdot a \cdot b \cdot t + \gamma \cdot \varepsilon_r \cdot \delta \cdot (a + b) \cdot t^2}\,.$$

Darin bedeuten:

T = Tragfähigkeit der Bohle oder der Wandstrecke in t
= T_{zul} = zulässige Belastung.

γ = Raumgewicht des Bodens in t/m³.

a bzw. b = Seitenabmessungen der Bohle oder der Wandstrecke in m.

t = die für die Tragfähigkeitsermittlung maßgebende Bohlenlänge innerhalb des Baugrundes in m.

ε_p = Beiwert des Erdwiderstandes = $\mathrm{tg}^2\,(45^0 + \varrho/2) = \lambda_p$.

ε_r = Beiwert des für die Umfangsreibung bei gewachsenem Boden maßgebenden Erddruckes = $1 + \mathrm{tg}^2\,\varrho = \frac{1}{\cos^2 \varrho}$.

ε_s = Beiwert des für die Umfangsreibung bei aufgeschüttetem Boden maßgebenden Erddruckes = $\cos^2 \varrho$ (anstelle von ε_r).

δ = Reibungszahl zwischen Pfahlmantel und Boden = $^1/_2 \cdot \sin 2\,\varrho$.

ϱ = innerer Reibungswinkel des Bodens = natürlicher Böschungswinkel.

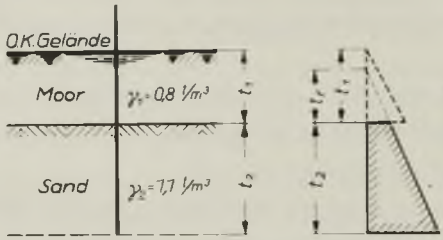
Die Beiwerte können für die gebräuchlichsten Reibungswinkel ϱ der Zahlentafel 21 (S. 148) entnommen werden.

Der erste Summenteil der Formel erfaßt den Spitzenwiderstand (Eindringungswiderstand) und der zweite Teil die Mantelreibung, die dem Einsinken entgegenwirkt.

Bei der Berechnung der Tragfähigkeit von Pfählen wird um den ganzen Umfang des Pfahles mit einer einheitlichen Reibungszahl gerechnet und dabei zur Sicherheit die größere Reibung von Boden auf Boden an den Pfahlbreiten a unberücksichtigt gelassen. Wird die Tragfähigkeit einer durchlaufenden Wand ermittelt, fällt im zweiten Summenteil die Bohlenbreite a fort.

Bei wechselnden Bodenschichten und vorhandenem Auftrieb sind die Raumgewichte γ und die Beiwerte ε_p, ε_r und δ für die einzelnen Boden-

schichten besonders einzusetzen. Nach den Bestimmungen in DIN 1054, § 5, B, 12 darf die Mantelreibung nur im Bereich der tragfähigsten Schicht in Rechnung gestellt werden. Die darüberliegenden wenig tragenden Bodenschichten wie z. B. Moor, Torf, Schlamm u. dgl. sind nur als Auflast zu berücksichtigen (vgl. Skizze).



$$t_r = t_1 \cdot \frac{\gamma_1}{\gamma_2}$$

Die Formel von Dörr erhält dann mit den vorstehenden Bezeichnungen die folgende Form (siehe [24], S. 14):

$$\boxed{T = \gamma_2 \cdot a \cdot b \cdot (t_r + t_2) \cdot \varepsilon_p + \gamma \cdot \varepsilon_r \cdot \delta \cdot t_2 \cdot \left(t_r + \frac{t_2}{2}\right) \cdot 2 \cdot (a + b)}\,.$$

Bodenreibungs-winkel	Erddruckbeiwerte			Reibungs-zahl
ϱ	ε_p	ε_r	ε_s	δ
10°	1.42	1,03	0,97	0,17
15°	1.70	1,07	0,93	0,25
17,5°	1,86	1,10	0,91	0,29
20°	2,04	1,13	0,88	0,32
22,5°	2,24	1,17	0,85	0,35
25°	2,46	1,22	0,82	0,38
27,5°	2,72	1,27	0,79	0,41
30°	3,00	1,33	0,75	0,43
32,5°	3,32	1,41	0,71	0,45
35°	3,69	1,49	0,67	0,47
40°	4,60	1,70	0,59	0,49
45°	5,83	2,00	0,50	0,50

Zahlentafel 21

Die zulässige Zugkraft von Pfählen aus Peiner Kastenspundbohlen kann aufgrund der Erfahrung aus zahlreichen Zugversuchen zu etwa 40 bis 60 v. H. der errechneten Reibungskraft (zweiter Summenteil der Formel von Dörr) angesetzt werden.

Eine weitere Tragfähigkeitsformel, die auch auf der Erddrucklehre aufgebaut ist, wurde von Krey [16] entwickelt. Hiernach ergibt sich die Tragfähigkeit unter Verwendung der vorstehend gebrauchten Bezeichnungen zu

$$T = a \cdot b \cdot \lambda_p \cdot \gamma \cdot t + (a + b) \cdot \gamma \cdot t^2 \cdot \operatorname{tg} \delta.$$

Diese Formel unterscheidet sich von der Dörrschen Formel nur durch den Reibungswert tg δ im zweiten Summenteil, der anstelle von $\varepsilon_r \cdot \delta$ tritt. Wenn der Wandreibungswinkel δ gleich dem inneren Bodenreibungswinkel ϱ gesetzt werden kann, würden sich nach Krey die gleichen Tragfähigkeiten wie nach Dörr ergeben, da tg $\varrho = \varepsilon_r \cdot \delta$. Da δ aber meist kleiner als ϱ ist, so ergeben sich nach der Formel von Krey geringere Werte. Dagegen kann nach Krey jedoch je nach den gegebenen Verhältnissen die rechte Seite der Gleichung noch mit dem Beiwert des Erdwiderstandes λ_p vervielfältigt werden. Dadurch ist der Formel ein reichlich weiter Spielraum gegeben.

Die Ermittlung der Tragfähigkeit mit Hilfe der verschiedenen dynamischen Rammformeln ist sehr unsicher. Bei einem Vergleich der Ergebnisse dieser Formeln ergibt sich, daß die ermittelten Werte sehr weit auseinanderliegen. Die Anwendung dieser Formeln ist daher nicht zu empfehlen. Die Formel von Dörr liefert jedoch, wie die ausgeführten Belastungen beweisen, Ergebnisse, die zur Aufstellung von Entwürfen und Voranschlägen sowie bei der Ausführung kleinerer Bauwerke völlig ausreichend sind. Bei umfangreichen und wichtigen Bauten ist es jedoch zweckmäßig, durch eine Probebelastung den Nachweis zu führen, daß einmal gegenüber dem rechnerischen Wert eine den vorliegenden Verhältnissen entsprechend ausreichende Sicherheit vorhanden ist, und daß zum anderen auch nicht zu viel Pfähle geschlagen werden (s. Abschnitt VI, S. 87).

Für rohe Überschlagsrechnungen kann man die Tragfähigkeit genügend genau aus dem Produkt Mantelfläche × Reibungswert ermitteln.

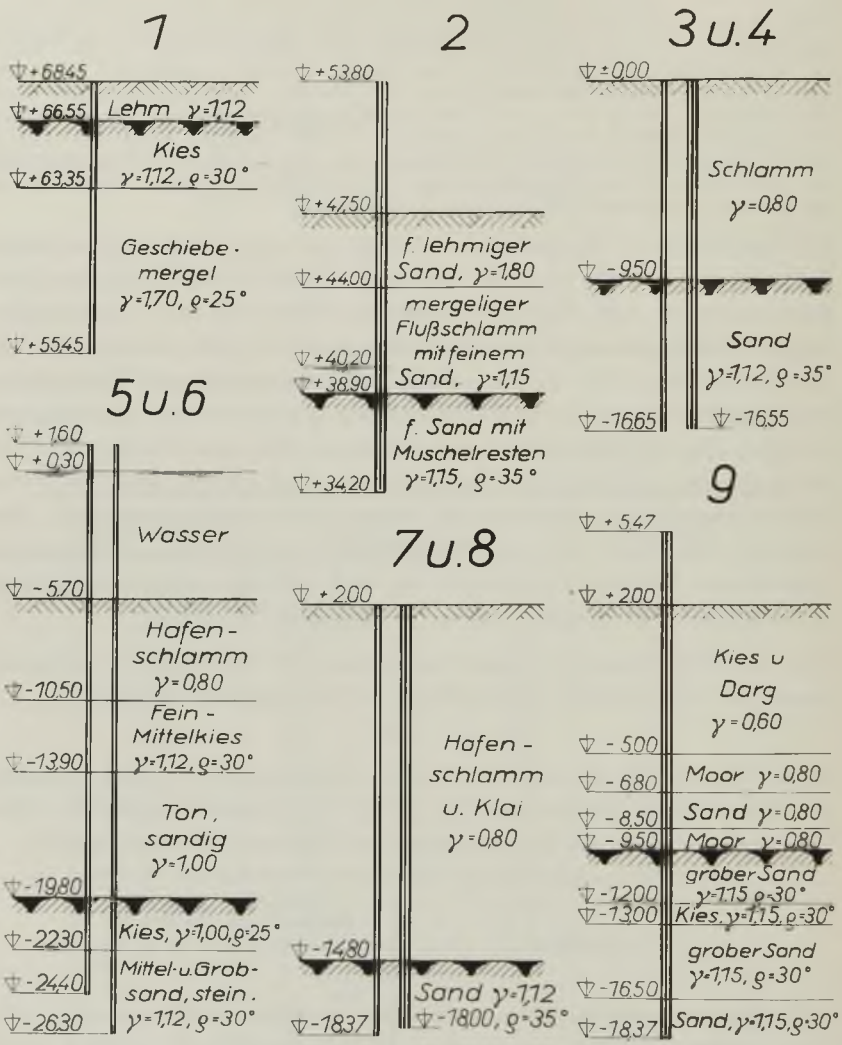
$$T = M \cdot r.$$

In der Zahlentafel 22 sind verschiedene Reibungswerte r nach Angaben von Brennecke-Lohmeyer [2], Bd. I, S. 12 zusammengestellt. Zum Vergleich sind auch die Reibungswerte bei Holz und Beton aufgeführt.

Bodenart	Reibungswerte r für Reibung des Bodens auf		
	Stahl t/m²	Beton t/m²	Holz t/m²
Sand und Kies	2,5	3,5	3,0
Ton und Lehm	1,5	2,5	2,0
Schlick und Schlamm	0,3	1,0	0,5

Zahlentafel 22

Probebelastungen von Pfählen aus Peiner Kastenspundbohlen



Bodenarten und in die Berechnung eingesetzte Bodenbeiwerte

Probebelastungen von Pfählen aus Peiner Kastenspundbohlen

Lfd. Nr.	Bauwerk	Probebohle			Rammung			Tragfähigkeit			
		Profil	Grundriß	Länge	benutzter Ramm-hammer	aufgewendete Energie	Eindringung beim letzten Schlag	errechnet nach Dörr	bei Belastung gemessen	zulässig 0,4·Höchstlast	zulässig 0,5·Höchstlast
		PSp		m		mt	mm	t	t	t	t
1	Gründung eines Schornsteins	30 L		13,00	FB 1,75 t	1562	—	**70,1**	142,0	57	**71**
2	Widerlager einer Straßenbrücke	30 L		19,60	FB 2,5 t	1956 2709	5,0 6,0 (H = 1,2)	**122,9**	312,0	**123**	156
3	Spundwand unter einem Speicher	30 L		16,65	FB 2,8 t	1146	13,0 (H = 1,5)	**55,2**	150,0	**60**	75
4	wie vor	30 L		16,55	FB 2,8 t	1544 2761	15,0 10,3 (H = 2,0)	**123,6**	319,5	**124**	160
5	Ufermauer (Ostsee)	35 L		26,00	DB 4,0 t	1498	18,0 (H = 1,0)	**79,4**	200,0	**80**	100
6	wie vor	35 L		27,90	DB 4,0 t	2309	13,6 (H = 1,0)	**111,2**	227,2	90,8	**114**
7	Ufermauer (Nordsee)	40 L		20,37	FB 2,5 t	807	10,0 (H = 0,8)	**76,8**	251,2	**100**	125
8	wie vor	40 L		20,00	FB 2,5 t	698 1450	3,0 5,0 (H = 0,7)	**106,6**	328,0	**126**	164
9	Pfeiler einer Straßenbrücke	60 L		23,84	S 3,9 t	4670 5150	0,79 0,95	**226,8**	455,2	182	**227**

FB = Freifallbär — DB = Dampfbär — S = Schnellschlaghammer — H = Hubhöhe des Bären in m. Bei den Doppelbohlen ist die aufgewendete Energie und die Eindringung beim letzten Schlag für jede Bohle einzeln angegeben.

4. Aufnahme von Längskräften

Im allgemeinen werden die Spundwände durch waagerechte Kräfte aus Erddruck, Schiffsstoß, Pollerzug, Wind u. dgl. auf Biegung beansprucht. Daneben können aber auch Beanspruchungen in der Längsrichtung infolge lotrechter Auflast aus aufgesetzter Mauer, aus dem Brückenüberbau, aus Kranlast oder dgl. auftreten. Während diese Beanspruchungen bei einer Spundwand meist von untergeordneter Bedeutung sind, können sie aber bei Brückenpfeilern oder Tragpfählen erhebliche Werte annehmen.

Bei Zugkräften errechnet sich die Beanspruchung im Bohlenquerschnitt aus der allgemeinen Formel

$$\sigma = \frac{P_z}{F} \leqq \sigma_{zul},$$

wobei gegebenenfalls der etwa durch Nietlöcher oder dgl. geschwächte Bohlenquerschnitt einzusetzen ist. Für die Bestimmung der zulässigen Pfahlzugkraft ist jedoch die auftretende Bodenreibung maßgebend, die meist geringer ist als die von dem Pfahlquerschnitt aufnehmbare Kraft.

Bei Druckkräften wird die Beanspruchung bei Knickgefahr nach dem ω-Verfahren ermittelt, soweit die Wände oder Pfeiler freistehen oder durch breiige Bodenschichten (Schlamm und Moor) gerammt sind, die das Ausknicken nicht verhindern (vergl. hierzu DIN 1054, „Richtlinien für die zulässige Belastung des Baugrundes und der Pfahlgründungen", § 5. 15). Die Beanspruchung ergibt sich dann zu

$$\sigma = \frac{\omega \cdot P_d}{F} \leqq \sigma_{zul}.$$

Die Knickzahl ω ist vom Schlankheitsgrad $\lambda = \frac{s_K}{i_{min}}$ und dem Werkstoff abhängig (siehe Zahlentafel 23, S. 153). Die Knicklänge s_K ist entsprechend der Lagerung des Stabes einzuführen. Aus den Formeln von Euler lassen sich für die vier Hauptknickfälle die unter den Skizzen auf S. 154 angegebenen Werte für s_K ableiten. Die Werte für den kleinsten Trägheitshalbmesser i_{min} können den Zahlentafeln auf den S. 16—19 entnommen werden.

Knickzahlen ω für Handelsbaustahl und St 37

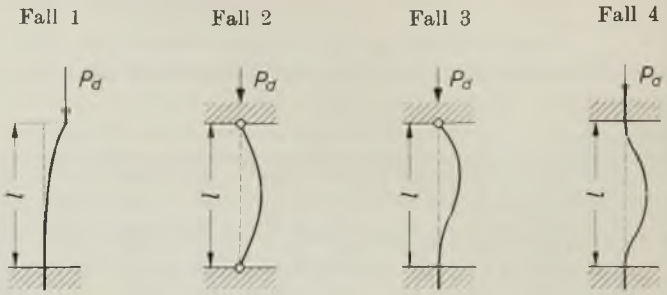
λ	λ + 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
0	**1,00**	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0
10	**1,01**	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	10
20	**1,02**	1,03	1,03	1,03	1,03	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05	20
30	**1.05**	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	1,09	1,10	30
40	**1,10**	1,11	1,11	1,12	1,13	1,13	1,14	1,15	1,15	1,16	40
50	**1,17**	1,18	1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25	**50**
60	**1,26**	1,27	1,29	1,30	1,31	1,32	1,34	1,35	1,36	1,38	60
70	**1,39**	1,41	1,43	1,44	1,46	1,48	1,50	1,52	1,54	1,56	70
80	**1,59**	1,61	1.63	1,66	1,69	1,71	1,74	1,78	1,81	1,84	80
90	**1,88**	1,92	1,95	2.00	2,04	2,09	2,14	2,19	2,24	2,30	90
100	**2,36**	2,41	2,46	2,51	2,56	2,61	2,66	2,71	2,76	2,81	**100**
110	**2,86**	2,91	2,97	3.02	3,07	3,13	3,18	3,24	3,29	3,35	110
120	**3.40**	3,46	3,52	3,58	3,64	3,69	3,75	3,81	3,87	3,93	120
130	**4.00**	4,06	4,12	4,18	4,25	4,31	4,37	4,44	4,50	4,57	130
140	**4.63**	4,70	4,77	4,83	4,90	4,97	5,04	5,11	5,18	5,25	140
150	**5,32**	—	—	—	—	—	—	—	—	—	**150**

Knickzahlen ω für St Sp 50/60

λ	λ + 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
0	**1.00**	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	0
10	**1.01**	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,02	1,03	10
20	**1,03**	1,03	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05	1,06	1,06	1,06	20
30	**1,07**	1,07	1,08	1,08	1,09	1,10	1,10	1,11	1,12	1,12	30
40	**1,13**	1,14	1,15	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21	40
50	**1,22**	1,23	1,24	1,25	1,26	1,28	1,29	1,30	1,32	1,33	**50**
60	**1.35**	1,36	1,38	1,40	1,42	1,44	1,46	1,48	1,50	1,52	60
70	**1.54**	1,57	1.59	1,62	1,65	1,68	1,71	1,74	1,78	1,81	70
80	**1.85**	1,89	1,93	1.98	2,03	2,08	2,13	2,19	2,25	2,32	80
90	**2.39**	2,47	2,55	2,64	2,74	2,84	2,96	3,08	3,22	3,28	90
100	**3,55**	3,62	3,69	3,76	3.84	3,91	3,98	4,06	4.14	4,21	**100**
110	**4.29**	4,37	4,45	4,53	4,61	4,69	4,77	4,85	4,94	5,02	110
120	**5,11**	5,19	5,28	5,37	5,45	5,54	5,63	5,72	5,81	5,90	120
130	**5.99**	6,09	6,18	6,27	6,37	6,46	6,56	6,66	6,75	6,85	130
140	**6,95**	7,05	7,15	7,25	7,35	7,46	7,56	7,66	7,77	7,87	140
150	**7,98**	—	—	—	—	—	—	—	—	—	**150**

Zwischenwerte brauchen nicht eingeschaltet zu werden.

Zahlentafel 23



Knicklänge

$$s_K = 2 \cdot l, \qquad s_K = l, \qquad s_K = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot l \approx {}^3/_4\, l, \qquad s_K = {}^1/_2\, l.$$

Die verschiedenen Knickfälle kommen bei Spundwandberechnungen wie folgt zur Anwendung:

Fall 1 bei freistehender, unverankerter im Boden eingespannter Spundwand.

Fall 2 bei verankerter Spundwand, die wegen kurzer Rammtiefe nicht als im Boden eingespannt berechnet werden kann. l = Abstand vom Ankerangriffspunkt bis zum Schwerpunkt der Erdwiderstandsfläche.

Fall 3 bei verankerter Spundwand, die im Boden eingespannt ist; auch bei Brückenpfeilern aus einer Spundbohlenreihe, deren Kopf als durch den Brückenüberbau gelenkig gelagert angesehen werden kann. l = Abstand vom Ankerangriffspunkt bis zum Momentennullpunkt; bei Brückenpfeilern von Oberkante Spundbohle bis Oberkante des guten Baugrundes.

Fall 4 bei einer im Boden eingespannten Spundwand, deren oberes Ende in der Mauerkonstruktion oder in einem schweren Eisenbetonholm eingespannt ist.

Bei Biegung und Längskraft ergibt sich die Gesamtbeanspruchung aus

$$\sigma = \frac{M}{W} + \frac{P_s}{F} \leqq \sigma_{zul} \quad \text{bzw.} \quad \sigma = \frac{M}{W} + \frac{\omega \cdot P_d}{F} \leqq \sigma_{zul}.$$

5. Berechnung von Dalben

Über die Berechnung von Dalben bringen die im Schrifttumverzeichnis S. 194 aufgeführten Arbeiten [45] und [46] eingehende Ausführungen. Entsprechend der Vorbemerkung sollen auch hier nur allgemeine Angaben gemacht und die Grundformeln mitgeteilt werden.

Die Beanspruchung eines Dalbens kann erfolgen

a) durch eine Zugkraft aus dem Trossenzug eines Schiffes,

b) durch eine plötzliche Stoßkraft beim Anfahren des Schiffes.

a) Zugkräfte.

Beim Verholen eines Schiffes an einem Dalben ist die lebendige Energie des Schiffes auf dem Bremsweg zu vernichten. Es gilt daher die Arbeitsgleichung

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = P \cdot s.$$

Darin bezeichnen

$m = \dfrac{\text{Schiffsgewicht}}{\text{Erdbeschleunigung}} = \dfrac{G\ (\text{kg})}{g}$, $g = 9{,}81$ m/sec = rd. 1000 cm/sec.

v = Schiffsgeschwindigkeit (cm/sec).

P = Rückhaltekraft (kg).

s = Bremsweg des Schiffes (cm).

Wenn m, v und s aus den Entwurfsbedingungen bekannt sind, errechnet sich die Rückhaltekraft zu

$$\boxed{P = \frac{m \cdot v^2}{2 \cdot s}}.$$

Weiterhin kann der Dalben durch Trossenzug aus der Windbelastung oder Wasserströmung beansprucht werden. Die Windbelastung ist aus der vom Wind getroffenen Schiffsfläche zu ermitteln. Die Belastung durch Wasserströmung ist rechnerisch nicht zu erfassen, doch wird sie die durch Wind meist nicht übersteigen.

Die Größe des Trossenzuges wird begrenzt durch die Bruchfestigkeit des verwendeten Tauwerkes. Nach Rogge[1]) werden zum Festmachen bzw. Verholen im allgemeinen die sogenannten „zweiten Trossen" benutzt, deren Abmessungen und Bruchlasten für einige Schiffsgrößen in der Zahlentafel 24 zusammengestellt sind. Es ist noch die Frage zu prüfen, ob das Schiff mit mehreren Trossen an einem Dalben anlegen kann, sodaß in diesem Falle auch größere Kräfte übertragen werden können.

Schiffsgröße	Stahltrossen			Hanftrossen		
Reg. T.	Umfang mm	Durchm. mm	Bruchlast t	Umfang mm	Durchm. mm	Bruchlast t
1000	57	18	21	203	64	25
2000	64	20	24	229	72	30
3000	70	22	28	254	80	36
4000	76	24	37	254	80	36
5000	89	28	46	279	88	42
7500	95	30	57	330	104	55
10000	102	32	69	356	112	61
15000	114	36	83	203	64	25
20000	127	40	97	229	72	30
25000	140	44	112	229	72	30
30000	152	48	138	229	72	30
35000	165	52	166	229	72	30
40000	178	56	184	229	72	30

Bruchbelastung bei Stahltrossen 160 kg/mm² je Einzeldraht; bei Hanftrossen 95 kg Garnbruchbelastung.

Zahlentafel 24

Unter Zugrundelegung der größten erhaltenen Zugkraft wird dann der Dalben nach dem Verfahren von Blum [31] und [2], als im Boden eingespannter unverankerter Stab berechnet. Der Erdwiderstand wird dabei nach den im Abschnitt 2b (S. 143) gegebenen Hinweisen angesetzt.

[1]) Siehe Dr.-Ing. G. Rogge, „Ausrüstung der Seehäfen mit landfesten Pollern" (Berlin 1930, W. Ernst & Sohn). Die Angaben der Zahlentafel sind den Tabellen II, VI und VII der vorgenannten Schrift entnommen; sie entsprechen den Vorschriften des Germanischen Lloyd und des Handelsschiff-Normen-Ausschusses.

Die ungünstigste Beanspruchung, die eine dauernde Zugkraft ausüben kann, tritt ein, wenn diese am Kopf des Dalbens bzw. an der obersten Festmachevorrichtung angreift, da das Biegungsmoment mit zunehmender Höhe des Kraftangriffspunktes wächst.

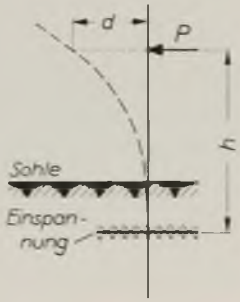
Da die Zugkräfte meist in der Längsrichtung der Dalbenreihe angreifen, werden die einzelnen Peiner Kastenspundbohlen zweckmäßig oberhalb des Wasserspiegels mit den Schlössern fest verschweißt. Man kann die Bohlen dann als schubfest miteinander verbunden ansehen, zumal im Boden die schubfeste Verbindung durch die Schloßreibung zweifellos auch vorhanden ist.

Druckkräfte auf den Dalben, die aus der Belastung eines Schiffes oder Dockes durch Wind entstehen, werden in gleicher Weise behandelt.

b) Stoßkraft.

Beim Anfahren eines Schiffes auf einen Dalben ist die Energie des sich bewegenden Schiffes durch die Formänderungsarbeit des Dalbens zu vernichten. Das Arbeitsvermögen der sich mit der Geschwindigkeit v bewegenden Masse m ist gleich der von dem Dalben geleisteten inneren Arbeit. Unter Vernachlässigung der Schiffsverformung und der Massenträgheit des Dalbens ergibt sich daher die Formel

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{P \cdot d}{2}.$$



Darin bezeichnen

m und v wie unter a), S. 155.

P = auftretende Stoßkraft (kg).

d = Durchbiegung des Dalbens (cm).

Für den gewählten Dalbenquerschnitt ist dann das Trägheitsmoment J zu ermitteln und der Abstand h (cm) des Kraftangriffspunktes von der Einspannstelle zunächst zu schätzen. Die Einspannstelle wird je nach der Bodenart mehr oder weniger tief unterhalb der Sohle liegen. Betrachtet man den Dalben als einseitig eingespannten Stab, dann ist die Durchbiegung in Höhe des Kraftangriffspunktes

$$d = \frac{P \cdot h^3}{3 \cdot E \cdot J}.$$

Durch Umwandlung der beiden Gleichungen auf S. 157 erhält man dann die Stoßkraft zu

$$\boxed{P = \sqrt{\frac{m \cdot v^2 \cdot 3 \cdot E \cdot J}{h^3}}}.$$

Mit dieser Kraft P wird die Berechnung nun in gleicher Weise wie bei der Zugkraft (s. S. 156) durchgeführt. Dabei ist dann festzustellen, ob die Lage der Einspannung, d. h. des Größtmomentes richtig geschätzt wurde. Nötigenfalls ist die Rechnung zu wiederholen.

Die größte Stahlbeanspruchung tritt ein, wenn der Stoß an dem niedrigstmöglichen Punkt des Dalbens auftrifft, also bei NW, da die Stoßkraft mit wachsender Höhe über dem Einspannpunkt abnimmt. Beim Ansatz der Kräfte ist zu berücksichtigen, daß der Stoß selten senkrecht zu den Dalbenreihen, sondern meist unter einem Winkel auftrifft. Man wird der dadurch eintretenden Verringerung der Stoßkraft gerecht, indem man mit einer verringerten Komponente der Geschwindigkeit rechnet. Da es sich bei dem Schiffsstoß um keine Dauerbelastung, sondern um eine plötzliche Einwirkung handelt, kann für die Beanspruchung die Streckgrenzenspannung des verwendeten Stahles zugrunde gelegt werden. Ebenso kann der Erdwiderstand ohne Auftrieb, also mit vollem Raumgewicht eingesetzt werden, da das Wasser während der kurzen Dauer des Stoßes nicht aus den Hohlräumen des Bodens herausgedrückt werden kann (siehe [2], Bd. II, S. 68).

Über die konstruktiven Ausbildungen der verschiedenen Dalbenarten (Festmachedalben, Anfahrdalben und Dockhaltedalben) siehe die Ausführungsbeispiele auf den Seiten 260 bis 279.

B. Berechnungsbeispiele

1. Berechnung einer Ufermauer

Für einen Geländesprung von 18,0 m ist eine Ufermauer zu entwerfen und zu berechnen. Die Maueroberkante liegt auf + 4,0 m, die Sohle auf − 14,0 m. Der Boden besteht aus Sand, z. T. mit Kies, unterhalb der Sohle aus Grobsand und Kies. Zwischen − 10,0 m und − 14,0 m befindet sich eine Schlick- und Torfschicht. Die für diese Bodenverhältnisse in die Rechnung einzuführenden Bodenbeiwerte sind aufgrund einer vorgenommenen Bodenuntersuchung festgestellt worden und in dem Querschnitt für die einzelnen Schichten eingetragen. Die rückwärtige Geländeoberfläche wird mit 2,0 t/m² belastet, ferner ist ein Trossenzug von 100 t durch Poller aufzunehmen.

Es werden zwei Ausführungsmöglichkeiten untersucht, und zwar

a) Spundwandbauwerk mit Verankerung und

b) Stahlbeton-Winkelstützmauer auf hohem Pfahlrost mit vorderer Spundwand.

a) Spundwandbauwerk mit Verankerung

I. Ermittlung des Wandquerschnittes

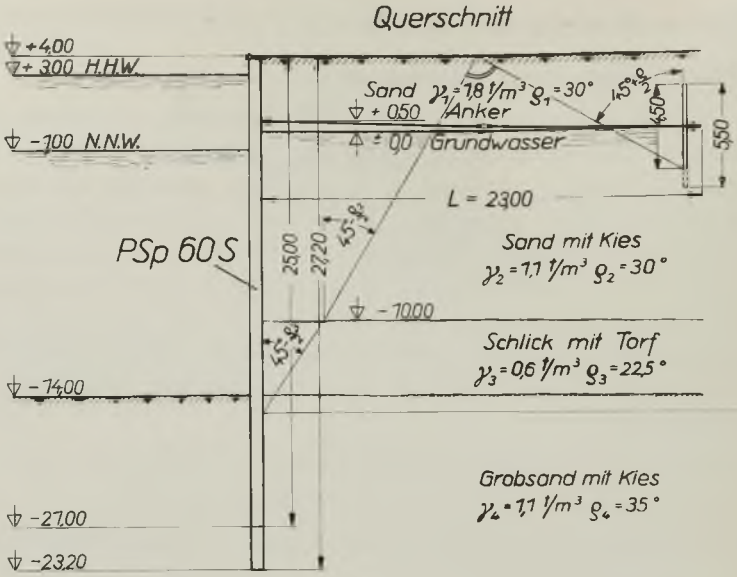
Die Belastung der Wand durch den Erddruck und die Größe des Erdwiderstandes werden nach den auf S. 140 angegebenen Formeln errechnet. Die Werte der Grundlinien sind in das Belastungsbild auf S. 160 eingetragen. Die Erddruckwerte werden ohne Berücksichtigung der Wandreibung und der Kohäsion mit den Werten der Zahlentafel 19 (S. 141) ermittelt. Bei den Erdwiderstandswerten wird der dichten Lagerung des gewachsenen Bodens und der Wandreibung dadurch Rechnung getragen, daß sie in doppelter Größe ($g_p = 2 \cdot \gamma \cdot \lambda_p \cdot h_p$) eingeführt werden [1], [2], [4], [31] [1]) u. a.

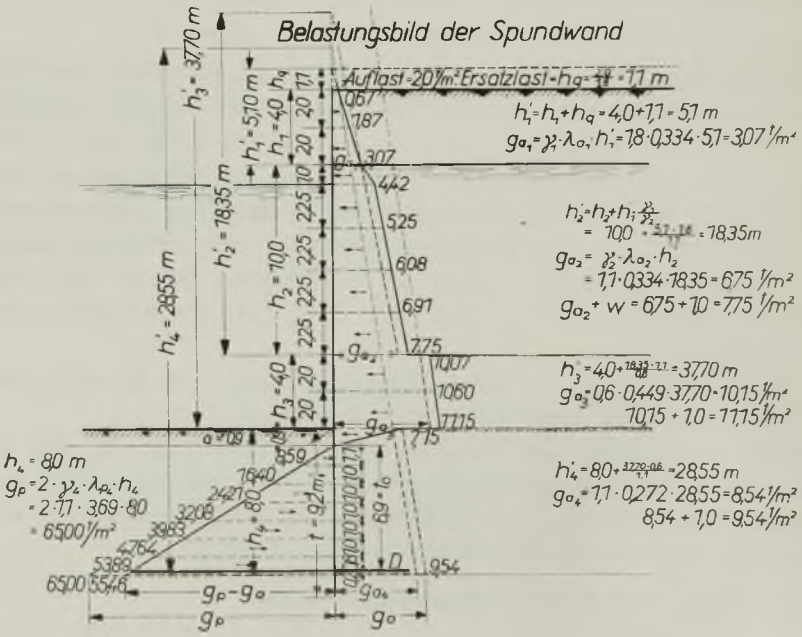
Der Wasserüberdruck von 1,0 m Höhe wird durch den Zuschlag von $w = 1{,}0$ t/m² zu den Grundlinien g_a berücksichtigt.

Die Wand wird nach dem Verfahren von Blum [31] und [2], Bd. II, S. 81, als im Boden elastisch eingespannter, oben verankerter Stab berechnet. Die Bestimmung des Größtmomentes erfolgt zeichnerisch auf den Seiten 160 und 161 nach Mohr zu $M_{max} = 205$ tm.

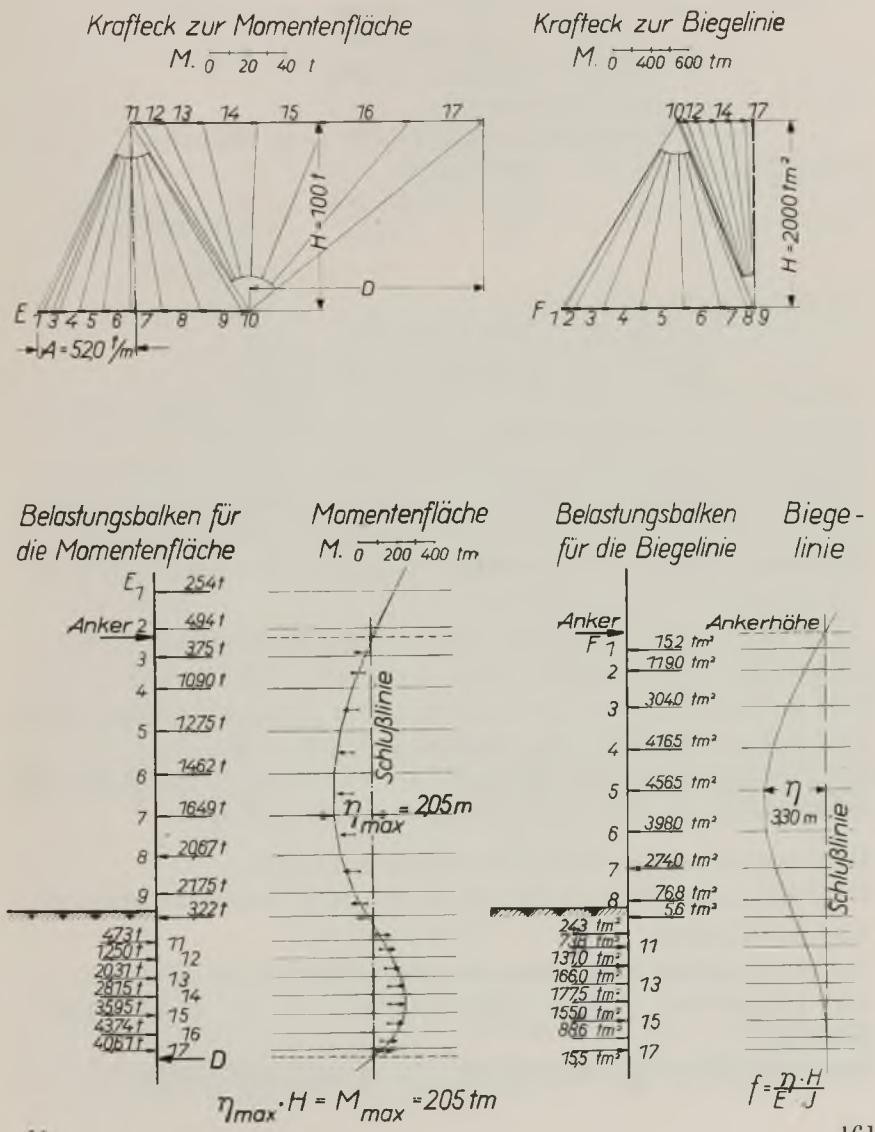
---

[1]) [] = Hinweise auf das Schrifttumverzeichnis S. 194.


Querschnitt
+4,00
+3,00 H.H.W.
-1,00 N.N.W.
Sand γ_1=1,8 t/m³ ϱ_1=30°
+0,50 Anker
±0,0 Grundwasser
L = 23,00
PSp 60 S
25,00
27,20
Sand mit Kies
γ_2=1,1 t/m³ ϱ_2=30°
-10,00
Schlick mit Torf
γ_3=0,6 t/m³ ϱ_3=22,5°
-14,00
Grobsand mit Kies
γ_4=1,1 t/m³ ϱ_4=35°
-27,00
-23,20
450
550


Belastungsbild der Spundwand
Auflast 20 t/m² Ersatzlast h_q = 1,1 m
$h_1' = h_1 + h_q = 4,0 + 1,1 = 5,1$ m
$g_{a_1} = \gamma_1 \cdot \lambda_{a_1} \cdot h_1' = 1,8 \cdot 0,334 \cdot 5,1 = 3,07$ t/m²
$h_2' = h_2 + h_1 \frac{\gamma_1}{\gamma_2} = 10,0 + \frac{5,1 \cdot 1,8}{1,1} = 18,35$ m
$g_{a_2} = \gamma_2 \cdot \lambda_{a_2} \cdot h_2' = 1,1 \cdot 0,334 \cdot 18,35 = 6,75$ t/m²
$g_{a_2} + w = 6,75 + 1,0 = 7,75$ t/m²
$h_3' = 4,0 + \frac{18,35 \cdot 1,1}{0,6} = 37,70$ m
$g_{a_3} = 0,6 \cdot 0,449 \cdot 37,70 = 10,15$ t/m²
$10,15 + 1,0 = 11,15$ t/m²
$h_4' = 8,0 + \frac{37,70 \cdot 0,6}{1,1} = 28,55$ m
$g_{a_4} = 1,1 \cdot 0,272 \cdot 28,55 = 8,54$ t/m²
$8,54 + 1,0 = 9,54$ t/m²
$h_4 = 8,0$ m
$g_p = 2 \cdot \gamma_4 \cdot \lambda_{p_4} \cdot h_4 = 2 \cdot 1,1 \cdot 3,69 \cdot 8,0 = 65,00$ t/m²
$h_1' = 5,10$ m
$h_2' = 18,35$ m
$h_3' = 37,70$ m
$h_4' = 28,55$ m
$h_1 = 4,0$
$h_2 = 10,0$
$h_3 = 4,0$
$h_4 = 8,0$
$t = 9,2$ m
$g_p - g_a$
g_p
g_a
g_{a_4}

Zeichnerische Ermittlung des Größtmomentes und der Durchbiegung einer verankerten Spundwand



Gewählt werden

Peiner Kastenspundbohlen PSp 60 S in St 37.

Widerstandsmoment $W_x = 13770\ \text{cm}^3/\text{m}$ Wand (s. Zahlentafel 2, S. 15).

Beanspruchung $\sigma = \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{20\,500\,000}{13\,770} = 1490\ \text{kg/cm}^2 \approx \sigma_{zul}$.

Die größte Durchbiegung der Wand wird nach der Biegelinie

$$f = \frac{\eta \cdot H}{E \cdot J_x} = \frac{330 \cdot 2000 \cdot 10^7}{2\,100\,000 \cdot 465\,500} = 6{,}75\ \text{cm}.$$

Wahlweise werden vorgeschlagen

Peiner Kastenspundbohlen PSp 50 L in StSp 50/60.

Widerstandsmoment $W_x = 10\,060\ \text{cm}^3/\text{m}$.

Beanspruchung $\sigma = \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{20\,500\,000}{10\,060} = 2038\ \text{kg/cm}^2$

$< \sigma_{zul} = 2100\ \text{kg/cm}^2$.

Die Durchbiegung wird dann

$$f = \frac{\eta \cdot H}{E \cdot J_x} = \frac{330 \cdot 2000 \cdot 10^7}{2\,100\,000 \cdot 287\,700} = 10{,}90\ \text{cm}.$$

Es muß bei dem leichteren Profil eine größere Durchbiegung in Kauf genommen werden; dafür beträgt aber die Stahlersparnis rd. 12,6 v. H. Hinsichtlich der Rostgefahr ist auch die Wahl des leichteren Profiles unbedenklich, da erfahrungsgemäß an der Stelle des Größtmomentes (rd. 8,0 m unter NNW) keine Abrostung mehr auftritt und im Bereich des Luft- und Wasserwechsels nur mit sehr langsamer Verrostung zu rechnen ist (s. S. 63).

Die Rammtiefe ergibt sich zu

$t = a + 1{,}2 \cdot t_0 = 0{,}90 + 1{,}2 \cdot 6{,}90 = 9{,}20$ m (s. Zeichnung S. 160).

Die gesamte Bohlenlänge wird daher $4{,}0 + 14{,}0 + 9{,}20 = 27{,}20$ m.

Jede 2. Bohle kann am unteren Ende 2,20 m ausgespart werden, sodaß diese Bohlen nur 25,00 m lang werden (s. S. 65).

Der Pollerzug wird durch einzelne Poller, die besonders verankert sind, aufgenommen. Die Wand wird hierdurch also nicht belastet.

II. Ermittlung der Verankerungsquerschnitte

Die Verankerung wird nach Abb. 23, 24 oder 25 (S. 38 und 39) ausgeführt.

Rundstahlanker.

Der obere Auflagerdruck ergibt sich zeichnerisch zu $A = 52{,}0$ t/m.

Der Ankerabstand wird zu 4 Bohlenbreiten, d. h. $l = 4 \cdot 0{,}4 = 1{,}60$ m festgelegt.

Die Ankerzugkraft ist demnach $Z = A \cdot l = 52{,}0 \cdot 1{,}6 = 83{,}2$ t.

Gewählt werden

Rundstahlanker 100 mm ∅ in St 52.

Kernquerschnitt des Gewindes M 99: $F_K = 64{,}56$ cm² (s. S. 42).

Beanspruchung $\sigma = \frac{Z}{F_K} = \frac{83200}{64{,}56} = 1290$ kg/cm² $< \sigma_{zul} = 1500$ kg/cm².

Nach neueren Berechnungsweisen kann sich der Ankerzug in doppelter Größe ergeben. In vorliegendem Falle würde sich die Beanspruchung auf $2 \cdot 1290 = 2580$ kg/cm² erhöhen. Sie liegt dann noch unterhalb der Streckgrenzenspannung von $\sigma_{Str} = 3600$ kg/cm², sodaß die doppelte Belastung von dem gewählten Anker aufgenommen werden kann.

Die Abmessungen für die einzelnen Ankerteile, wie Muttern, Spannschloß, Doppelgelenk u. dgl., werden den Zahlentafeln 10, 11 u. 12 (S. 42, 43 u. 46) entnommen.

Gurtung.

Bei Berechnung der Gurtung als durchlaufender Träger über vielen Stützen ergibt sich das Größtmoment zu $M_{max} = \frac{A \cdot l^2}{12} = \frac{52{,}0 \cdot 1{,}6^2}{12} = 11{,}1$ tm.

Gewählt werden

2 ⊏ 30 in St 37.

Widerstandsmoment $W_x = 2 \cdot 535 = 1070$ cm³ (s. S. 48).

Beanspruchung $\sigma = \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{1110000}{1070} = 1040$ kg/cm² $< \sigma_{zul} = 1400$ kg/cm².

Die Gurtstöße sind biegungssteif auszubilden.

Bei einem Ankerzug in doppelter Größe würde die dabei auftretende Beanspruchung von 2080 kg/cm² ebenfalls noch unter der Streckgrenze (2400 kg/cm²) liegen.

Gurtbefestigung.

In jedem Ankerfeld wird der Gurt mit 4 Bolzen an der Spundwand befestigt. Jeder Bolzen hat also eine Zugkraft von $^1/_4$ der Ankerzugkraft aufzunehmen. $Z = \frac{A \cdot l}{4} = \frac{52{,}0 \cdot 1{,}6}{4} = 20{,}8$ t.

Gewählt werden

Bolzen 63 mm ∅ in St 37.

Kernquerschnitt des Gewindes M 64: $F_K = 24{,}34$ cm² (s. S. 42).

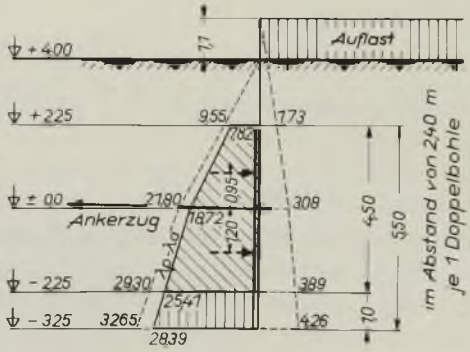
Beanspruchung $\sigma = \frac{Z}{F_K} = \frac{20800}{24{,}34} = 856$ kg/cm² $< \sigma_{zul} = 1000$ kg/cm².

Bei doppelter Ankerzugkraft wird die Spannung im Bolzen 1712 kg/cm² und liegt somit ebenfalls unterhalb der Streckgrenze.

Ankerwand.

Die Länge der Anker und damit die Lage der Ankerwand werden zeichnerisch nach dem Gleitlinien-Verfahren bestimmt. Die Gleitlinie des Erddruckes wird dabei in dem Punkt, in dem $g_a = g_p$ ist, angesetzt; siehe [4]. Die Ankerlänge ergibt sich zu 23,00 m. (Eine überschlägliche Berechnung der Ankerlänge nach dem Verfahren von Kranz [36] ergibt eine Ankerlänge von rd. 21,60 m.)

Die Höhe der Ankerwand wird zu $h = 4{,}50$ m angenommen. Bei der geringen Überschüttungshöhe braucht die Größe des Erdwiderstandes nicht nach dem genaueren Verfahren von Buchholz [15] bestimmt zu werden, sondern sie kann nach der allgemeinen Erddruckformel errechnet werden.



$h_{p_1} = 4{,}00$ m, $\varrho = 30^0$, $h'_{a_1} = 4{,}00 + 1{,}10 = 5{,}10$ m,

$g_{p_1} = 1{,}8 \cdot 3{,}03 \cdot 4{,}00 = 21{,}8$ t/m², $g_{a_1} = 1{,}8 \cdot 0{,}334 \cdot 5{,}10 = 3{,}08$ t/m²,

$h'_{p_2} = 2{,}25 + \dfrac{4{,}00 \cdot 1{,}8}{1{,}1} = 8{,}80$ m, $h'_{a_2} = 2{,}25 + \dfrac{5{,}10 \cdot 1{,}8}{1{,}1} = 10{,}59$ m,

$g_{p_2} = 1{,}1 \cdot 3{,}03 \cdot 8{,}80 = 29{,}30$ t/m², $g_{a_2} = 1{,}1 \cdot 0{,}334 \cdot 10{,}59 = 3{,}89$ t/m²,

$g'_{p_2} = 1{,}1 \cdot 3{,}03 \cdot 9{,}80 = 32{,}65$ t/m². $g'_{a_2} = 1{,}1 \cdot 0{,}334 \cdot 11{,}59 = 4{,}26$ t/m².

Nach Abzug des Erddruckes ergibt sich vor der Ankerwand bis zur Tiefe von $-2{,}25$ m ein Widerstand von

$$W = E_p - E_a = \frac{7{,}82 + 18{,}72}{2} \cdot 2{,}25 + \frac{18{,}72 + 25{,}41}{2} \cdot 2{,}25 = 79{,}6 \text{ t/m}.$$

Bei einem Ankerabstand von 1,60 m wird der Widerstand auf ein Ankerfeld $1{,}6 \cdot W = 79{,}6 \cdot 1{,}6 = 127{,}4$ t. Der Ankerzug beträgt $Z = 83{,}2$ t.

Die Sicherheit gegen Bewegen der Ankerwand ist also

$$\eta = \frac{1{,}6 \cdot W}{Z} = \frac{127{,}4}{83{,}2} = \sim 1{,}5\text{-fach.}$$

Um bei größerem Ankerzug die erforderliche Sicherheit zu haben, wird im Abstand von 2,40 m je ein Bohlenpaar 1,0 m tiefer bis − 3,25 m geschlagen. Aufgrund der Verbreiterung der seitlichen Gleitkeile vor diesen tiefer stehenden Bohlenteilen kann der Erdwiderstand wie vor einer durchlaufenden Wand angesetzt werden. Entsprechend der Skizze vergrößert sich der Widerstand dann um

$$^1/_2 \cdot (25{,}41 + 28{,}39) \cdot 1{,}0 = 26{,}90\,\text{t} \quad \text{auf} \quad 79{,}6 + 26{,}9 = 106{,}5\,\text{t/m.}$$

Für 1,6 m Ankerfeld ergibt sich dann $1{,}6 \cdot W' = 1{,}6 \cdot 106{,}5 = 170{,}4$ t. Die Sicherheit gegen Bewegen der Ankerwand ist dann

$$\eta' = \frac{1{,}6 \cdot W'}{2Z} = \frac{170{,}4}{166{,}4} = \sim 1{,}0\text{-fach.}$$

Die Standsicherheit der Ankerwand ist also in beiden Fällen gewährleistet.

Das Größtmoment in der Ankerwand beträgt überschläglich

$$M = \frac{A \cdot a \cdot b}{l} = \frac{52{,}0 \cdot 0{,}95 \cdot 1{,}20}{2{,}15} = 27{,}6\,\text{tm.}$$

Gewählt wird

eine einwandige Spundwand, Profil IV, in St 37

Widerstandsmoment $W_x = 2200\,\text{cm}^3/\text{m}$.

Beanspruchung $\sigma = \frac{2\,760\,000}{2200} = 1255\,\text{kg/cm}^2 < \sigma_{zul} = 1400\,\text{kg/cm}^2$.

Oder bei Verwendung von hochwertigem Stahl: Profil III

Widerstandsmoment $W_x = 1400\,\text{cm}^3/\text{m}$.

Dann ist $\sigma = \frac{2\,760\,000}{1400} = 1970\,\text{kg/cm}^2 < \sigma_{zul} = 2100\,\text{kg/cm}^2$.

b) Stahlbeton-Winkelstützmauer auf hohem Pfahlrost mit vorderer Spundwand

I. Ermittlung des Wandquerschnittes

Die wirtschaftlichste Breite der Grundplatte beträgt nach Berent [39] etwa $0{,}85 \cdot w$, wobei w die Höhe der Grundplatte über der Sohle bezeichnet. Die Breite wird daher gewählt zu $b = 0{,}85 \cdot 14{,}0 =$ rd. 12,0 m. Durch die Stahlbetonplatte wird der Erddruck auf die Spundwand abgeschirmt. Von Unterkante Platte ab wirkt nur der Erddruck der hier beginnenden Erdschicht. Die volle Schirmwirkung erstreckt sich bis zum Schnittpunkt der Böschungslinie von Hinterkante Grundplatte mit der Spundwand. Der volle Erddruck ohne Schirmwirkung, d. h. von Oberkante Gelände, setzt wieder ein in Höhe des Schnittpunktes der Gleitlinie von Hinterkante Grundplatte mit der Spundwand. Für diese Tiefe wird die Grundlinie der für die Sandschicht maßgebenden Belastungsfigur bestimmt und zwischen den Endpunkten dieser Grundlinie (g_{a_2}') und der Grundlinie mit voller Abschirmung (g_{a_2}) die Belastungsfigur geradlinig begrenzt angenommen. In Oberkante Torfschicht stehen dann die Grundlinien des teilweise abgeschirmten Erddruckes und des nicht abgeschirmten Erddruckes (Untersuchung a) bei den beiden zusammenstoßenden Erdschichten in gleichem Verhältnis zueinander. Im vorliegenden Falle kann sodann angenommen werden, daß sich die Schirmwirkung in der Torfschicht verliert; d. h. von Unterkante Torfschicht ab wirkt wieder der Erddruck in voller Größe wie in Untersuchung a ermittelt.

Die weitere Berechnung der Spundwand erfolgt nach den schon unter a angeführten Grundsätzen. Das Größtmoment der Spundwand ergibt sich zeichnerisch auf den S. 168 u. 169 zu $M_{max} = 130$ tm.

Gewählt werden

Peiner Kastenspundbohlen PSp 50 L in St 37.

Widerstandsmoment $W_x = 10\,060$ cm³/m Wand.

Beanspruchung $\sigma_B = \dfrac{M_{max}}{W_x} = \dfrac{13\,000\,000}{10\,060} = 1290$ kg/cm².

Außerdem erhält die Wand eine senkrechte Belastung von $V = 52$ t/m (siehe Belastungsfall 2, S. 170). Die Wandlänge bis zum Belastungsnullpunkt ($g_a = g_p$) ist $l = 14{,}40 + 0{,}90 = 15{,}30$ m. Gemäß S. 154 ist die Knicklänge $s_K = {}^3/_4\, l = 0{,}75 \cdot 15{,}30 = 11{,}45$ m.

$$\lambda = \frac{s_K}{i_x} = \frac{1145}{22{,}6} = 51; \quad \omega = 1{,}18; \quad F = 564 \text{ cm}^2/\text{m}.$$

Beanspruchung $\sigma_K = \frac{P \cdot \omega}{F} = \frac{52000 \cdot 1{,}18}{564} = 109\ \text{kg/cm}^2$.

Gesamtbeanspruchung

$$\sigma_B + \sigma_K = 1290 + 109 = 1399\ \text{kg/cm}^2 \approx \sigma_{zul}.$$

Oder wahlweise

Peiner Kastenspundbohlen PSp 40 L in St Sp 50/60.

Widerstandsmoment $W_x = 7290\ \text{cm}^3/\text{m}$.

Beanspruchung $\sigma_B = \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{13000000}{7290} = 1785\ \text{kg/cm}^2$.

$$\lambda = \frac{s_K}{i_x} = \frac{1145}{18{,}4} = 62; \quad \omega = 1{,}38; \quad F = 509\ \text{cm}^2/\text{m}.$$

Beanspruchung $\sigma_K = \frac{P \cdot \omega}{F} = \frac{52000 \cdot 1{,}38}{509} = 141\ \text{kg/cm}^2$.

Gesamtbeanspruchung

$$\sigma_B + \sigma_K = 1785 + 141 = 1926\ \text{kg/cm}^2 < \sigma_{zul} = 2100\ \text{kg/cm}^2.$$

Aus der Biegungsbeanspruchung ergibt sich eine Rammtiefe von $t = a + 1{,}2 \cdot t_0 = 0{,}90 + 1{,}2 \cdot 5{,}85 = 8{,}00$ m. Jede 3. Bohle wird bis zur Tiefe von 8,00 m unter der Sohle herabgeführt; die beiden Zwischenbohlen reichen nur bis 6,00 m unter die Sohle. Infolge der Verspannung des Bodens zwischen den tieferstehenden Bohlen kann mit dem vollen Erdwiderstand vor der Wand gerechnet werden (s. S. 65 f.).

II. Ermittlung des Verankerungsquerschnittes

Der obere Auflagerdruck ergibt sich zeichnerisch zu $A = 23{,}6$ t/m. Der Ankerabstand wird zu 2 Bohlenbreiten = Pfahlbockabstand = 0,80 m festgelegt. Mithin Ankerzugkraft $Z = A \cdot l = 23{,}6 \cdot 0{,}8 = 18{,}9$ t.

Gewählt werden

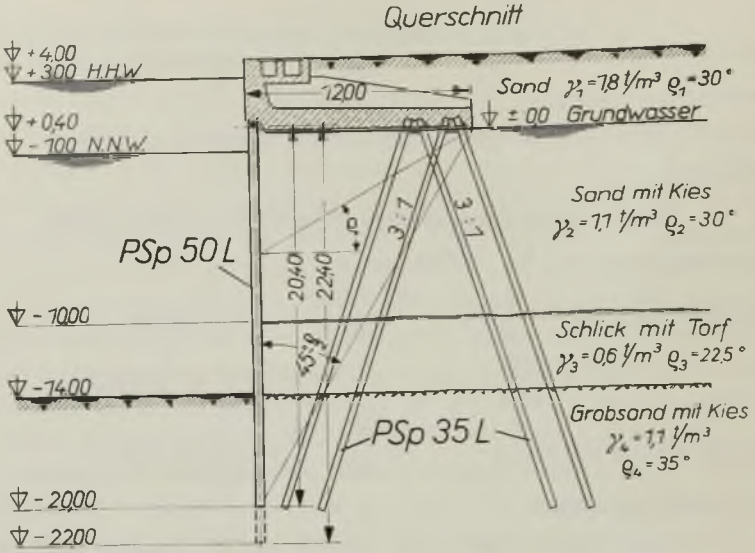
Rundstahlanker 48 mm ∅ in St 52.

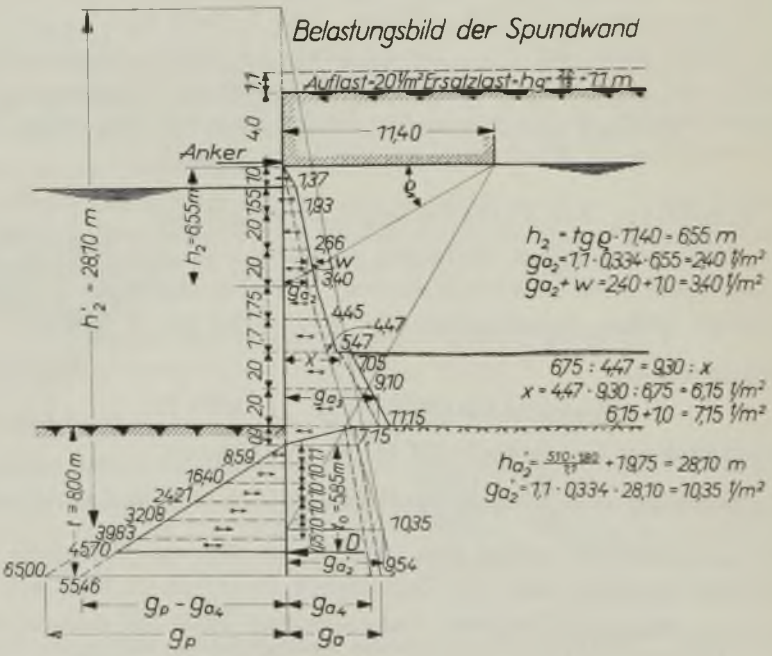
Kernquerschnitt des Gewindes M 48: $F_K = 13{,}23\ \text{cm}^2$.

Beanspruchung $\sigma = \frac{Z}{F_K} = \frac{18900}{13{,}23} = 1430\ \text{kg/cm}^2 < \sigma_{zul} = 1500\ \text{kg/cm}^2$.

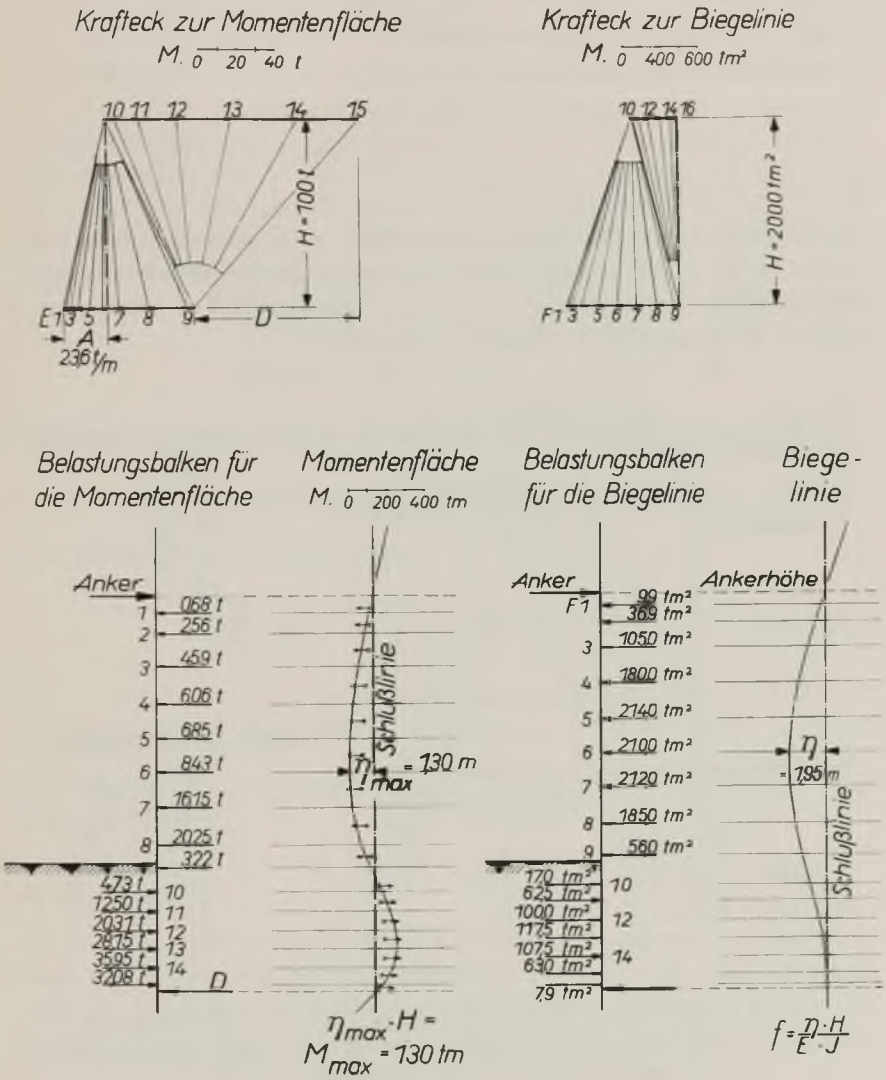
Der Ankeranschluß erfolgt gem. Abb. 22 (S. 36); die Bemessung der Einzelteile geschieht nach den Zahlentafeln 10—12 (S. 42, 43 u. 47).

Bei einem Ankerzug in doppelter Größe (s. S. 143) würde die Beanspruchung von $2 \cdot 1430 = 2860\ \text{kg/cm}^2$ noch unter der Streckgrenze von $3600\ \text{kg/cm}^2$ liegen.


Querschnitt
+4,00
+3,00 H.H.W.
+0,40
-1,00 N.N.W.
1200
Sand γ_1=1,8 t/m³ ϱ_1=30°
± 0,0 Grundwasser
Sand mit Kies
γ_2=1,1 t/m³ ϱ_2=30°
3:1
3:1
PSp 50 L
20,40
22,40
-10,00
Schlick mit Torf
γ_3=0,6 t/m³ ϱ_3=22,5°
-14,00
Grobsand mit Kies
γ_4=1,1 t/m³
ϱ_4=35°
PSp 35 L
-20,00
-22,00


Belastungsbild der Spundwand
Auflast=20 t/m² Ersatzlast=hg=11,1 m
1,1
4,0
11,40
Anker
h_2=6,55 m
h_2'=28,10 m
h_2 = tg ϱ · 11,40 = 6,55 m
g_{a_2}=1,1 · 0,334 · 6,55 = 2,40 t/m²
g_{a_2}+ w = 2,40 + 1,0 = 3,40 t/m²
6,75 : 4,47 = 9,30 : x
x = 4,47 · 9,30 : 6,75 = 6,15 t/m²
6,15 + 1,0 = 7,15 t/m²
h_{a_2}' = 5,10 · 1,82 / 0,9 + 19,75 = 28,10 m
g_{a_2}' = 1,1 · 0,334 · 28,10 = 10,35 t/m²
t = 8,00 m
$g_p - g_{a_4}$
g_{a_4}
g_p
g_a

Zeichnerische Ermittlung des Größtmomentes und der Durchbiegung der vorderen Spundwand bei einer Winkelstützmauer auf hohem Pfahlrost



III. Ermittlung der Pfahlquerschnitte

Eigengewicht der Mauer einschl. Auffüllung bis O. K. Gelände ..... $G = 116{,}8$ t/m

wie vor, jedoch mit Nutzlast ..... $G_1 = 140{,}8$ „

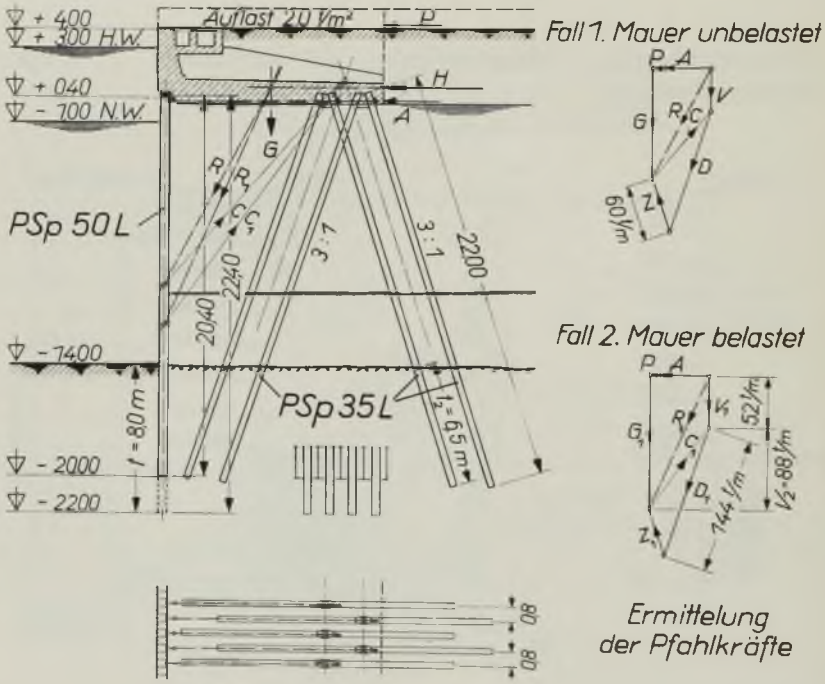
Waagerechte Kraft auf das ganze Bauwerk = oberer Auflagerkraft ohne Abschirmung wie unter a ..... $A = 52{,}0$ „

Pollerzug auf 1 m Mauerlänge (bei 10 m Verteilungsbreite)

$100\,\text{t} : 10 = P = 10{,}0$ „

$H = A + P = 52{,}0 + 10{,}0 = 62{,}0$ t/m.

Die Ermittlung der Pfahlbelastungen erfolgt nach dem Verfahren von Culmann [4], S. 167 und [30], S. 69. Es werden bei der Berechnung zwei Belastungsfälle berücksichtigt, und zwar Belastungsfall 1: Mauer unbelastet; Belastungsfall 2: Mauer voll belastet.



Belastungsfall		Gewicht der Mauer je m	Pfahlkräfte je m Wand		
		G	V	D	Z
		t	t	t	t
1.	Mauer unbelastet	116,8	45	135	**60**
2.	Mauer belastet	140,8	**52**	**144**	52

Die größte Belastung der Spundwand ergibt sich bei Fall 2 zu $V_1 = 52$ t/m. Die größte Druckkraft der Pfähle erhält man ebenfalls bei Fall 2 zu $D_1 = 144$ t/m, während die größte Zugkraft der Pfähle bei Fall 1 mit $Z = 60$ t/m auftritt. Die Pfahlböcke werden im Abstand von 0,80 m angeordnet. Die Pfahlbelastungen werden dann für den

$$\text{Druckpfahl } D' = 144 \cdot 0{,}8 = 115{,}2 \text{ t},$$

$$\text{Zugpfahl } Z' = 60 \cdot 0{,}8 = 48{,}0 \text{ t}.$$

Aus rammtechnischen Gründen werden für die Pfähle gewählt

Peiner Kastenspundbohlen PSp 35 L in St 37.

Die größte Beanspruchung beträgt

$$\sigma = \frac{D'}{F} = \frac{115200}{142} = 813 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{zul}.$$

IV. Ermittlung der Tragfähigkeiten

Die Ermittlung der Tragfähigkeiten erfolgt nach der Formel von Dörr (s. S. 146).

α) Spundwand.

Die Reibung an den landseitigen Flanschen der Spundwand oberhalb der Sohle wird zugunsten der Standsicherheit vernachlässigt, und außerdem wird die Erhöhung der Reibung an der Spundwandrückseite infolge der hohen Auflast durch den Boden außeracht gelassen. Die Rammtiefe wird zu $t = 8{,}0$ m angenommen.

Tragfähigkeit $T = \gamma \cdot a \cdot b \cdot t \cdot \varepsilon_p + \gamma \cdot \varepsilon_r \cdot \delta \cdot t^2 \cdot b$.

Für PSp 50 L ist $a = 0{,}5$ m, $b = 1{,}0$ m. Die Werte ε_p, ε_r und δ sind der Zahlentafel 21 (S. 148) entnommen für $\varrho = 35^0$, $\gamma = 1{,}1$ t/m³.

$$T = 1{,}1 \cdot 0{,}5 \cdot 1{,}0 \cdot 8{,}0 \cdot 3{,}7 + 1{,}1 \cdot 1{,}49 \cdot 0{,}47 \cdot 8{,}0^2 \cdot 1{,}0$$
$$= 16{,}3 + 49{,}3 = 65{,}6 \text{ t} > 52{,}0 \text{ t}.$$

β) Druckpfähle.

Die Rammtiefe im guten Baugrund wird zu $t_2 = 6{,}50$ m angenommen. Der über dem Grobsand liegende Torf und Sand wird nur als Auflast berücksichtigt. Die umgerechnete Höhe der Auflast ist

$$t_r = 10{,}0 + \frac{4{,}0 \cdot 0{,}6}{1{,}1} = 12{,}18 \text{ m}.$$

Tragfähigkeit $$T = \gamma \cdot a \cdot b \cdot (t_r + t_2) \cdot \varepsilon_p + \gamma \cdot \varepsilon_r \cdot \delta \cdot t_2 \cdot (t_r + {}^1\!/_2 \cdot t_2) \cdot 2 \cdot (a + b).$$

Für PSp 35 L ist $a = 0{,}35$ m, $b = 0{,}38$ m.

$$T = 1{,}1 \cdot 0{,}35 \cdot 0{,}38 \cdot (12{,}18 + 6{,}50) \cdot 3{,}70 + 1{,}1 \cdot 1{,}49 \cdot 0{,}47 \cdot 6{,}5 \cdot (12{,}18 + 3{,}25) \cdot 2 \cdot 0{,}73 = 10{,}1 + 112{,}7 = 122{,}8 \text{ t} > 115{,}2 \text{ t}.$$

γ) Zugpfähle.

Die Zugbelastung kann bei dem vorhandenen Boden mit 50 v. H. der rechnerischen Mantelreibung angesetzt werden. Die Rammtiefe im guten Baugrund wird gleichfalls zu $t_2 = 6{,}50$ m angenommen.

$$Z = 0{,}5 \cdot \gamma \cdot \varepsilon_r \cdot \delta \cdot t_2 \cdot (t_r + {}^1\!/_2 \cdot t_2) \cdot 2 \cdot (a + b)$$
$$= 0{,}5 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}49 \cdot 0{,}47 \cdot 6{,}5 \cdot (12{,}18 + 3{,}25) \cdot 2 \cdot 0{,}73 = 56{,}4 \text{ t} > 48{,}0 \text{ t}.$$

Die Pfahllasten können also bei den angenommenen Rammtiefen mit Sicherheit aufgenommen werden.

V. Übertragung der Auflasten auf Spundwand und Pfähle

Die oberen Auflagerflächen der Spundwand und der Tragpfähle sind für eine Betondruckspannung von $\sigma_{zul} = 50$ kg/cm² zu bemessen.

α) Spundwand.

Belastung $V_1 = 52$ t/m, Stahlquerschnitt $F = 564$ cm²/m (PSp 50 L), Verbreiterung durch 2 ⌊ 65 · 100 · 11 je 200 mm lang an jeder Bohle. Je m Ufermauer = 2,5 Bohlen.

Gesamtquerschnitt $\Sigma F = 564 + 2{,}5 \cdot 2 \cdot 6{,}5 \cdot 20 = 1214$ cm²/m.

Betonbeanspruchung $\sigma = \dfrac{V_1}{\Sigma F} = \dfrac{52000}{1214} = 43$ kg/cm² $< \sigma_{zul.}$

β) Pfahljoche.

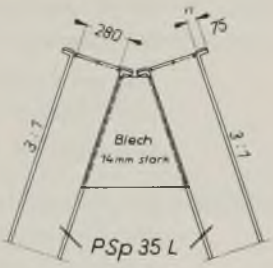
Die Druck- und Zugpfähle der Pfahljoche werden zwecks besserer Übertragung der Ankerzugkräfte schubfest miteinander verbunden. Die Auflagerfläche ist für die senkrechte Auflast des Pfahljoches zu bemessen, und zwar ist $V_2' = 88{,}0 \cdot 0{,}8 = 70{,}4$ t/Pfahljoch (s. Skizze S. 170).

Die Verbreiterung der Auflagerfläche bei den Pfählen wird durch Umklappen der entsprechend eingeschnittenen Flansche und Stege der Bohlen geschaffen. Flanschbreite 38 cm; Restbreite des Steges 28 cm.
Erforderliche Auflagerfläche senkrecht zur Kraftrichtung

$$F' = \frac{V_2'}{\sigma_B} = \frac{70400}{50} = 1408 \text{ cm}^2.$$

Die Pfähle werden jedoch senkrecht zur Neigung abgeschnitten; es ist $\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{3} = 0{,}333$ und $\alpha = 18^0\,30'$. Zur Aufnahme der lotrechten Kraft muß dann eine Fläche zur Verfügung stehen von

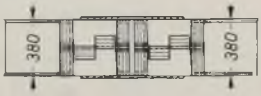
$$F_{erf} = \frac{F'}{\cos \alpha} = \frac{1408}{0{,}948} = 1485 \text{ cm}^2.$$



Umzuklappen sind

$$a = \frac{F_{erf}}{4 \cdot 38 + 2 \cdot 28} = \frac{1485}{208} = 7{,}15 \text{ cm}.$$

Gewählt wird $a \geqq 75$ mm.



Vergleich der Entwürfe

Bei einem Vergleich der beiden Entwürfe für eine Ufermauer ergeben sich die nachfolgenden Vor- und Nachteile.

Entwurf a. Spundwandbauwerk mit Verankerung

Vorteile: Kurzfristige Bauausführung, zu der wenig Fachkräfte benötigt werden.

Der Stahlbedarf ist etwa 15—20 v. H. geringer als bei Entwurf b.

Die Gesamtbaukosten sind etwa 25—30 v. H. niedriger als bei Entwurf b.

Nachteile: Es ist ein schweres Spundwandprofil mit großer Rammtiefe erforderlich, daher hohe und schwere Rammgeräte notwendig.

Versorgungsleitungen sind schlecht unterzubringen; diese Ausführung ist also für einen Ausrüstungskai nicht geeignet.

Die Poller müssen besonders gegründet werden.

Entwurf b. Stahlbetonmauer auf hohem Pfahlrost mit vorderer Spundwand

Vorteile: Bei Verwendung von Holz- oder Betonpfählen ergibt sich eine Stahlersparnis von 10—15 v. H. gegenüber Entwurf a.

Die Unterbringung von Versorgungsleitungen ist in dem Betonkörper in einfachster Weise durchführbar, sodaß sich diese Ausführungsart besonders gut für Ausrüstungskais eignet.

Die Übertragung von Kranlasten und Pollerzügen kann einwandfrei auf die Tragkonstruktion erfolgen.

Das erforderliche Spundwandprofil ist leichter und die Rammtiefe kürzer als bei Entwurf a; daher können leichtere Rammgeräte verwendet werden.

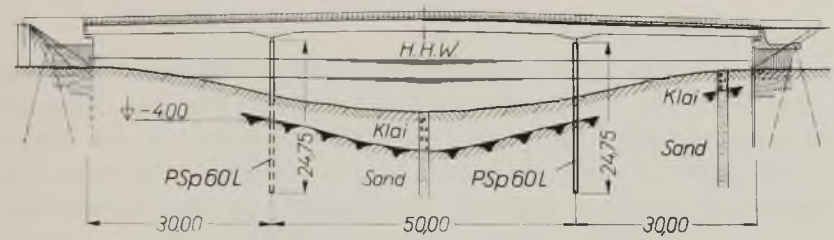
Nachteile: Die Bauzeit wird infolge der umfangreichen Betonarbeiten und der Pfahlrammung wesentlich länger als bei Entwurf a, und außerdem wird der Bedarf an Fachkräften größer.

Die Gesamtbaukosten sind etwa 25—30 v. H. höher als bei Entwurf a.

Der Stahlverbrauch ist bei der Verwendung von Stahlpfählen etwa 15—20 v. H. größer als bei Entwurf a.

2. Berechnung eines Brückenpfeilers

Für eine Reichsstraßenbrücke, Klasse I, mit den in der nachstehenden Skizze angegebenen Abmessungen sind die beiden Strompfeiler zu entwerfen und zu berechnen. Der Brückenüberbau besteht aus 6 über vier Stützen durchlaufenden Blechträgern mit einer Fahrbahnplatte in Stahlbeton. Die Widerlager sind in Verbindung mit den Dammschüttungen aus Peiner Kastenspundbohlen mit aufgesetzter Herdmauer in Beton hergestellt worden. Für die Ausbildung der Pfeiler sollen folgende Gesichtspunkte maßgebend sein: 1. Kurze Bauzeit und 2. geringe Einschränkung des Durchflußquerschnittes.



I. Beschreibung des Entwurfes

Bei Berücksichtigung der obengenannten Gesichtspunkte würde die Gründung der Brücke auf Pfeilern in Massivbauweise unzweckmäßig sein. Sie würde auch sehr teuer werden, da der tragfähige Baugrund von einer 4 m starken Schicht aus weichem Klai überdeckt ist und die Baustelle im Bereich wechselnder Wasserstände liegt. Es wird daher für die Herstellung der Pfeiler eine auf 8,80 m Breite durchlaufende Wand aus

Peiner Kastenspundbohlen PSp 60 L in St 37

gewählt. Die Lasten werden von 6 Doppelbohlen, die i. M. bis — 15,00 m heruntergerammt werden, auf den festen Baugrund übertragen. Die Zwischenbohlen sind zur Versteifung und mit Rücksicht auf etwaige Kolkungen bis — 4,50 m heruntergeführt (s. Querschnitt S. 177). Die Bohlen werden im oberen Teil mit den Schlössern fest verschweißt und die Bohlenzellen mit Beton ausgefüllt.

Die Forderungen an den Entwurf sind erfüllt, da die Rammung dieser Wände innerhalb kürzester Frist ohne umfangreiche Baustelleneinrichtung und unabhängig von den Wasserständen erfolgen kann. Der Durchfluß-

querschnitt wird nur um $2 \cdot 0{,}674 =$ rd. 1,35 m eingeschränkt. Bei einem pfahlrostgegründeten Massivpfeiler würde die Bauzeit infolge der Herstellung einer Baugrubenumschließung, deren Aussteifung, der umfangreicheren Baustelleneinrichtung und der Betonarbeiten wesentlich länger dauern, und außerdem müßten die Pfeiler eine Breite von etwa je 3,00 m haben, sodaß eine Beschränkung des Durchflußquerschnittes von 6,00 m eintreten würde.

Die Auflagerung der durchlaufenden Brückenträger ist bei der vorgeschlagenen Pfeilerausbildung im Gegensatz zur Massivgründung so vorzusehen, daß auf einem Widerlager und den beiden Pfeilern feste Lager angeordnet werden, während das andere Widerlager ein bewegliches Lager erhält.

II. Grundlagen der Berechnung

Durch die lotrechte Auflast werden die Tragbohlen der Pfeiler auf Knickung beansprucht. In der Pfeilerlängsrichtung erhalten sie eine Biegungsbeanspruchung durch das Moment aus der Windkraft. In der Pfeilerquerrichtung erfolgt entsprechend der Art der Auflagerung der Brücke eine Biegungsbeanspruchung durch die Wärmeausdehnung des Oberbaues und durch die hieraus folgende Ausmittigkeit der Auflagerkraft.

Die Aufnahme dieser Kräfte durch die Reibung und durch den Erdwiderstand im Boden sowie die Zulässigkeit der hierbei auftretenden Stahlspannungen werden im folgenden nachgewiesen.

Der Pfeiler kann zur Durchführung der Festigkeitsberechnung aus zwei starren Scheiben bestehend angenommen werden, die durch 6 elastische, biegungssteif angeschlossene Stiele miteinander verbunden sind (s. Skizze S. 179). Als obere Scheibe wird der Teil des Pfeilers über + 7,0 m betrachtet, bei dem die Schlösser mit den Bohlen verschweißt sind. Die andere starre Scheibe wird durch die Einspannung im Boden gebildet. Diese Annahmen liegen insofern auf der sicheren Seite, als der Einfluß der Füllbohlen zwischen den Tragbohlen dabei völlig vernachlässigt wird. Die Bodenbeiwerte wurden aufgrund einer Bodenuntersuchung festgestellt und sind für die einzelnen Schichten in dem Querschnitt eingetragen.

III. Nachweis der Belastungen und der Standfestigkeit

a) Lotrechte Kräfte.

Nach der Festigkeitsberechnung des Stahlüberbaues werden alle Hauptträger gleich belastet. Der Pfeiler erhält aus Eigengewicht der Brücke und Verkehrslast

einen Auflagerdruck von ..... A = 880,0 t

Dazu Eigengewicht des Pfeilers (PSp 60 L: 476 kg/m²; eine Doppelbohle und zwei Schlösser: 342 + 2 · 18,0 = 378 kg/m):

Stahlgewicht 8,8 · 13,5 · 0,476 + 6 · 10,5 · 0,378 ..... = 80,3 t

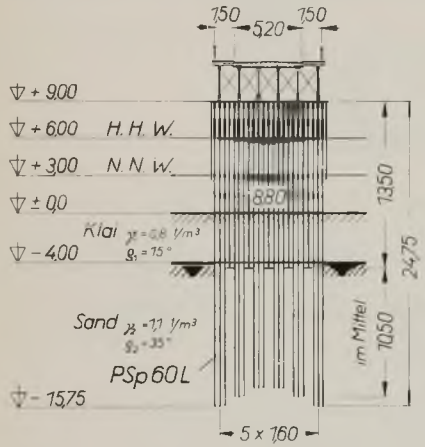
Betonfüllung (bis — 1,0) 8,8 · 10,0 · 0,6 · 2,2 ..... = 116,2 t

Erdfüllung (8,8 · 3,5 · 0,6 + 6 · 10,5 · 0,6 · 0,8) · 1,1 ..... = 53,5 t

1130,0 t

Abzüglich Auftrieb bis NNW (+ 3,0)
(6 · 10,5 · 0,6 · 0,8 + 8,8 · 7,5 · 0,6) · 1,0 ..... = 69,8 t

Gesamtlast auf 6 Tragbohlen ..... P = 1060,2 t



Die senkrechte Zusatzkraft in den Stielen errechnet sich aus der Kraftangriffshöhe der Windkraft H_W über der Einspannebene. Die Einspannebene liegt, wie unter b (S. 180) nachgewiesen, in t_0 = 4,5 m unter der Sohle.

Das Moment (M_a) aus der angreifenden Windkraft muß gleich dem Gegenmoment (M_i) aus den inneren Normalkräften in den Stielen sein (s. Abb. a der Skizze auf S. 179).

$$M_a = H_W \cdot (h + t_0) = 42{,}0 \cdot (11{,}0 + 4{,}5) = 651{,}0 \text{ tm},$$

$$M_i = 2 \cdot \Sigma \Delta V \cdot a.$$

Hierin ist ΔV die senkrechte Zusatzkraft in einem Stiel. Unter Zugrundelegung des Hookeschen Gesetzes ist

$$\Delta V_1 = \frac{\Delta V_2 \cdot 5a}{3a} = \frac{\Delta V_3 \cdot 5a}{a} = 1{,}67 \cdot \Delta V_2 + 5 \cdot \Delta V_3,$$

$$a_1 = \frac{5}{3}\, a_2 = 1{,}67\, a_2 = 5\, a_3 = 4{,}0 \text{ m},$$

$$M_i = 2 \cdot \Sigma \Delta V \cdot a = 2 \cdot \Delta V_1 \cdot a_1 \cdot \left[1 + \left(\frac{1}{1{,}67}\right)^2 + \left(\frac{1}{5}\right)^2\right] = 2 \cdot \Delta V_1 \cdot a_1 \cdot 1{,}4,$$

$$M_i = 2 \cdot \Delta V_1 \cdot 4{,}0 \cdot 1{,}4 = 11{,}2 \cdot \Delta V_1 = M_a = 651{,}0 \text{ tm},$$

$$\Delta V_1 = \frac{651{,}0}{11{,}2} = \underline{58{,}1 \text{ t}}, \quad \Delta V_3 = \frac{\Delta V_1}{5} = \underline{11{,}6 \text{ t}}.$$

Die Gesamtbelastung der Tragbohlen ist also:

Randbohle $V_{\mathrm{I}} = \frac{P}{6} + \Delta V_1 = \frac{1060}{6} + 58{,}1 = \underline{234{,}8 \text{ t}},$

Mittelbohle $V_{\mathrm{III}} = \frac{P}{6} + \Delta V_3 = 176{,}7 + 11{,}6 = \underline{188{,}3 \text{ t}}.$

Die erforderliche Rammtiefe der Tragbohlen wird aufgrund der Formel von Dörr berechnet (s. S. 146). Die Klaischicht wird nur als Auflast eingesetzt.

$$t_r = \frac{t_1 \cdot \gamma_1}{\gamma_2} = \frac{4{,}0 \cdot 0{,}8}{1{,}1} = 2{,}91 \text{ m}.$$

Die Formel von Dörr lautet für diesen Fall (s. S. 148):

$$T = \gamma \cdot a \cdot b \cdot (t_r + t_2) \cdot \varepsilon_p + \gamma \cdot c_r \cdot \delta \cdot t_2 \cdot \left(t_r + \frac{t_2}{2}\right) \cdot 2 \cdot (a + b).$$

Die Abmessungen der Doppelbohle sind $a = 0{,}60$ m, $b = 0{,}78$ m; $\varrho = 35^0$.

Randbohle. Rammtiefe im Sand angenommen zu $t_2 = \underline{11{,}75 \text{ m}},$

$$\begin{aligned} T_{\mathrm{I}} &= 1{,}1 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}78 \cdot (2{,}91 + 11{,}75) \cdot 3{,}7 \\ &\quad + 1{,}1 \cdot 1{,}49 \cdot 0{,}47 \cdot 11{,}75 \cdot \left(2{,}91 + \frac{11{,}75}{2}\right) \cdot 2 \cdot (0{,}6 + 0{,}78) \\ &= 27{,}9 + 220{,}0 = \underline{247{,}9 \text{ t}} > V_{\mathrm{I}} = \underline{234{,}8 \text{ t}}. \end{aligned}$$

Mittelbohle. Rammtiefe im Sand angenommen zu $t_2 = \underline{10{,}25 \text{ m}},$

$$\begin{aligned} T_{\mathrm{II}} &= 1{,}1 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}78 \cdot (2{,}91 + 10{,}25) \cdot 3{,}7 \\ &\quad + 1{,}1 \cdot 1{,}49 \cdot 0{,}47 \cdot 10{,}25 \cdot \left(2{,}91 + \frac{10{,}25}{2}\right) \cdot 2 \cdot (0{,}6 + 0{,}78) \\ &= 25{,}2 + 175{,}1 = \underline{200{,}3 \text{ t}} > V_{\mathrm{II}} = \underline{188{,}3 \text{ t}}. \end{aligned}$$

Bei den gewählten Rammtiefen werden die lotrechten Lasten mit Sicherheit aufgenommen.

b) Waagerechte Kraft in Pfeilerlängsrichtung.

Durch die Windkraft wird der Pfeiler in seiner Längsrichtung auf Biegung beansprucht. Dabei werden, entsprechend der unter II. gemachten Annahme, die beiden starren Scheiben gegeneinander verschoben, wobei die eingespannten Stiele eine entsprechende Verbiegung erfahren (s. Abb. b). Es kann angenommen werden, daß die Wendepunkte etwa in der Mitte

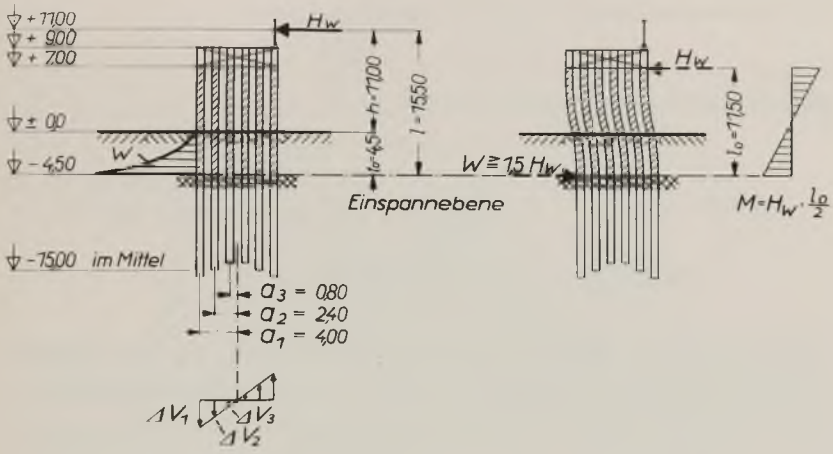


Abb. a Abb. b

zwischen den beiden Scheiben liegen. Dann beträgt das Einspannmoment in jedem Stiel

$$M = \frac{H_W}{6} \cdot \frac{l_0}{2},$$

wenn l_0 den Abstand der beiden Scheiben bezeichnet. Die Begrenzung der oberen Scheibe bildet die Linie + 7,00 m, bis zu der die Verschweißung der Bohlen mit den Schlössern durchgeführt wird. Die Tiefe der Einspannung im Boden wird so gewählt, daß oberhalb dieser Ebene ein Gesamtwiderstand von mindestens der Größe der Windkraft wachgerufen werden kann. Zur Sicherheit wird die Einspannebene aber so tief angesetzt, daß dieser Gesamtwiderstand (ΣE) die 1,5-fache Größe der Windkraft erreicht.

Der Gesamtwiderstand vor der Pfeilerwand besteht aus den 3 Einzelwirkungen

$$\Sigma E = E_p + E_s + R = 1{,}5 \cdot H_W.$$

E_p = normaler Erdwiderstand auf die Breite b
$= \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot \lambda_p \cdot t^2 \cdot b$ (s. S. 140).

E_s = Widerstand der seitlichen Verbreiterungen des Gleitkeiles
$= \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot \lambda_s \cdot \lambda_p \cdot t^3$ (s. S. 144).

R = Reibung an den beiden Pfeilerwänden
$= \gamma \cdot \lambda_a \cdot t^2 \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot d$ (s. S. 145).

Zur Auswertung werden folgende Werte eingesetzt:

$$\gamma = 0{,}8\ \mathrm{t/m^3}; \quad \varrho = 15^0; \quad \delta = 10^0$$

(Erddruckbeiwerte gemäß Zahlentafel 19, S. 141),

$$b = 0{,}67; \quad d = 8{,}80\ \mathrm{m}; \quad H_W = 42{,}0\ \mathrm{t},$$

$$\Sigma E = 1{,}5 \cdot H_W = \gamma \cdot \frac{t_0^2}{2} \cdot (\lambda_p \cdot b + \lambda_s \cdot \lambda_p \cdot t + 2 \cdot \lambda_a \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot d),$$

$$t_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}5 \cdot H_W}{\gamma \cdot (\lambda_p \cdot b + \lambda_s \cdot \lambda_p \cdot t_0 + 2 \cdot \lambda_a \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot d)}}.$$

Wird $t_0 = 4{,}50$ m eingesetzt und zur Vereinfachung mit den Erdwiderstandsbeiwerten für die Klaischicht durchgerechnet, so erhält man

$$t_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}5 \cdot 42{,}0}{0{,}8 \cdot (2{,}01 \cdot 0{,}67 + 2{,}01 \cdot 0{,}57 \cdot 4{,}5 + 2 \cdot 0{,}53 \cdot 0{,}176 \cdot 8{,}8)}}$$

$$= \sqrt{\frac{126{,}0}{6{,}53}} = 4{,}40 = \underline{\text{rd. } 4{,}50 \text{ m.}}$$

In 4,50 m Tiefe reichen also die Widerstandskräfte im Boden mit mindestens 1,5-facher Sicherheit zur Aufnahme der Windbelastung aus.

Der Abstand der beiden angenommenen Scheiben wird also

$$l_0 = h + t_0 = 7{,}0 + 4{,}5 = 11{,}5\ \mathrm{m}.$$

Das Einspannmoment ergibt sich demnach zu

$$M = \frac{H_W}{6} \cdot \frac{l_0}{2} = \frac{42{,}0}{6} \cdot \frac{11{,}5}{2} = \underline{40{,}25 \text{ tm.}}$$

c) Waagerechte Kräfte in Pfeilerquerrichtung.

Nach DIN 1072, § 4, 1, ist die Längenänderung des Oberbaues für einen Wärmeunterschied von $\pm 35^0$ zu berücksichtigen.

Die ungünstigste Belastung erfährt der dem beweglichen Auflager benachbarte Pfeiler aus der Längenänderung von Mittel- und Seitenöffnung.

$L = L_M + L_S = 50{,}0 + 30{,}0 = 80{,}0$ m. Wärmeausdehnungszahl für $1^0 = 0{,}000012$. Längenänderung $\Delta L = \pm 35 \cdot 0{,}000012 \cdot 8000 = \pm 3{,}36$ cm.

Diese Längenänderung ist gleich der Durchbiegung eines durch eine Einzellast belasteten eingespannten Stabes.

$$\Delta L = \delta = \frac{P \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot J}, \qquad P_1 = \frac{3 \cdot E \cdot J \cdot \delta}{l^3}.$$

l = Abstand des Kraftangriffspunktes (+ 9,00) bis zum Drehpunkt (Einspannpunkt) im Boden. Die Lage des Drehpunktes wird anschließend zu 4,8 m unter der Sohle bestimmt. $l = 9{,}0 + 4{,}8 = 13{,}8$ m.

Trägheitsmoment der Doppelbohle (2 Bohlen mit 4 Schlössern)

$$J_x = 2 \cdot 170200 = 340400 \text{ cm}^4.$$

$$P_1 = \frac{3 \cdot 2100000 \cdot 340400 \cdot 3{,}36}{1380 \cdot 1380 \cdot 1380} = 2740 \text{ kg},$$

$$M_1 = P_1 \cdot l = 2{,}74 \cdot 13{,}8 = 37{,}80 \text{ tm}.$$

Durch die Ausmittigkeit der lotrechten Belastung infolge der Durchbiegung des Pfeilers tritt ein Moment auf, das für jeden der 6 Stiele (Doppelbohlen) folgende Größe annimmt:

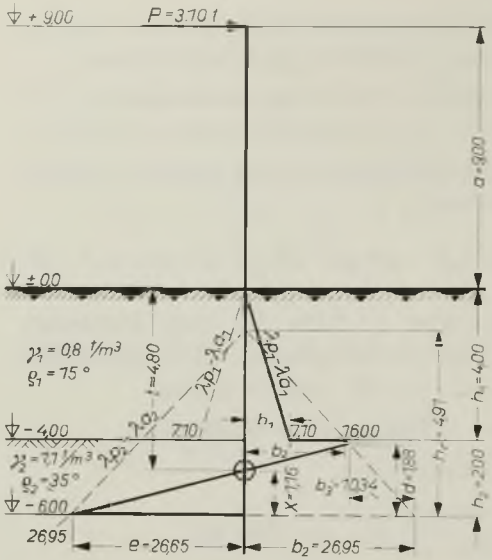
$$M_2 = \frac{A}{6} \cdot \delta = \frac{880}{6} \cdot 0{,}0336 = 4{,}93 \text{ tm}.$$

Setzt man $M_2 = P_2 \cdot l$, dann ist $P_2 = \frac{M_2}{l} = \frac{4{,}93}{13{,}8} = 0{,}36$ t.

Der Tragpfahl stellt in bezug auf die Kraftrichtung der vorgenannten Belastungen einen im Boden elastisch eingespannten Stab dar, der durch eine Einzellast von $P = P_1 + P_2 = 2{,}74 + 0{,}36 = 3{,}10$ t belastet ist. Die Einspannung wird durch den Erdwiderstand beiderseits der Bohle hervorgerufen. Unter Berücksichtigung der sich seitlich verbreiternden Gleitkeile (siehe [2], Bd. II, S. 67) kann der Erdwiderstand in der Breite des Pfahlabstandes $b = 1{,}60$ m angesetzt werden. Die Bestimmung des Drehpunktes erfolgt nach der von Krey (siehe [16], S. 207) angegebenen Weise

$$b_1 = (\lambda_{p_1} - \lambda_{a_1}) \cdot h_1 \cdot 1{,}6 = (1{,}70 - 0{,}59) \cdot 4{,}0 \cdot 1{,}6 = 7{,}10 \text{ m}^2,$$

$$h_r = h_2 + h_1 \cdot \frac{\gamma_1}{\gamma_2} = 2{,}00 + 4.00 \cdot \frac{0{,}8}{1{,}1} = 2{,}00 + 2{,}91 = 4{,}91 \text{ m},$$



$$b_2 = (\lambda_{p_2} - \lambda_{a_2}) \cdot h_r \cdot 1{,}6$$
$$= (3{,}70 - 0{,}27) \cdot 4.91 \cdot 1{,}6$$
$$= 26{,}95 \text{ m}^2,$$

$$b_2' = (\lambda_{p_2} - \lambda_{a_2}) \cdot (h_r - h_2) \cdot 1{,}6$$
$$= (3{,}70 - 0{,}27) \cdot 2{,}91 \cdot 1{,}6$$
$$= 16{,}00 \text{ m}^2.$$

Nach den Gleichgewichtsbedingungen ist

$$P - \frac{\gamma_1 \cdot b_1 \cdot h_1}{2} - \frac{\gamma_2 \cdot (b_2' + b_2) \cdot h_2}{2} + \frac{\gamma_2 \cdot (b_2 + e) \cdot d}{2} = 0,$$

$$P \cdot (a + h_1 + h_2) - \frac{\gamma_1 \cdot b_1 \cdot h_1}{2} \cdot \left(h_2 + \frac{h_1}{3}\right) - \frac{\gamma_2 \cdot (b_2' + b_2) \cdot h_2}{2} \cdot s + \frac{\gamma_2 \cdot (b_2 + e) \cdot d^2}{6} = 0,$$

$$3{,}10 - \frac{0{,}8 \cdot 7{,}1 \cdot 4{,}0}{2} - \frac{1{,}1 \cdot (16{,}0 + 26{,}95) \cdot 3{,}0}{2} + \frac{1{,}1 \cdot (32{,}45 + e) \cdot d}{2} = 0,$$

$$3{,}10 \cdot (9{,}0 + 4{,}0 + 2{,}0) - \frac{0{,}8 \cdot 7{,}1 \cdot 4{,}0}{2} \cdot \left(2{,}0 + \frac{4{,}0}{3}\right) - \frac{1{,}1 \cdot (16{,}0 + 26{,}95) \cdot 2{,}0}{2} \cdot 0{,}92 + \frac{1{,}1 \cdot (26{,}95 + e) \cdot d^2}{6} = 0.$$

$$3{,}10 - 11{,}36 - 47{,}25 + 14{,}82\, d + 0{,}55\, ed = 0,$$
$$46{,}50 - 37{,}83 - 43.46 + 4{,}95\, d^2 + 0{,}183\, ed^2 = 0.$$

$$0{,}55\, ed + 14{,}82\, d = 55{,}51, \qquad e = \frac{100{,}92}{d} - 26.95,$$
$$0{,}183\, ed^2 + 4{,}95\, d^2 = 34{,}79.$$

$$0{,}183\, d^2 \left(\frac{100{,}92}{d} - 26{,}95\right) + 4{,}95\, d^2 = 34.79,$$

$$18.47\, d - 4{,}95\, d^2 + 4.95\, d^2 = 34.79, \qquad d = \frac{34{,}79}{18{,}47} = 1.88 \text{ m}.$$

$$e = \frac{100{,}92}{1{,}88} - 26{,}95 = 53{,}60 - 26{,}95 = 26{,}65 \text{ m}^2.$$

$$b_3' = d \cdot (\lambda_p - \lambda_a) \cdot 1{,}6 = 1{,}88 \cdot (3{,}7 - 0{,}27) \cdot 1{,}6 = 10{,}34 \text{ m}^2,$$

$$x = \frac{d \cdot e}{e + (b_2 - b_3')} = \frac{1{,}88 \cdot 26{,}65}{26{,}65 + (26{,}95 - 10{,}34)} = 1{,}16 \text{ m}.$$

Der Drehpunkt liegt also $t = h - x = 6{,}00 - 1{,}16 = 4{,}84 =$ rd. 4,8 m unter der Sohle. Für den Erdwiderstand wurden beiderseits nur die Grenzwerte ohne Wandreibung eingesetzt.

IV. Nachweis der Stahlbeanspruchungen

a) Statische Werte des Tragpfahlquerschnittes.

Infolge der Verschweißung und der Betonfüllung in den Zellen können für die Stiele (Tragpfähle) die in der nebenstehenden Skizze dargestellten Bohlen und Schlösser als einheitlicher Querschnitt in die Rechnung eingeführt werden.

Nach den Zahlentafeln 6 (S. 19) bzw. 4 (S. 17) ist für Profil PSp 60 L

$$F = 436 + 4 \cdot 23{,}0 = 528 \text{ cm}^2 \text{ (Doppelbohle und 4 Schlösser)},$$

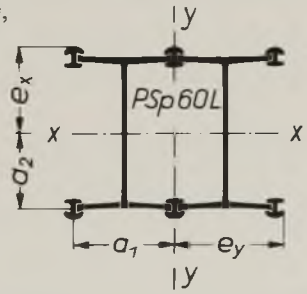
$$J_y = J_y' \text{ (Doppelbohle)} + 4 \cdot F \cdot a_1^2 \text{ (Randschlösser)}$$
$$= 184\,400 + 4 \cdot 23{,}0 \cdot 39{,}8^2 = 330\,128 \text{ cm}^4,$$

$$i_y = \sqrt{\frac{J_y}{F}} = \sqrt{\frac{330\,128}{528}} = 25 \text{ cm},$$

$$W_y = \frac{J_y}{e_y} = \frac{330\,128}{43{,}1} = 7660 \text{ cm}^3.$$

$$J_x = J_x' + 4 \cdot F \cdot a_2^2 = 297\,700$$
$$+ 4 \cdot 23{,}0 \cdot 30{,}0^2 = 380\,500 \text{ cm}^4,$$

$$W_x = \frac{J_x}{e_x} = \frac{380\,500}{33{,}7} = 11\,290 \text{ cm}^3.$$



Maße a u. e s. S. 7 u. 13

Unter — 4,50 m fehlen 2 Randschlösser, dann ist $W_x = 2 \cdot$ (1 Bohle und 2 Schlösser) $= 2 \cdot 5070 = 10\,140$ cm³.

b) Lotrechte Kräfte.

Der äußere Tragpfahl erfährt eine Belastung von

$$V_1 = \frac{A}{6} + \Delta V_1 = \frac{880}{6} + 58{,}1 = 204{,}8 \text{ t}.$$

Der Tragpfahl wird als unten im Boden eingespannter und oben gelenkig geführter Stab betrachtet. Knickfall 3 auf S. 154. Die Knicklänge reicht vom U. K. Riegel (+ 7,0) bis zum Einspannpunkt (− 4,5), s. S. 179;

$$l = 7{,}0 + 4{,}5 = 11{,}50 \text{ m}.$$

$$s_K = \tfrac{3}{4} \cdot l = 0{,}75 \cdot 1150 = 863 \text{ cm},$$

$$i_y = 25 \text{ cm}, \quad F = 528 \text{ cm}^2, \quad \lambda = \frac{s_K}{i} = \frac{863}{25} = 35, \quad \omega = 1{,}08.$$

Beanspruchung $\sigma_1 = \dfrac{V_1 \cdot \omega}{F} = \dfrac{204\,800 \cdot 1{,}08}{528} = \underline{419 \text{ kg/cm}^2}.$

c) Waagerechte Kraft in Pfeilerlängsrichtung.

Das Größtmoment infolge der Windkraft beträgt $M_W = \pm 40{,}25$ tm für den Tragpfahl in + 7,00 m bzw. in − 4,50 m.

Bei dem vorstehend ermittelten Widerstandsmoment W_x wird die Beanspruchung $\sigma_2 = \dfrac{M_W}{W_y} = \dfrac{4\,025\,000}{7660} = \underline{526 \text{ kg cm}^2}.$

d) Waagerechte Kraft in Pfeilerquerrichtung.

Das Größtmoment in Pfeilerquerrichtung beträgt in Höhe − 4.80 m:

$$M_{-4{,}80} = M_1 + M_2 = 37{,}80 + 4{,}93 = 42{,}73 \text{ tm},$$

Widerstandsmoment der Doppelbohle in − 4,80 m: $W_x = 10\,140 \text{ cm}^3$.

Beanspruchung $\sigma_3 = \dfrac{M}{W_x} = \dfrac{4\,273\,000}{10\,140} = \underline{421 \text{ kg cm}^2}.$

Das Biegungsmoment in − 4,50 m errechnet sich zu

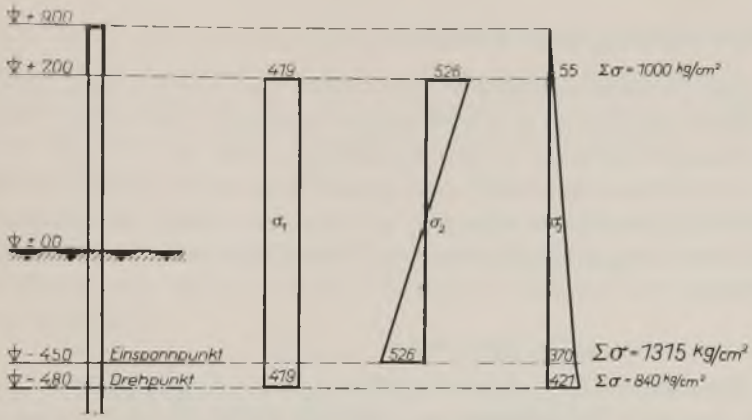
$$M_{-4{,}50} = 42{,}73 \cdot \frac{13{,}5}{13{,}8} = 41{,}8 \text{ tm},$$

Widerstandsmoment des Querschnittes in − 4,50 m: $W_x = 11\,290 \text{ cm}^3$,

Beanspruchung $\sigma_3' = \dfrac{M'}{W_x} = \dfrac{4\,180\,000}{11\,290} = \underline{370 \text{ kg cm}^2}.$

e) Gesamtbeanspruchung.

Die Gesamtbeanspruchungen werden für die verschiedenen untersuchten Querschnitte (+ 7,00 und − 4,80) aufgrund algebraischer Addition ermittelt. Ihre Verteilung über die Stablänge geht aus der nachstehenden Skizze hervor. Darnach ergibt sich als Größtbeanspruchung



$$\sigma_{max} = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma'_3 = 419 + 526 + 370 = \underline{1315 \text{ kg cm}^2}$$

$$< \sigma_{zul} = 1400 \text{ kg/cm}^2.$$

Tatsächlich werden jedoch geringere Beanspruchungen auftreten, da die Versteifung durch die Zwischenbohlen nicht berücksichtigt worden ist.

V. Ermittlung der Schweißnahtlänge

Die Bohlen der Stiele (Tragbohlen) sind entsprechend der Berechnung schubfest miteinander zu verbinden. Daher sind die Bohlen und Schlösser zu verschweißen. Die Schweißnaht muß die gesamte Schubkraft (T) in einem Stiel aufnehmen.

$$T = \tau \cdot h \cdot b = \frac{Q \cdot S \cdot h \cdot b}{J_y \cdot b} = a \cdot l \cdot \varrho_{zul}, \qquad l = \frac{Q \cdot S \cdot h}{J_y \cdot a \cdot \varrho_{zul}}.$$

Darin ist l = Länge der Schweißnaht, $Q = 7000$ kg, $S = F \cdot \frac{a_1}{2}$ (Einzelbohle) $+ 2\,F \cdot a_1$ (Schlösser) $= 195 \cdot 19{,}9 + 2 \cdot 23{,}0 \cdot 39{,}8 = 3880 + 1830 = 5710$ cm³, $h = 11{,}0 + 4{,}5 = 15{,}5$ m $= 1550$ cm, $J_y = 330128$ cm⁴ (s. IV a, S. 183), a = Schweißnahtstärke (Kehlnaht) = 7 mm = 0,7 cm, $\varrho_{zul} = 0{,}65 \cdot \sigma_{zul} = 0{,}65 \cdot 1400 = 910$ kg/cm²,

$$l = \frac{7000 \cdot 5710 \cdot 1550}{330128 \cdot 0{,}7 \cdot 910} = 295 \text{ cm}.$$

Die Schlösser bei den Tragbohlen werden beiderseits auf je 1,50 m Länge mit den Bohlen verschweißt. Die übrigen Schlösser werden 0,50 m lang oberhalb + 7,00 m verschweißt; außerdem erhalten alle Schlösser am Kopf des Pfeilers je 0,50 m lange Schweißnähte.

3. Berechnung eines Dalbens

Für eine Kohlenumschlagstelle sind Dalben zum Anlegen und Anfahren von 3000-t-Schiffen zu entwerfen und zu berechnen. Die mittlere Wassertiefe beträgt 10,0 m, O. K. Dalben soll 2,0 m über M. W. liegen. H. W. bzw. N. W. liegen jeweils 1,5 m über bzw. unter M. W. Die Dalben sind mit drei Festmachevorrichtungen zu versehen, sodaß das Anlegen bei jedem Wasserstand möglich ist. Der Untergrund besteht aus festem Sand und Kies.

I. Beschreibung des Entwurfes

Mit Rücksicht auf die bedeutend größere Lebensdauer und größere Elastizität gegenüber Holzausführungen wird der Dalben in Stahl vorgesehen. Es werden gewählt:

6 Peiner Kastenspundbohlen PSp 40 S in St Sp 50/60,

die zu zwei Wandreihen von je 3 Bohlen zusammengezogen sind. Die vier äußeren Flansche sind über N. W. durch aufgezogene Schlösser geschützt. Die beiden mittleren Bohlen sind auf beiden Seiten nur bis zur N. W.-Linie heraufgeführt. Die Außenbohlen werden über N. W. durch 3 Zwischenstücke von 0,70 m Länge zusammengehalten. Auf diesen Zwischenstücken sind auf der Anfahrseite die Befestigungspoller angebracht. Die Zwischenstücke werden nach dem Rammen der Bohlen in die durchgehenden Schlösser der Außenbohlen eingeschoben und dann verschweißt. Seitlich der Poller werden die vorderen Bohlenflansche etwas ausgeschnitten, um die für das Überwerfen der Trossen nötige Öffnungsbreite zu erhalten.
Durch die Wahl eines möglichst geringen Querschnittes, der hoch beansprucht werden kann, wird die erforderliche Elastizität erhöht. Aus diesem Grunde ist die Verwendung hochwertigen Stahles — St Sp 50/60 — vorgeschlagen. Das entspricht auch gleichzeitig den Richtlinien zur Stahleinsparung.

II. Berechnungsgrundlagen

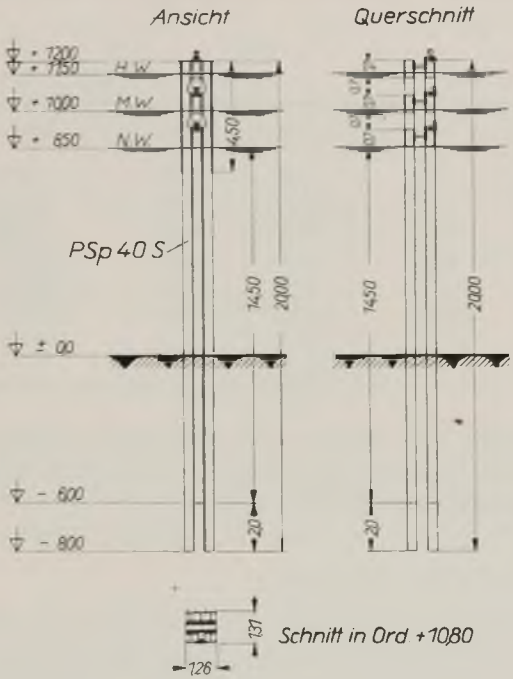
a) Belastungen.

Die Berechnung des Dalbens erstreckt sich auf die beiden folgenden Belastungen:

1. Belastung durch den Trossenzug, der entsprechend der Bruchlast der zum Anlegen benutzten Hanftrosse von 254 mm Umfang (s. Zahlen-

tafel 24, S. 156) eine Höchstgrenze von 36 t erreichen kann. Zur Ermittlung der ungünstigsten Beanspruchung werden drei Belastungsfälle untersucht, und zwar Angriff des Trossenzuges unter einem Winkel von 90°, 60° und 45° zur Längsrichtung der Dalbenreihen.

2. Belastung durch den Schiffsstoß des 3000-t-Schiffes bei einer angenommenen Geschwindigkeit von 0,25 m/sec senkrecht zur Dalbenlängsrichtung. Ein Schiffsstoß in anderer Richtung auf den Dalben (senkrecht zur y-Achse) ist bei der Lage des Dalbens zum Fahrwasser nicht möglich.



b) Erdwiderstand.

Die Erdwiderstandskräfte werden nach den Formeln auf S. 144 für einen Reibungswinkel von $\varrho = 30^0$ berechnet.

Das Raumgewicht wird bei der Berechnung der Dauerbelastung aus dem Trossenzug wie üblich mit Auftrieb zu $\gamma_0 = 1{,}1$ t/m³ eingesetzt. Bei der Berechnung des Schiffsstoßes wird dagegen ohne Auftrieb, also mit

$\gamma_1 = 1{,}8$ t/m³, gerechnet, da bei der plötzlich auftretenden Belastung das Wasser aus den Hohlräumen des Sandes nicht herausgedrückt werden kann, s. [2], Bd. II, S. 68.

Die Grundlinien der Belastungsfigur betragen:

$$g = \gamma \cdot \lambda_p \cdot t \cdot b + 1{,}5 \cdot \gamma \cdot \lambda_p \cdot \lambda_s \cdot t^2,$$

$\lambda_p = 3{,}00$ $\quad 1{,}5 \cdot \lambda_p \cdot \lambda_s = 2{,}70$, nach Zahlentafel 20 (S. 145).

Dalbenbreite b bzw. d im Erdboden = rd. 1,20 m.

t	Mit Auftrieb $\gamma_0 = 1{,}1$ t/m³			Ohne Auftrieb $\gamma_1 = 1{,}8$ t/m³		
	$\gamma_0 \cdot \lambda_p \cdot t \cdot b$	$1{,}5 \cdot \gamma_0 \cdot \lambda_p \cdot \lambda_s \cdot t^2$	g	$\gamma_1 \cdot \lambda_p \cdot t \cdot b$	$1{,}5 \cdot \gamma_1 \cdot \lambda_p \cdot \lambda_s \cdot t^2$	g
m	t/m	t/m	t/m	t/m	t/m	t/m
1,0	3,96	2,97	6,93	6,48	4,86	11,34
2,0	7,92	11,88	19,80	12,96	19,44	32,40
3,0	11,88	26,73	38,61	19,44	43,74	63,18
4,0	15,84	47,52	63,36	25,92	77,76	103,68
5,0	19,80	74,25	94,05	32,40	121,50	153,90
6,0	23,76	106,92	130,68	38,88	174,96	213,84
7,0	27,72	145,53	173,25	45,36	238,14	283,50

Das Belastungsbild wird zwischen den errechneten Werten zur Vereinfachung geradlinig begrenzt angenommen, und die Zwischenwerte werden geradlinig eingeschaltet (s. S. 190 u. 192).

c) Zulässige Beanspruchungen.

Die Belastung durch den Trossenzug stellt zwar eine Dauerlast dar, doch kann hier die Streckgrenze als zulässige Beanspruchung eingesetzt werden, weil die Zugkraft, welche die Bruchlast des Seiles darstellt, nicht überschritten werden kann.

Bei der Belastung des Dalbens durch Schiffsstoß kann wegen der Plötzlichkeit und der kurzen Dauer der Krafteinwirkung die volle Aufnahmefähigkeit des Stahles ausgenutzt werden. Es wird also auch hier die Streckgrenze als zulässige Beanspruchung eingesetzt.

$$\sigma_{zul} = \sigma_{Str} = 3600 \text{ kg/cm}^2.$$

d) Statische Werte des Querschnittes.

Gewählter Dalbenquerschnitt:

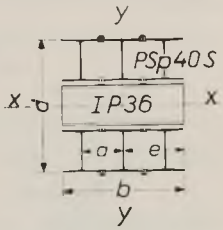
6 PSp 40 S mit 8 Schlössern III.

Die statischen Werte werden in bezug auf die x-Achse nach den Zahlentafeln 4 und 6 (S. 17 und 19) für 2 Bohlen mit 2 Schlössern und 2 Doppelbohlen mit je 2 Schlössern ermittelt und in bezug auf die y-Achse nach den Zahlentafeln 3 und 5 (S. 16 und 18) für 2 Bohlen mit 4 Schlössern und 4 Einzelbohlen ohne Schlösser.

$$F = 2 \cdot (225 + 404) = 1258 \text{ cm}^2,$$

$$J_x = 2 \cdot (76100 + 132400) = 417000 \text{ cm}^4,$$

$$W_x = 2 \cdot (3200 + 5560) = 17520 \text{ cm}^3.$$



Maße a u. e s. S. 5

Bei schubfester Verbindung infolge Verschweißung ist

$$J_y = 2 \cdot [J_{y_4} + 2 \cdot (J_{y_0} + F_0 \cdot a^2)]$$
$$= 2 \cdot [53720 + 2 \cdot (16650 + 179 \cdot 39{,}8^2)]$$
$$= 1308212 \text{ cm}^4,$$

$$W_y = \frac{J_y}{e} = \frac{1308212}{58{,}8} = 22248 \text{ cm}^3.$$

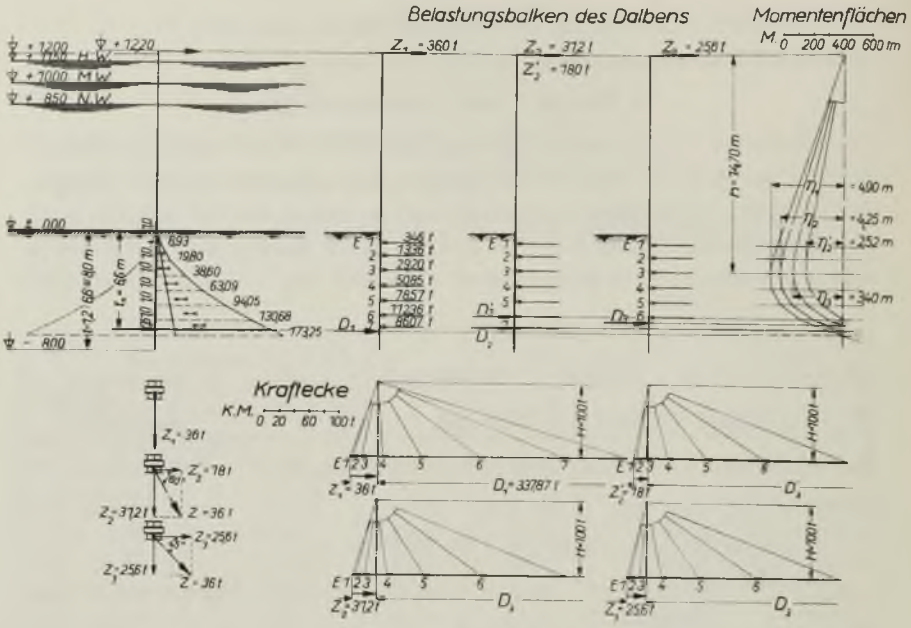
III. Festigkeitsberechnung des Dalbens

a) Belastung durch Trossenzug.

Die größte Beanspruchung erfährt der Dalben, wenn der Trossenzug an dem höchsten Punkt angreift, d. i. an dem obersten Poller in Höhe + 12,20 m.

Die Ermittlung der Größtmomente für die drei Belastungsfälle erfolgt zeichnerisch nach dem von Blum [31] und [2], Bd. II, S. 67 ff., angegebenen Verfahren für einen im Boden eingespannten, mit einer Einzellast belasteten Stab. Aus der Zeichnung S. 190 ergeben sich folgende Größtmomente:

Fall 1: $M_1 = \eta_1 \cdot H = 4{,}90 \cdot 100 = 490$ tm,
„ 2: $M_2 = \eta_2 \cdot H = 4{,}25 \cdot 100 = 425$ „,
„ 2': $M_2' = \eta_2' \cdot H = 2{,}52 \cdot 100 = 252$ „,
„ 3: $M_3 = \eta_3 \cdot H = 3{,}40 \cdot 100 = 340$ „.



Die Beanspruchungen errechnen sich zu

$$\sigma_1 = \frac{M_1}{W_x} = \frac{49\,000\,000}{17\,520} = 2800 \text{ kg/cm}^2,$$

$$\sigma_2 = \frac{M_2}{W_x} + \frac{M_2'}{W_y} = \frac{42\,500\,000}{17\,520} + \frac{25\,200\,000}{22\,248} = \underline{3550 \text{ kg/cm}^2},$$

$$\sigma_3 = \frac{M_3}{W_x} + \frac{M_3}{W_y} = \frac{34\,000\,000}{17\,520} + \frac{34\,000\,000}{22\,248} = 3470 \text{ kg/cm}^2.$$

Die zulässige Beanspruchung von $\sigma = 3600$ kg/cm² wird nicht überschritten.

Die größte Rammtiefe wird für Fall 1 nach Blum

$$t = 1{,}2 \cdot t_0 = 1{,}2 \cdot 6{,}60 \approx 8{,}00 \text{ m}.$$

Beim Abbremsen des 3000-t-Schiffes ist die lebendige Kraft auf dem Bremsweg zu vernichten; daher ist $\frac{m \cdot v^2}{2} = Z \cdot s$ (s. S. 155). Wird der Bremsweg zu $s = 10$ m angenommen, dann kann das 3000-t-Schiff bei

einem Trossenzug von $Z_{max} = 36{,}0$ t mit einer Anfahrgeschwindigkeit von

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot Z \cdot s}{m}}$$

abgebremst werden.

$$m = \frac{G}{g} = \frac{3\,000\,000}{1000} = 3000 \cdot \frac{\text{kg} \cdot \text{sec}^2}{\text{cm}},$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 36\,000 \cdot 1000}{3000}} = 155 \text{ cm/sec} = 1{,}55 \text{ m/sec}.$$

Da die Anfahrgeschwindigkeit stets geringer als 1,55 m/sec sein wird, besteht keine Gefahr, daß die eingesetzte Zugkraft und damit die Trossenfestigkeit überschritten wird. Der Dalben ist somit ausreichend bemessen.

b) Belastung durch Schiffsstoß.

Bei der Belastung durch Schiffsstoß werden die beiden Grenzfälle untersucht, und zwar Angriff des Stoßes 1. in der N. W.-Linie + 8,50 m und 2. in der H. W.-Linie + 11,50 m.

Unter der Annahme, daß die Einspannung, d. h. das größte Moment, 2,5 m unter der Sohle liegt, wird $h_1 = 8{,}5 + 2{,}5 = 11{,}0$ m und $h_2 = 11{,}5 + 2{,}5 = 14{,}0$ m. Nach den Angaben auf S. 158 wird dann die Stoßkraft

$$P = \sqrt{\frac{m \cdot v^2 \cdot 3 \cdot E \cdot J_x}{h^3}}$$

$$m = 3000 \cdot \frac{\text{kg} \cdot \text{sec}^2}{\text{cm}}; \qquad v = 25 \text{ cm/sec};$$

$$P_1 = \sqrt{\frac{3000 \cdot 25 \cdot 25 \cdot 3 \cdot 2\,100\,000 \cdot 417\,000}{1100 \cdot 1100 \cdot 1100}} = 60\,800 \text{ kg} = \underline{\text{rd. } 61{,}0 \text{ t.}}$$

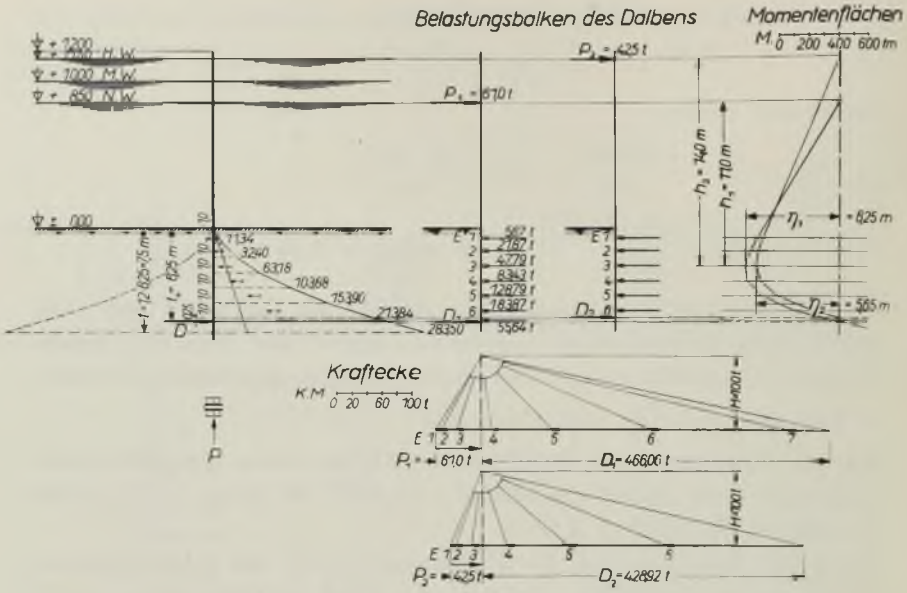
$$P_2 = \sqrt{\frac{3000 \cdot 25 \cdot 25 \cdot 3 \cdot 2\,100\,000 \cdot 417\,000}{1400 \cdot 1400 \cdot 1400}} = 42\,300 \text{ kg} = \underline{\text{rd. } 42{,}5 \text{ t.}}$$

Mit diesen Kräften wird die Ermittlung des Größtmomentes in gleicher Weise wie beim Trossenzug durchgeführt. Es ergibt sich zeichnerisch auf S. 192 $M_{max} = 625$ tm bei einem Schiffsstoß in + 8,50 m.

Die Beanspruchung wird dann

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{62\,500\,000}{17\,250} = 3625 \text{ kg/cm}^2 \approx \sigma_{zul}.$$

Das Größtmoment liegt, wie angenommen, in $h_1 = 11{,}00$ m unter der Stoßstelle.



Die Durchbiegungen errechnen sich zu

$$d_1 = \frac{P_1 \cdot h_1^3}{3 \cdot E \cdot J_x} = \frac{61\,000 \cdot 1100 \cdot 1100 \cdot 1100}{3 \cdot 2\,100\,000 \cdot 417\,000} = 31{,}0 \text{ cm},$$

$$d_2 = \frac{P_2 \cdot h_2^3}{3 \cdot E \cdot J_x} = \frac{42\,500 \cdot 1400 \cdot 1400 \cdot 1400}{3 \cdot 2\,100\,000 \cdot 417\,000} = 43{,}8 \text{ cm}.$$

Die Rammtiefe ergibt sich zu $t = 1{,}2 \cdot t_0 = 1{,}2 \cdot 6{,}25 = 7{,}50$ m, mithin kürzer als bei der Belastung durch Trossenzug.

Pfahllängen

Die Pfahllänge der äußeren Bohlen wird also zu $12{,}0 + 8{,}0 = 20{,}0$ m vorgesehen. Für die beiden mittleren Bohlen reicht die Rammtiefe mit t_0 aus, da sich der Boden zwischen den Außenbohlen verspannt und somit der gleiche Erdwiderstand wie bei voller Wand hervorgerufen wird.

IV. Ermittlung der Schweißnahtlänge

Die Verschweißung der Schlösser mit den Bohlen muß die gesamte Schubkraft (T) vom Angriffspunkt der waagerechten Last (+ 12,20 m) bis zum Einspannpunkt (— 2,50 m) aufnehmen.

$$T = \tau \cdot h \cdot b = \frac{Q \cdot S \cdot h \cdot b}{J_y \cdot b} = a \cdot l \cdot \varrho_{zul},$$

$$l = \frac{Q \cdot S \cdot h}{J_y \cdot a \cdot \varrho_{zul}}.$$

Darin ist l = Länge der Schweißnaht, $Q_{max} = Z = 36000$ kg,
$S = 2 \cdot F \cdot a_x = 2 \cdot 179 \cdot 20 = 7160$ cm³, $h = 14{,}70$ m $= 1470$ cm,
$J_y = 1308212$ cm⁴, a = Schweißnahtstärke (Kehlnaht) = 7 mm = 0,7 cm,
$\varrho_{zul} = 0{,}65 \cdot \sigma_{zul} = 0{,}65 \cdot 2100 = 1365$ kg/cm²,

$$l = \frac{36000 \cdot 7160 \cdot 1470}{1308212 \cdot 0{,}7 \cdot 1365} = 304 \text{ cm}.$$

Die Schlösser werden auf beiden Seiten des Dalbens zur Sicherheit mit Rücksicht auf die Baustellenausführung jeweils $3 \cdot 0{,}70 = 2{,}10$ m mit den Bohlen verschweißt, sodaß insgesamt 420 cm Schweißnaht zur Aufnahme der Schubkräfte zur Verfügung stehen.

C. Schrifttum
über die Berechnung von Spundwandbauten

Vorbemerkung

Das Schrifttumverzeichnis ist umfangreich gehalten, um dem Entwurfsingenieur ausreichende Gelegenheit zu geben, sich über die Grundlagen und Sonderfragen der Spundwandberechnungen zu unterrichten. Eine Gewähr für Vollständigkeit ist jedoch damit nicht gegeben; weitere Hinweise, besonders bezüglich der älteren Veröffentlichungen, enthalten die Schrifttumsverzeichnisse der angeführten Schriften. Durch die Aufnahme in das Verzeichnis ist andererseits auch kein Urteil über die Güte der Arbeit abgegeben; es sind auch Arbeiten aufgenommen, deren Auffassung wir nicht vertreten.

Folgende Abkürzungen werden gebraucht:

Ernst:	Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin.
Springer:	Springer-Verlag, Berlin u. Wien.
Bautechn.:	Zeitschrift „Die Bautechnik", Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin
Bauing.:	Zeitschrift „Der Bauingenieur", Springer-Verlag, Berlin.

1. Allgemeine Lehrbücher

[1] Franzius, O., Der Grundbau, 1927, Springer.

[2] Brennecke-Lohmeyer, Der Grundbau, 4. Aufl., Bd. I—III, 1930, Ernst.

[3] Schoklitsch, A., Der Grundbau, 1930, Springer.

[4] Agatz, A., Der Kampf des Ingenieurs gegen Erde und Wasser, 1936, Springer.

2. Bodenuntersuchungen

[5] Deutsche Gesellschaft für Bauwesen, Richtlinien für bautechnische Bodenuntersuchungen, 1937, Beuth-Verlag, Berlin.

[6] Loos, W., Praktische Anwendung von Baugrunduntersuchungen, 1937, Springer.

[7] Kögler-Scheidig, Baugrund und Bauwerk, 1939, Ernst.

[8] Preß, H., Der Boden als Baugrund, 1939, Ernst.

[9] DIN 4021, Grundsätze für die Entnahme von Bodenproben.

[10] DIN 4022, Einheitliche Bezeichnung der Bodenarten und Aufstellung der Schichtenverzeichnisse.

[11] Tiedemann, B., Über Bodenuntersuchungen bei Entwurf und Ausführung von Ingenieurbauten, Bautechn. 1941, S. 40.

3. Erddruckberechnungen

[12] Streck, A., Die Grundwerte der Erddruckberechnung, Bautechn. 1926, S. 431.

[13] Streck, A., Beitrag zur Frage des passiven Erddruckes, Bauing. 1926, S. 1 u. 32.

[14] Jaeger, E., Erdwiderstand unter dem Einfluß von Seitenwänden, 1931, Ernst.

[15] Buchholz, W., Erdwiderstand auf Ankerplatten. Jahrb. der Hafenbautechn. Ges. 1931, S. 300, Springer.

[16] Krey, H., Erddruck, Erdwiderstand und Tragfähigkeit des Baugrundes, 1936, Ernst.

[17] Ohde, J., Zur Theorie des Erddruckes unter besonderer Berücksichtigung der Erddruckverteilung, Bautechn. 1938, S. 150ff.

[18] Hertwig, A., Bemerkungen über neuere Erddruckuntersuchungen, Heft 7 der Schriftenreihe der Degebo, 1939, Springer.

[19] Fellenius, W., Erdstatische Berechnungen mit Reibung und Kohäsion, 2. Aufl., 1940, Ernst.

[20] Mecke, W., Der Erdangriff an einer im unteren Teil nachgiebigen Wand (Ein Beitrag zur Frage der Erddruckverteilung), Deutsche Wasserwirtschaft 1940, S. 49.

[21] Rendulic, L., Gleitflächen, Prüfflächen und Erddruck, Bautechn. 1940, S. 146 u. 624.

[22] Schroeter, A., Der Coulombsche Erddruck aus Hinterfüllung und bei Auflasten, insbesondere Kurzstreckenlasten. Das Einflußlinien-Verfahren bei Erddruck, Bautechn. 1940, S. 505.

[23] Klenner, C., Versuche über die Verteilung des Erddruckes über die Wände ausgesteifter Baugruben, Bautechn. 1941, S. 316.

4. Tragfähigkeit

[24] Dörr, H., Die Tragfähigkeit der Pfähle, 1922, Ernst.

[25] Schenck, W., Zur Frage der Tragfähigkeit von Rammpfählen, Bautechn. 1938, S. 731.

[26] Müller, R., Modellversuche über das Zusammenwirken von Mantelreibung, Spitzenwiderstand und Tragfähigkeit von Pfählen, Heft 7 der Schriftenreihe der Degebo, 1939, Springer.

[27] DIN 1054, Richtlinien für die zulässige Belastung des Baugrundes und der Pfahlgründungen.

[28] Wedler, Neue Richtlinien für die zulässige Belastung des Baugrundes und der Pfahlgründungen, Zentralblatt der Bauverw. 1940, Heft 39 u. 40.

[29] Preß, H., Druckverteilung am Einzelpfahl und Einfluß benachbarter Pfähle, Bautechn. 1941, S. 45.

5. Berechnungsverfahren für Uferwände, Ankerplatten, Fangedämme u. dgl.

[30] Nökkentved, Chr., Berechnung von Pfahlrosten, 1928, Ernst.

[31] Blum, H., Einspannungsverhältnisse bei Bohlwerken, 1931, Ernst.

[32] Petermann, H., Bewegung und Kraft bei Ankerplatten, Bauing. 1933, S. 531.

[33] Buchholz u. Petermann, Berechnungsverfahren für Ankerplatten und -Wände, Bauing. 1935, S. 227.

[34] Hedde, P., Beitrag zur Berechnung eingespannter Spundwände, Bautechn. 1937, S. 659.

[35] Homberg, H., Graphische Untersuchung von Fangedämmen und Ankerwänden, 1938, Ernst.

[36] Kranz, E., Über die Verankerung von Spundwänden, 1940, Ernst.

[37] Fröhlich, O. K., Bodenmechanische Gesichtspunkte für die Berechnung von Fangedämmen, Bautechn. 1940, S. 543.

[38] Bažant, Z., Grundbruch unter der Spundwand, Bautechn. 1940, S. 595.

[39] Berent, H., Die wirtschaftliche Bemessung von Eisenbetonufermauern auf Pfahlrost mit vorn liegender Spundwand, Bautechn. 1940, S. 615.

[40] Schütte, H. G., Anwendungen der Erddrucktheorie bei der Berechnung von Spundwänden und Kaimauern, Bauing. 1940, S. 105.

[41] Schütte, H. G., Einspannungsbedingungen verankerter Bohlwände, Bauing. 1941, S. 193.

[42] Schütte, H. G., Wirkungen von Formänderungen verankerter Bohlwände und des stützenden Bodens auf die Verteilung der äußeren und inneren Kräfte, Jahrb. der Hafenbautechn. Ges. Nr. 18/19 (1939/40), Springer.

[43] Jacoby, E., Grundsätzliches über die Berechnung von Spundwänden, Bautechn. 1941, S. 88 u. 359.

[44] Jacoby, E., Grundsätzliches über die Berechnung von doppelten Spundwänden (Fangedämmen), Bautechn. 1941, S. 240.

6. Dalben

[45] Blum, H., Wirtschaftliche Dalbenformen und deren Berechnung, Bautechn. 1932, S. 50.

[46] Bayer, K., Untersuchungen an Dalben, 1940, Ernst.

Abgeschlossen Januar 1942.

X.

Ausgeführte Bauwerke

1. Uferwände und Molen

Die maßgebenden Gesichtspunkte für die Verwendung von Peiner Kastenspundbohlen bei Uferwänden und ähnlichen Bauwerken sind schon auf den Seiten 71 bis 73 gegeben worden. Infolge ihres hohen Widerstandsmomentes kann die Peiner Kastenspundwand zum Bau von Ufermauern mit großen Wassertiefen und schlechten Bodenverhältnissen herangezogen werden. Ebenso ergibt sich durch ihre große Tragfähigkeit lotrechter Lasten ein weites Anwendungsfeld.

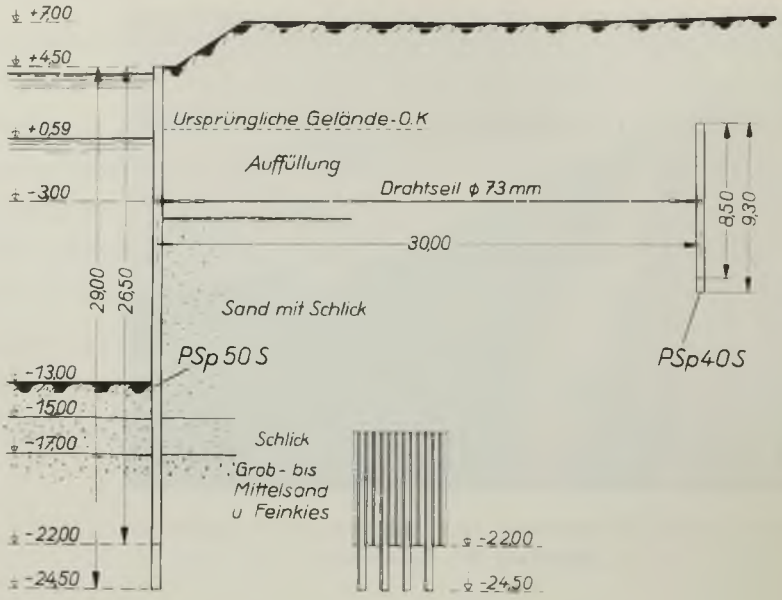
Bezüglich der Angaben über Ort, Bauherrn und Baufirma wird auf die Ausführungen auf Seite IV verwiesen. Eine Zusammenstellung der Bauherren und Baufirmen ist auf S. 289 gegeben.

Uferbollwerk an der Nordsee

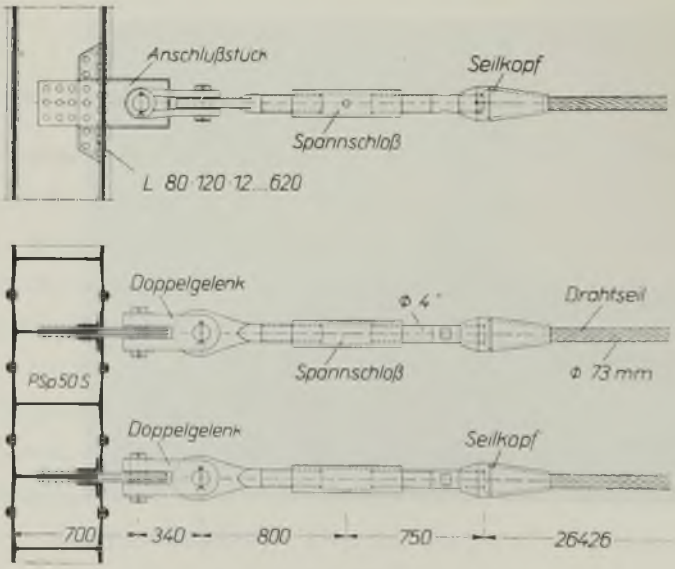
Das Uferbollwerk wurde in einfacher Spundwandbauweise mit verkürztem Anker erstellt und hierdurch ein Geländesprung von 20 m überwunden. Für die Hauptwand sind Peiner Kastenspundbohlen PSp 50 S von 29,0 bzw. 26,5 m zur Verwendung gekommen, die mit Hilfe von Spülung selbst in den Bogenstrecken mit 60 m Halbmesser einwandfrei gerammt wurden. Als Ankerwand wurden Bohlen PSp 40 S vorgesehen. Die auf S. 200 dargestellte neuartige Drahtseilverankerung wurde durch Taucher angeschlossen, während die angenieteten Ankeranschlußstücke mit den Bohlen eingerammt wurden. Gesamtlänge der Peiner Kastenspundwand rd. 627 m. Baujahre 1939–1941.

Blick auf die Hauptwand, im Hintergrund rechts Beginn der Rammung der Ankerwand

Bogenstrecke in der Hauptwand (vgl. auch die Abb. auf S. 72)



Querschnitt und Einzelheiten der Verankerung

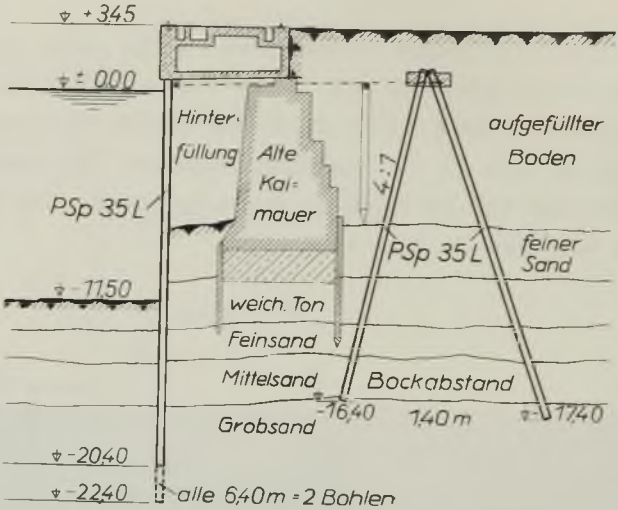


Uferwände in einem Industriewerk an der Ostsee

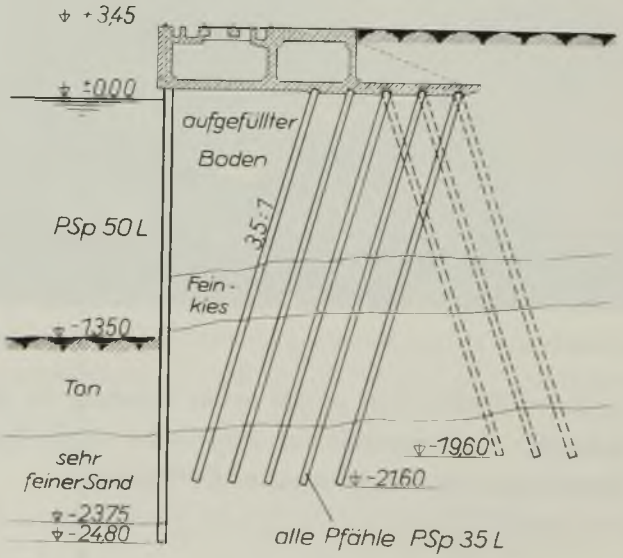
Bei dem Ausbau eines großen Industriewerkes an der Ostsee wurden insgesamt rd. 1100 m Kaiwände mit Peiner Kastenspundbohlen gebaut. Dabei wurden rd. 17400 t Bohlen der Profile PSp 35—50 sowohl für die Spundwände als auch für die Tragpfähle verwendet. Die verschiedenen Querschnitte sind auf den folgenden Seiten dargestellt. Die Bauzeiten erstreckten sich über die Jahre 1936—1940.

Uferwand mit Peiner Kastenspundbohlen im Bauzustand

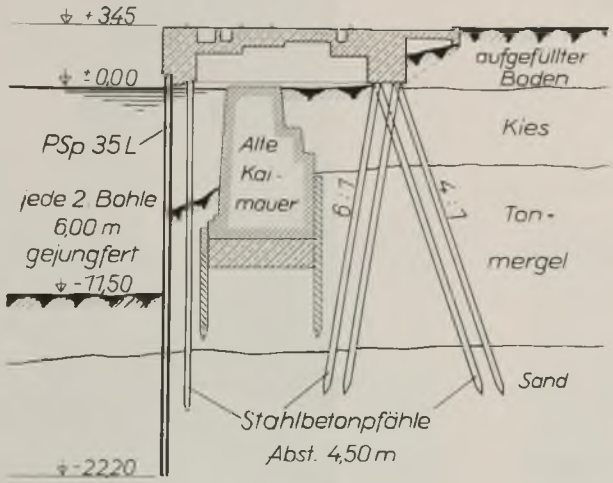
Bei dem vorderen Bauabschnitt ist die untere Schalung für die Betonplatte eingebracht; die Tragpfähle aus PSp binden in die Mauerplatte ein. Im Vordergrund die Rundstahlanker der Verankerung.



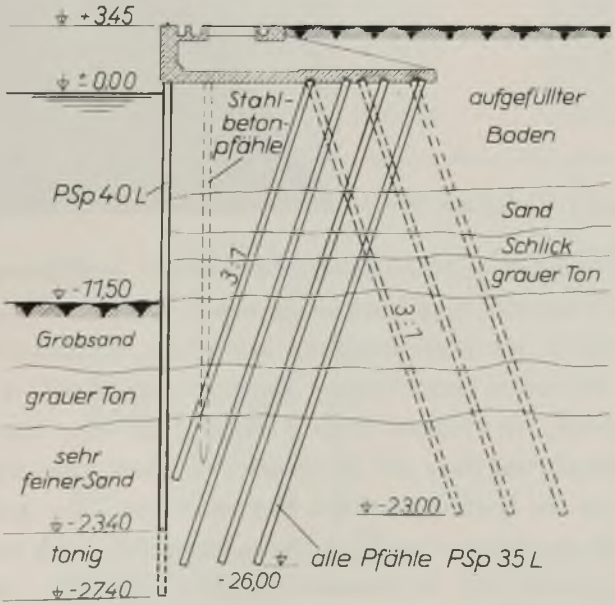
Ausführung a



Ausführung b



Ausführung c

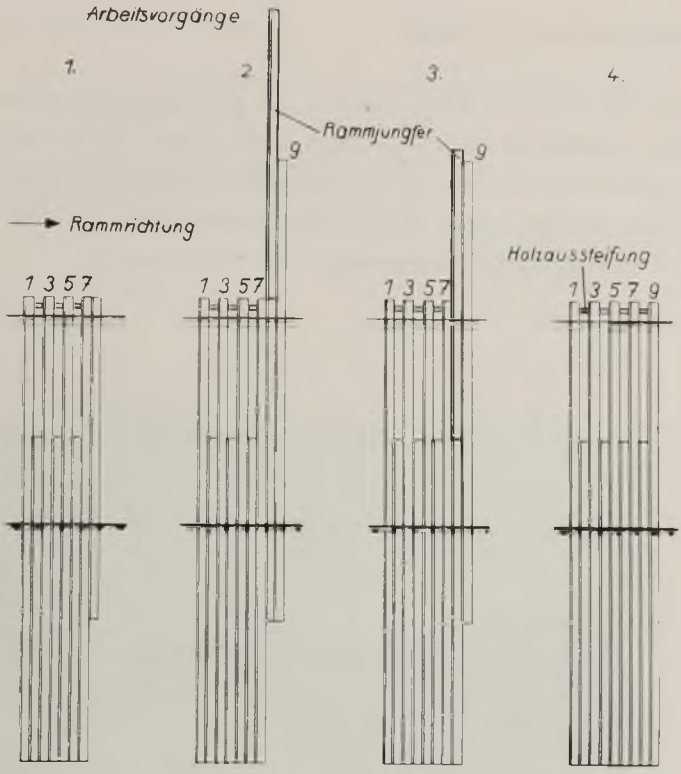


Ausführung d

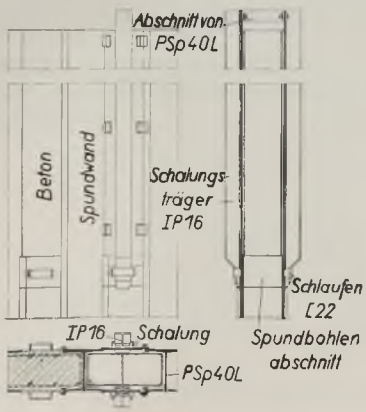
Uferwände in einem Industriewerk an der Ostsee

Ansicht der fertigen Wand

Bei der auf vorstehender Seite dargestellten Uferwand, Ausführung d, wurde die in der II. Durchführungsbestimmung vom 6. 2. 1940 zur 8. Anordnung über Richtlinien zur Eiseneinsparung angegebene Sparbauweise angewendet. Der hierbei eingeschlagene Arbeitsvorgang ist auf der folgenden Seite dargestellt. Die kürzere Bohle wird mit Hilfe einer Rammjungfer gerammt, jedoch erst dann auf die vorgesehene Tiefe, wenn die folgende längere Bohle ein bestimmtes Stück eingerammt ist. Vor dem Weiterrammen sind die Lücken oben durch Holz auszusteifen, damit keine Kopfrückeilung entsteht (s. a. die Rammanweisungen auf S. 121). Die Lücken wurden nachträglich ausbetoniert.



Rammvorgang bei der Sparbauweise mit oberer Verzahnung



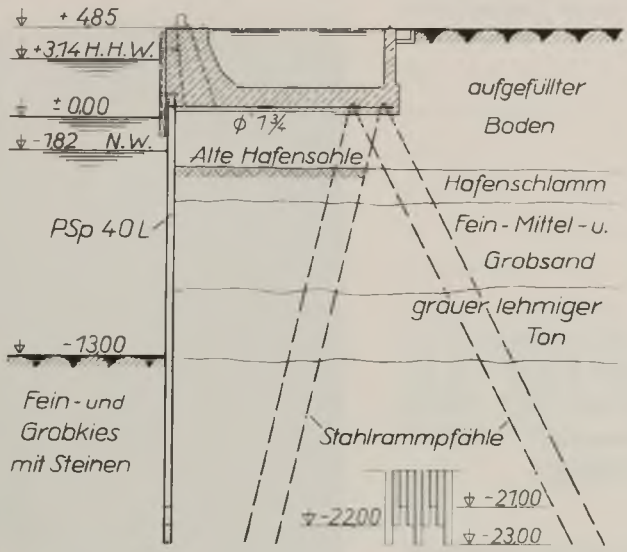
Erläuterungen s. S. 204

Anordnung der Verschalung für das Ausbetonieren der oberen Lücken

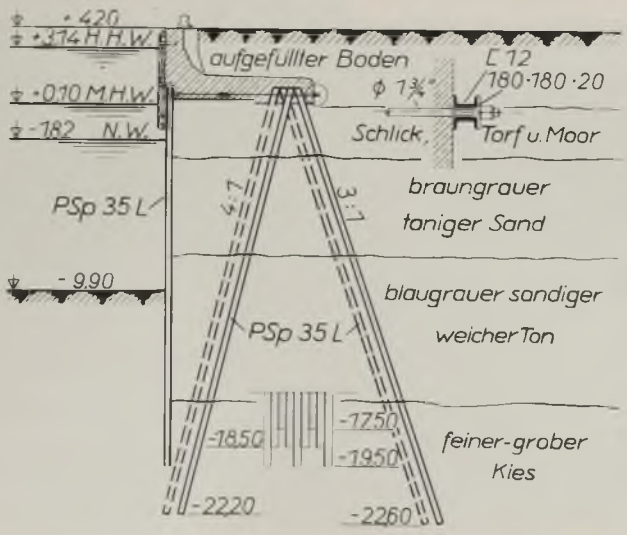
Schiffsliegeplätze an der Ostsee

Als Ersatz für die nicht mehr ausreichenden alten Bollwerke mußten neue geschaffen werden, bei denen für das Anlegen großer Schiffe die Wassertiefe vergrößert wurde. Die zur Verwendung gekommenen Peiner Kastenspundbohlen wurden wegen der zu durchrammenden schweren Geröllschicht in hochwertigem Thomasstahl St Sp 50/60 gewählt.

Schiffsliegeplatz mit Peiner Kastenspundbohlen im Bau
Links Spundbohlenstapel auf einem Kahn



Ausführung a. Ausgebaut 456 m. Baujahr 1939/40



Ausführung b. Ausgebaut 102 m. Baujahr 1939/40

Uferwand an einem Wendebecken in einem Nordseehafen

Für die 800 m lange Uferwand wurden PSp 40 L in abwechselnd 18,3 — 19,3 — 20,3 m Länge verwendet.
Baujahr 1939/40.

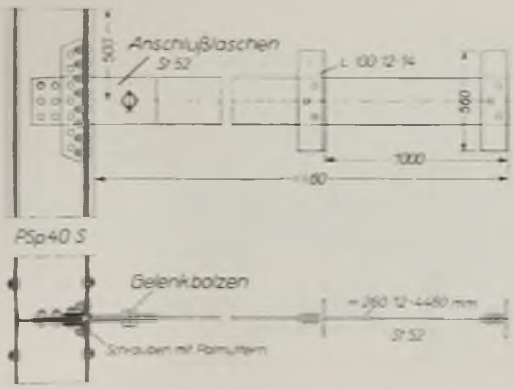
Blick auf die Spundwand während der Bauzeit

Eingeschalter Mauerblock mit Rundstahlverankerung

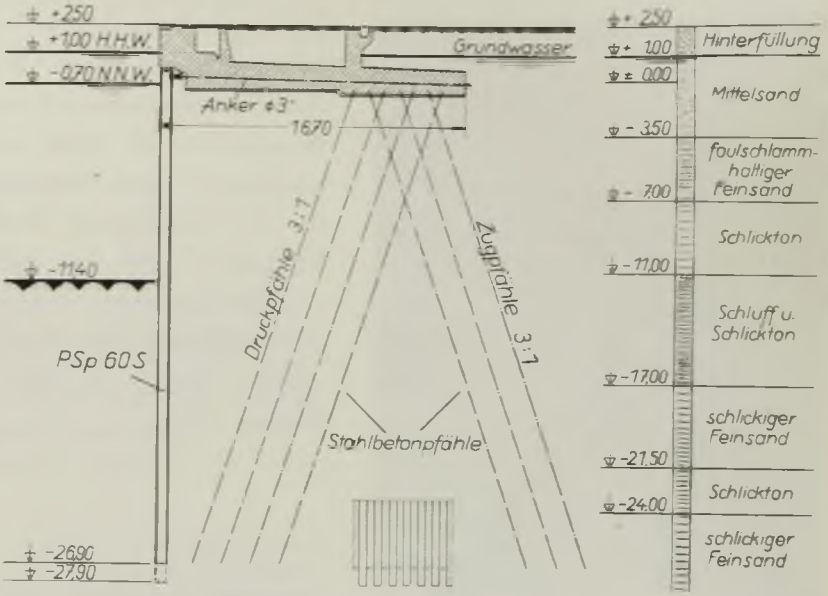
Kaiwand in einem Binnenhafen an der Nordsee

Zur Verwendung kamen PSp 40 S von 18,5 m Länge. Die Ankerlaschen wurden nach dem Rammen an die Stege angeschraubt. Bemerkenswert ist die Verankerung durch Flachstähle, die an jeder 3. Bohle angebracht werden. Die bislang ausgebaute Wandstrecke beträgt rd. 340 m. Baujahr 1940.

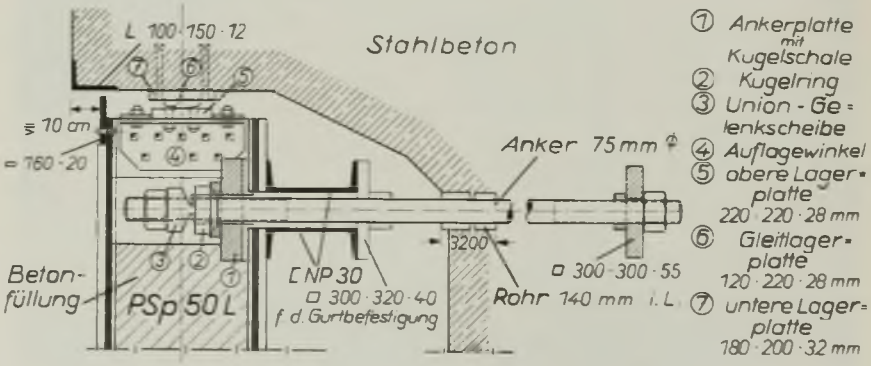
Rammung d. Spundwand PSp 40 S in feinem Sandboden. Im Vordergrund 3 angeschraubte Ankerstutzen



Flachstahlanker an angeschraubten Ankerstutzen



Querschnitt der Ufermauer



Ausbildung des Ankeranschlusses und der Kopfauflagerung

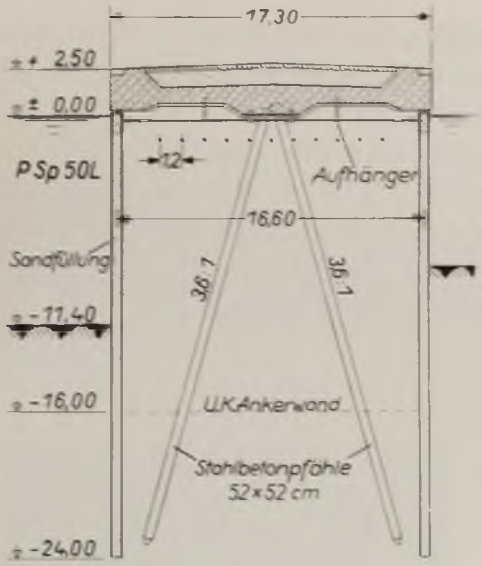
Ansicht eines Teiles der fertigen Ufermauer mit Reibehölzern, Leiter, Pollern und Haltekreuz

Infolge der schlechten Bodenschichten aus größtenteils Schluff und Schlickton wurde für diese Ufermauer ein schweres Profil in sehr großer Länge erforderlich. Die Bohlen mußten in ganzer Länge in den Boden gerammt werden, da die Baggerung des Hafenbeckens erst nach Fertigstellung der gesamten Ufermauer erfolgte. Zur einwandfreien Übertragung der senkrechten Lasten wurde eine besondere Auflagerkonstruktion auf den Bohlenstegen angeordnet. Die Anker wurden durch kugelförmig ausgedrehte Unterlegscheiben und Union-Gelenkscheiben beweglich angeschlossen. Die gesamte Wandlänge einschl. der Abschlußmole (s. S. 212) beträgt rd. 465 m. Baujahre 1939—1941.

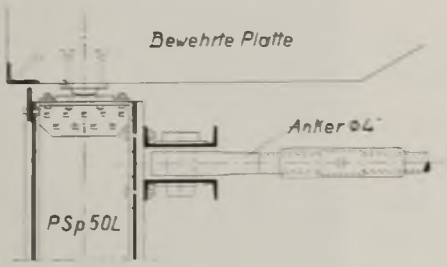
Abschlußmole der Ufermauer in einem Ostseehafen

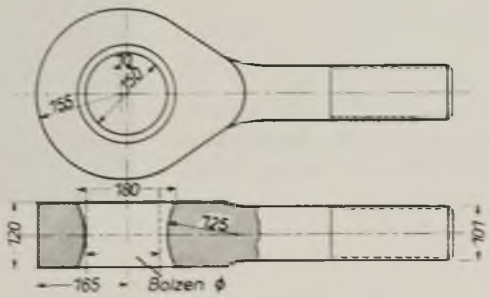
Abschlußbogen der Mole aus PSp 50 L. Im Vordergrund sind Teile der Ankerwand aus PSp 35 L sichtbar

Verankerung des Molenkopfes



Die Mole ist als doppeltes Spundwandbauwerk mit gegenseitiger Verankerung ausgebildet. Die Ankeranschlüsse erfolgten hierbei nach der Abb. 25 (S. 39) mit punktförmiger Auflagerung. Der Molenkopf wurde mit einem Halbmesser von rd. 16.0 m unter Verwendung entsprechender Zwischenstücke gerammt. Für den Molenkopf ist eine Verankerungswand aus PSp 35 L eingebaut.
Baujahr 1941.





Anschluß des Ankers und Einzelheiten

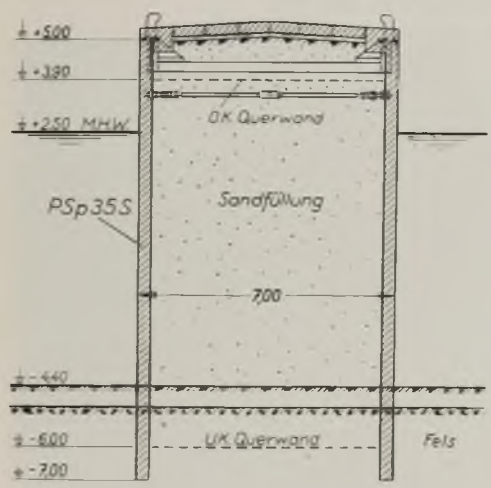
Uferschutzwand auf einer Nordseeinsel

Die Bohlen wurden ohne Beschädigung der Köpfe bis zu 2 m in den Felsboden gerammt. Trotz des schweren Untergrundes erfolgten keine Fluchtabweichungen. Infolge der unregelmäßigen Oberkante des Felsens war ein Rammen der Bohlen auf gleiche Höhe nicht durchführbar.
Zu der Rammung wurde ein Fallbär von 1,5 t Gewicht benutzt, der mit Fallhöhen von 2,50 bis 3,75 m arbeitete. Verwendung fand Profil PSp 30 L in 9 m Länge. Baujahr 1934. (Siehe auch Abb. S. 99.)

Rammung der Uferschutzwand in die freie See mit einem Bagger als Ramme

Mole auf einer Nordseeinsel

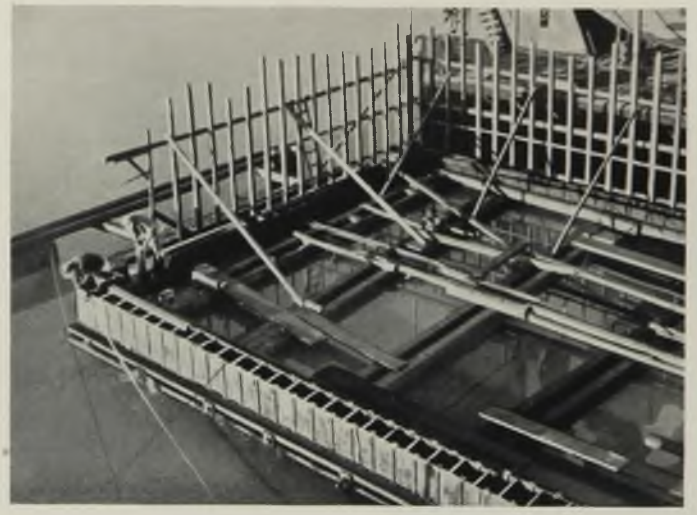
Rammung der Mole aus PSp



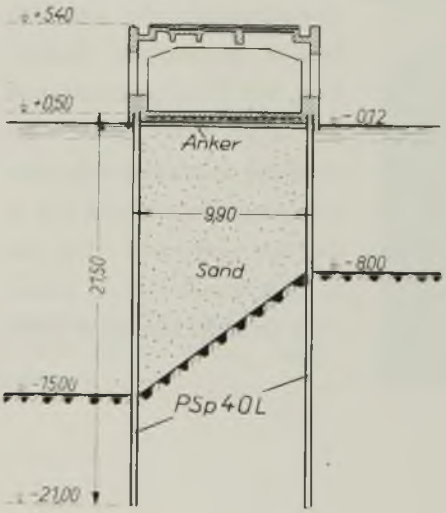
Querschnitt der Mole

Die Mole wurde mit einer für diesen Zweck geschaffenen Doppelramme, die auf den bereits gerammten Bohlen fuhr, vor Kopf gerammt und auf diese Weise unter Verwendung einer entsprechenden stählernen Aussteifung frei in die See vorgebaut. Die benutzten Freifallbären hatten 2,2 t Gewicht. Baujahr 1938.

Molenkopf in einem Ostseehafen



Aufsicht auf den Molenkopf aus PSp 40 L
Beginn der Einschalungsarbeiten für den oberen Stahlbetonkörper



Die Rammung konnte trotz der vorhandenen Sohlenböschung planmäßig durchgeführt werden. Baujahr 1940.

Querschnitt des Molenkopfes

Uferwand an einem Binnensee

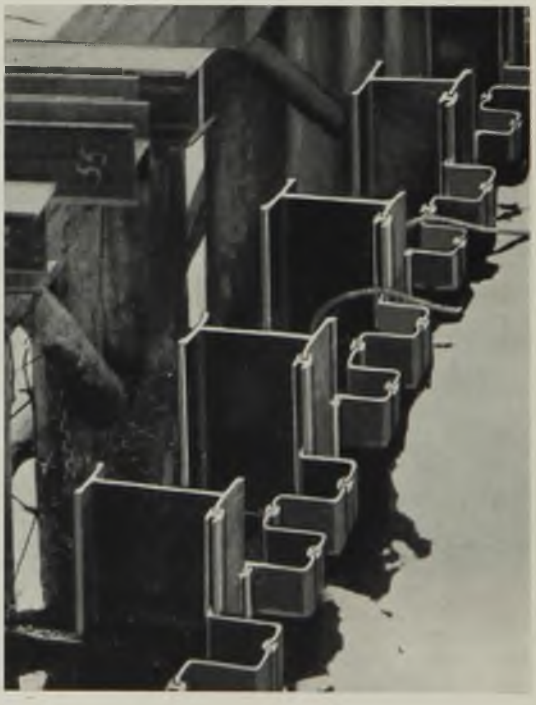
Die Peiner Spundbohlen (PSp 30 L) wurden bei diesem innerhalb einer Großstadt gelegenen Binnensee vorwiegend wegen ihrer guten architektonischen Wirkung gewählt. Baujahr 1934/35

Stützwand an einer Bekohlungsrampe der Reichsbahn

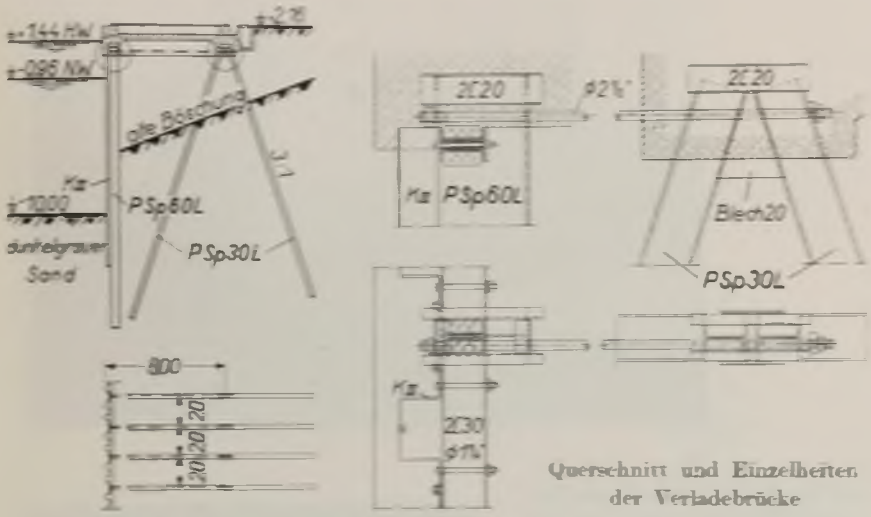
Dieses Bauwerk mußte aus verkehrstechnischen Gründen innerhalb von 14 Tagen errichtet werden, sodaß nur eine unverankerte Spundwand infrage kam. Wegen ihrer großen Steifigkeit wurden Peiner Kastenspundbohlen, und zwar Profil PSp 30 L, gewählt. Baujahr 1934

Verladebrücke in einem Ostseehafen

Verankerung an Pfahlböcken aus PSp 30 L



Ansicht der zusammengesetzten Spundwand aus Peiner Kastenspundbohlen PSp 60 L und Krupp-Bohlen K III

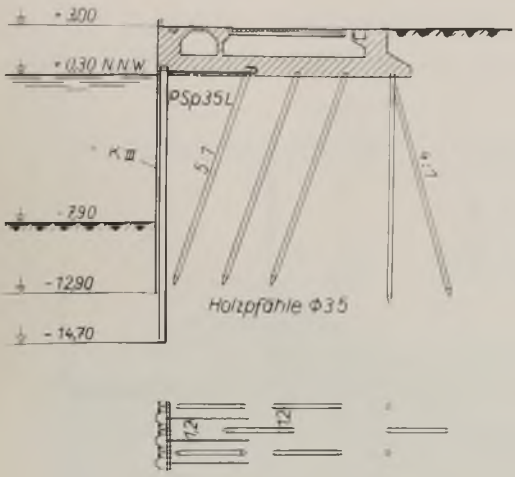


Querschnitt und Einzelheiten der Verladebrücke

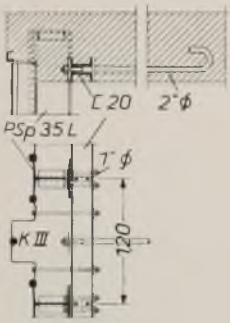
Die Peiner Bohlen binden zur Aufnahme der senkrechten Lasten in den Beton der Mauer ein. Die oberen Auflagerflächen sind sowohl bei den Peiner Bohlen der Spundwand als auch der Pfahlböcke zur Übertragung der Belastung durch C-Stähle verbreitert. Baujahr 1938/39.

Liegeplatz in einem Industriewerk an der Ostsee

Auf der Endstrecke dieses mit einwandigen Spundbohlen hergestellten Liegeplatzes wurde eine zusammengesetzte Spundwand vorgesehen, da die Wassertiefe größer und der Baugrund schlechter wurden. Verwendet wurden PSp 60 L abwechselnd mit 2 Doppelbohlen K V in Längen von 23,6 bis 26,3 m. Die Peiner Bohlen sind auf dem freien Flansch durch aufgeschweißte 2 Schlösser von 12 m Länge verstärkt. Der Gurt liegt hinter der Krupp-Wand und ist durch die Stege der Peiner Bohlen durchgeführt. Die Stege der Krupp-Bohlen sind zur Vergrößerung der Auflagerfläche für die Mauerlast seitlich umgeklappt. Beide Bilder zeigen den Bauzustand vor dem Aufbringen der Betonkonstruktion. Baujahr 1939.

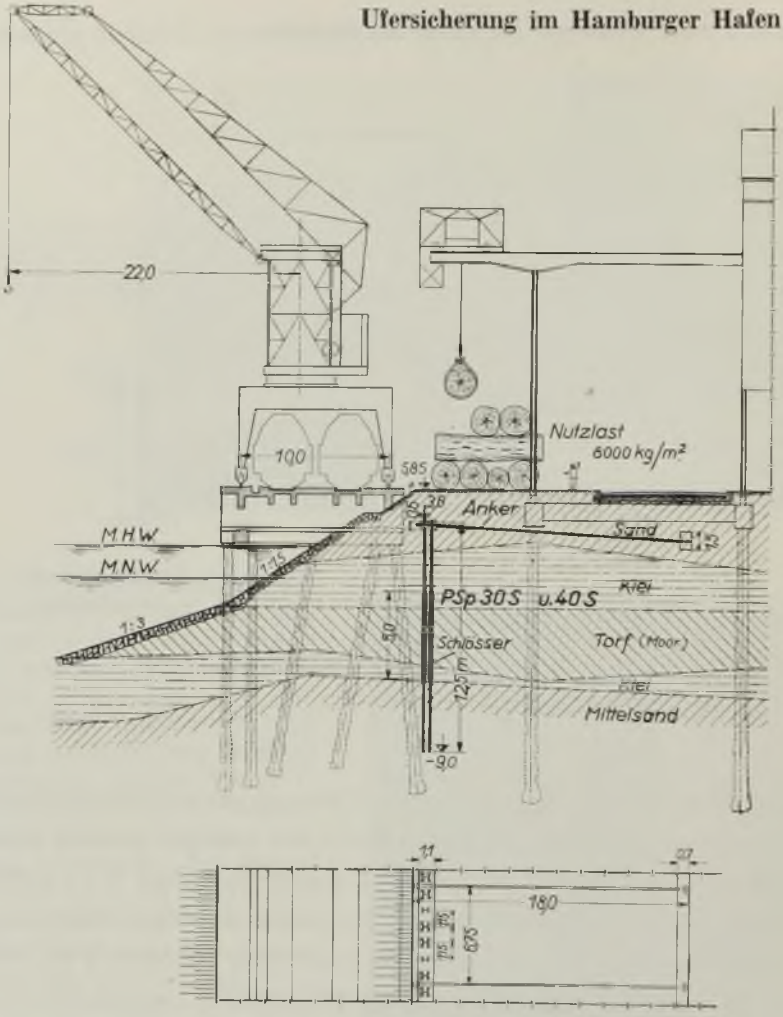


Querschnitt und Grundriß



Einzelheiten der Verankerung

Für diese zur Ausführung vorgesehene Uferwand war nach einem Entwurf der Spundwandabteilung der Ilseder Hütte eine zusammengesetzte Spundwand aus Peiner Kastenbohlen PSp 35 L und Krupp-Bohlen K III gewählt worden. Die Krupp-Bohlen reichen nur soweit in den festen Boden, als es zur Aufnahme der Erddruckbelastung rechnerisch erforderlich ist, während die Peiner Bohlen zur Übertragung der lotrechten Lasten 1,80 m tiefer eingerammt werden sollen. Zum Ausbau waren insgesamt 3200 m vorgesehen. Die Ausführung der Arbeiten wurde verschoben.



Die hohe Belastung durch den Holzlagerplatz ließ befürchten, daß die darunterliegende Torfschicht in das Hafenbecken gedrückt und damit das Uferbollwerk gefährdet wurde. Zum Schutze wurden einzelne Peiner Bohlen PSp 30 S bzw. PSp 40 S im Abstand von 1,15 m gerammt, die dem Torfboden genügenden Widerstand gegen Bewegung leisten. Auf die Bohlen waren zur Verstärkung in der Mitte jeweils 4 Schlösser von je 5,0 m Länge aufgeschweißt. Baujahr 1939.

2. Schleusen und Wehre

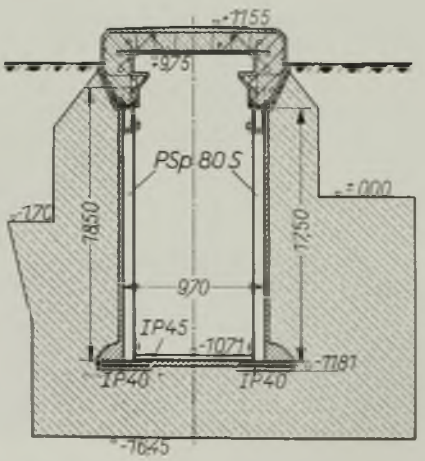
Für die Verwendung von Peiner Kastenspundbohlen zu Schleusenbauten sprechen die gleichen Gesichtspunkte wie für ihre Verwendung bei Ufermauern. Eingehende Ausführungen hierzu sind auf den S. 73 u. 74 gemacht.

Torkammern einer Seeschleuse

Torkammer aus PSp 80 S mit Lehrgerüst für die Betonierung des oberen Stahlbetonrahmens

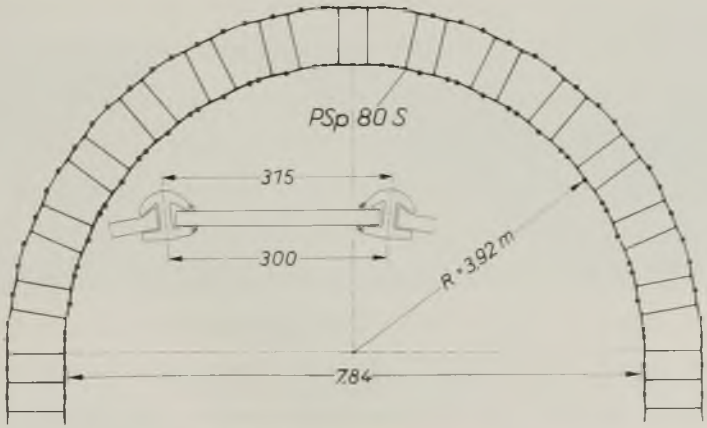
Die Betonwände der Torkammern waren durch Seewasser zerstört. Für ihre Instandsetzung wurden bei 2 Torkammern PSp 80 S und bei 2 weiteren PSp 60 SS in Längen von 17,15 u. 18,50 m gewählt. Gegen die Verwendung von Stahlbeton sprach die Möglichkeit, daß Risse im Beton entstehen könnten, wodurch abermalige Betonzerstörungen durch das Seewasser eingeleitet worden wären. Es wurden Bohlen mit starken Flanschen (21,5 mm) gewählt, um der Rostgefahr wirksam zu begegnen. Der hintere Abschluß der Torkammern wurde unter Verwendung von Zwischenstücken halbkreisförmig ausgebildet. Das Lehrgerüst für die Betonierung des oberen Stahlbetonrahmens stützt sich auf die fertig eingebrachten Peiner Kastenspundbohlen. Zwischen der Auskleidung aus PSp und der alten Wand wurde Beton eingebracht. Baujahre 1934—1938.

Schrifttum: Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft. Bd. 16 (1937), S. 102.



Normalquerschnitt einer Torkammer

Blick in die fertige Torkammer
aus Peiner Kastenspundbohlen



Rammplan für den Abschlußbogen der Torkammer

Ansicht der Schleusenkammerwand
aus Peiner Kastenspundbohlen PSp 35 SS

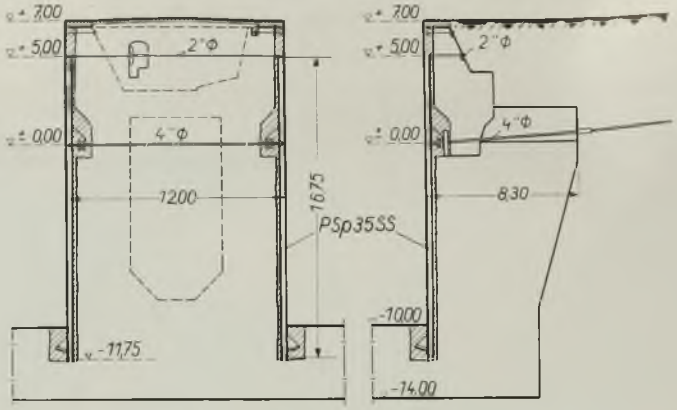
Zum Schutze gegen weitere Betonzerstörungen durch das Seewasser wurden die Kammerwände einer Seeschleuse durch eine dichte Stahlspundwand verkleidet. Nach den Berechnungen und mit Rücksicht auf ausreichende Sicherheit gegen Verrosten wurden hierfür Peiner Kastenspundbohlen PSp 35 SS (Flanschstärke 21,5 mm) gewählt. Die 16,80 m langen Spundbohlen wurden in einen in die Schleusensohle gestemmten Schlitz eingesetzt und einbetoniert. Die Wände wurden mit 4″-Ankern verankert (s. S. 228), die mit einer besonderen Vorrichtung auf Vorspannung gebracht wurden. Dann erst wurde die Verkleidungsspundwand mit dem Gurt verbunden, sodaß auf diese Weise jegliche Bewegungen der Spundwände ausgeschlossen wurden. Die Kammerwände wurden mit Leitern, Abreißpollern und Reibehölzern ausgerüstet. Baujahre 1936—1939. Für die

Blick in eine Schleusenkammer während der Bauzeit

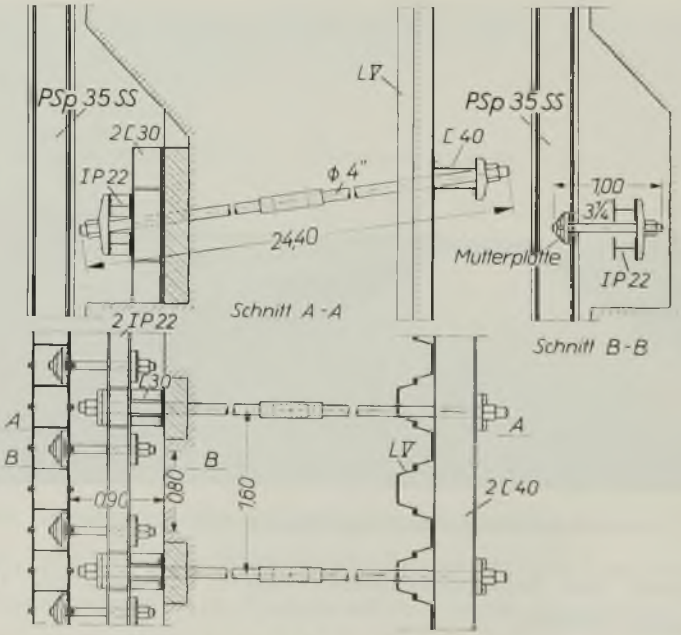
Ansicht der fertigen Schleusenkammer nach der Füllung

Torkammern und Schleusenkammern wurden insgesamt rd. 17000 t Spundbohlen geliefert.

Schriftum: Jahrb. der Hafenbautechn. Gesellschaft, Band 16 (1937), S. 102.



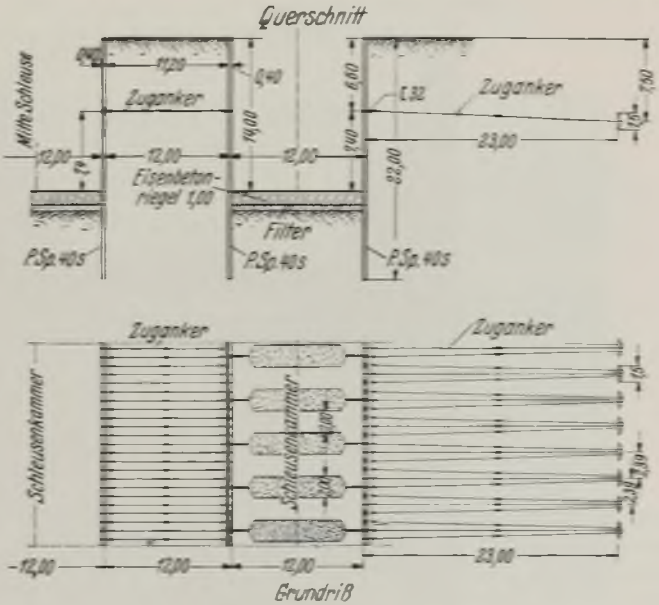
Kammerwände einer Seeschleuse aus Peiner Kastenspundbohlen



Einzelheiten der Verankerung

Kammerwände
von 2 Kanalschleusen

Die Kammerwände zweier Doppelschleusen wurden bei 10.50 m Schleusengefälle aus Peiner Kastenspundbohlen PSp 40 S bzw. 35 M (Sonderprofil) hergestellt. Der zu durchrammende Boden bestand aus sehr feinem Fließsand. Bohlenlängen 22 bis 26 m. Verankerung 4″ ∅. Insgesamt rd. 4400 t Spundbohlen. Eine Schleuse wurde mit der Schloßdichtungsmaschine gedichtet. Bauzeit 1934—1937.



Schrifttum: Böhler. Der Ausbau eines Großschiffahrtsweges. Bauing. 1936. S. 499; Lehmann. Die Baugrubenaussteifung einer Kanalschleuse. Bautechn. 1940. S. 389.

Vier Kammerwände einer Kanalschleuse aus Peiner Kastenspundbohlen

Blick in eine Schleusenkammer aus Peiner Kastenspundbohlen. Freie Höhe der Bohlen 14,0 m über der Schleusensohle. Im Hintergrund das Oberhaupt

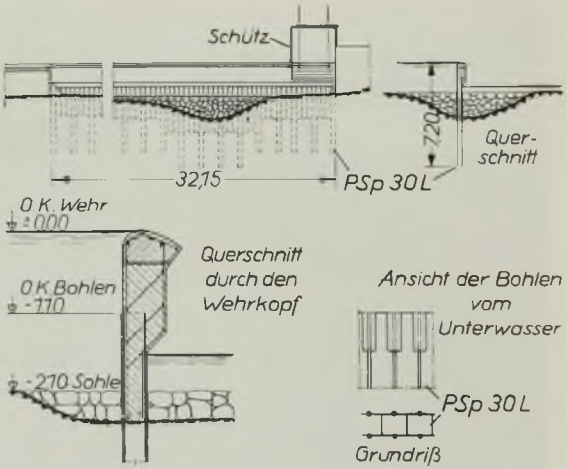
Schleusenkammer aus Peiner Kastenspundbohlen.
Aufnahme während der Bauzeit

Blick in eine Schleusenkammer während der Schleusung.
Breite der Schleuse 12,0 m

Dammbalken aus PSp 50 L

Der Dammbalkenverschluß einer Schleuse wurde aus rd. 13 m langen Bohlen PSp 50 L ohne Schlösser mit auf die Keulen geschweißten Dichtungsleisten aus Flachstahl gebildet (s. Skizze). Der Abschluß ist vollkommen wasserdicht. Baujahr 1934.

Querschnitt der Dammbalken



Flußwehr aus Peiner Kastenspundbohlen

Ein Teil der Bohlen ist bis auf den festen Fels gerammt. Die Bewehrung des Betonkopfes ist in die mit Beton ausgefüllten Bohlenzellen hineingeführt. Baujahr 1935.

3. Brückengründungen

Die Forderung, schnell und mit möglichst wenigen Arbeitskräften zu bauen, hat zu der vielfachen Verwendung von Peiner Kastenspundbohlen für die Ausbildung von Brückenpfeilern und Brückenwiderlagern geführt. Die Unabhängigkeit von Witterungseinflüssen und Wasserständen, der Fortfall von Erd-, Wasserhaltungs- und Betonarbeiten sind weitere Vorteile dieser Bauweise. Auf den S. 74 bis 77 sind eingehendere Angaben auch über die verschiedenen Ausführungsmöglichkeiten gemacht.

Fußwegbrücke über einen Fluß in Mitteldeutschland

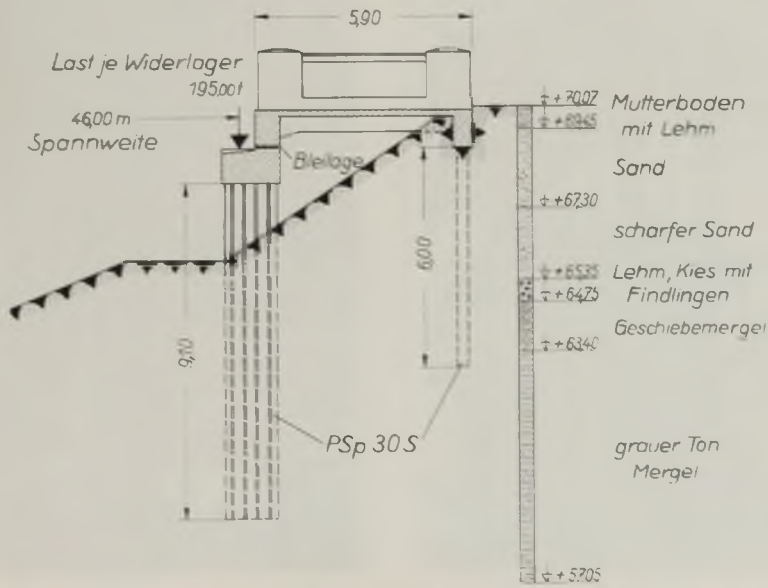
Die Pfeiler sind aus Peiner Kastenspundbohlen PSp 30 L von 7,0 bis 11,0 m Länge hergestellt. Baujahr 1936.

Widerlager einer Feldwegbrücke über den Mittellandkanal

Widerlager aus Peiner Kastenspundbohlen

Jedes Widerlager der Kanalbrücke besteht aus 2 Kästen aus PSp 30 S, die mittels eines auf beiden Kästen aufliegenden Stahlbetonquerbalkens den stählernen Überbau und den Stahlbetonschleppträger aufnehmen. Das in der Kanalböschung liegende Ende des Schleppträgers ruht auf 2 Doppelbohlen PSp 30 S. Baujahr 1933.

Auflagerkästen eines Widerlagers aus PSp 30 S. Im Hintergrund die beiden Doppelbohlen für das landseitige Auflager des Schleppträgers

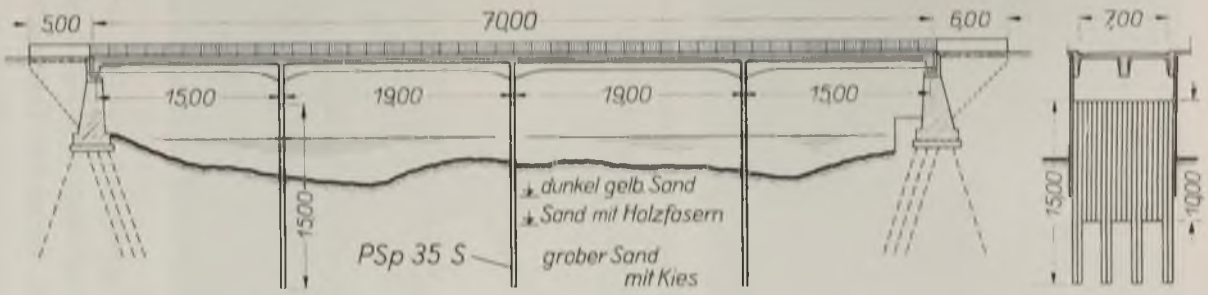


Querschnitt des Brückenwiderlagers

Straßenbrücke über einen Fluß in Norddeutschland

Pfeilerwände einer Straßenbrücke aus Peiner Kastenspundbohlen

Rammung eines Pfeilers mit Schnellschlaghammer



Längs- und Querschnitt der Straßenbrücke mit Pfeilern aus Peiner Kastenspundbohlen

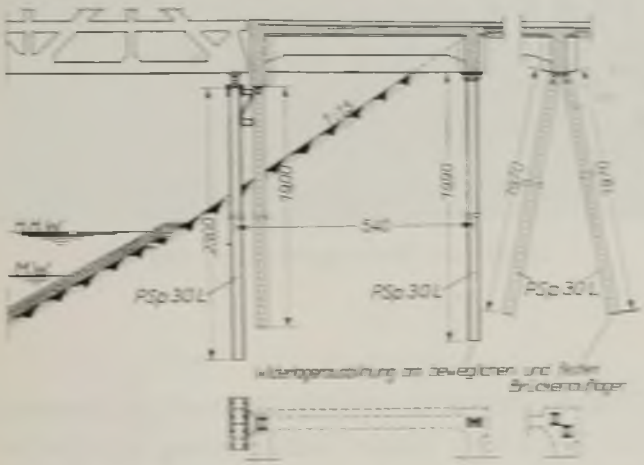
Die 70 m lange Stahlbetonbrücke ruht auf den von der früheren Holzbrücke stammenden und nur verbreiterten Betonwiderlagern und auf 3 Mittelpfeilern aus PSp 35 L von 10,0 bzw. 15,0 m Länge. Die Zellen der Bohlen wurden bis 1 m unter Flußsohle ausgebohrt und dann ausbetoniert. Zur Erhöhung der Tragfähigkeit und zur Stahlersparnis wurden nur einzelne Bohlen in den tragfähigen Baugrund gerammt (vgl. hierzu die Ausführungen auf S. 74). Die Belastung des Mittelpfeilers aus ständiger Last und Verkehrslast beträgt rd. 410 t. Die unteren Abb. auf der vorstehenden Seite zeigen Einzelheiten während der Bauausführung. Der Pfeilerabschluß erfolgte nach Abb. 11, S. 30. Baujahr 1933.

Widerlager einer Reichsstraßenbrücke

Die Betonbrücke ruht auf Widerlagern aus einer unverankerten Spundwand PSp 30 L von rd. 9 m Bohlenlänge. Baujahr 1934.

Straßenbrücke über einen Fluß

Die beiden Mittelpfeiler unter dem Gerberbalken bestehen aus Peiner Kastenspundbohlen PSp 40 L. Die Tragbohlen sind 16,9 m, die Füllbohlen 9,0 m lang. Rammtiefe rd. 10 m, davon 7 m Ton und 3 m Kiessand. Baujahr 1934.



Die Widerlager dieser Brücke sind aus einzelnen Peiner Kastenspundbohlen PSp 30 L gebildet. Bei einem Kostenvergleich ergab sich, daß die Spundbohlenwiderlager nur im Mittel 29 v. H. der Kosten von Betonwiderlagern erforderten. Baujahr 1935.

Schrifttum: Die Bautechnik 1938, S. 29.

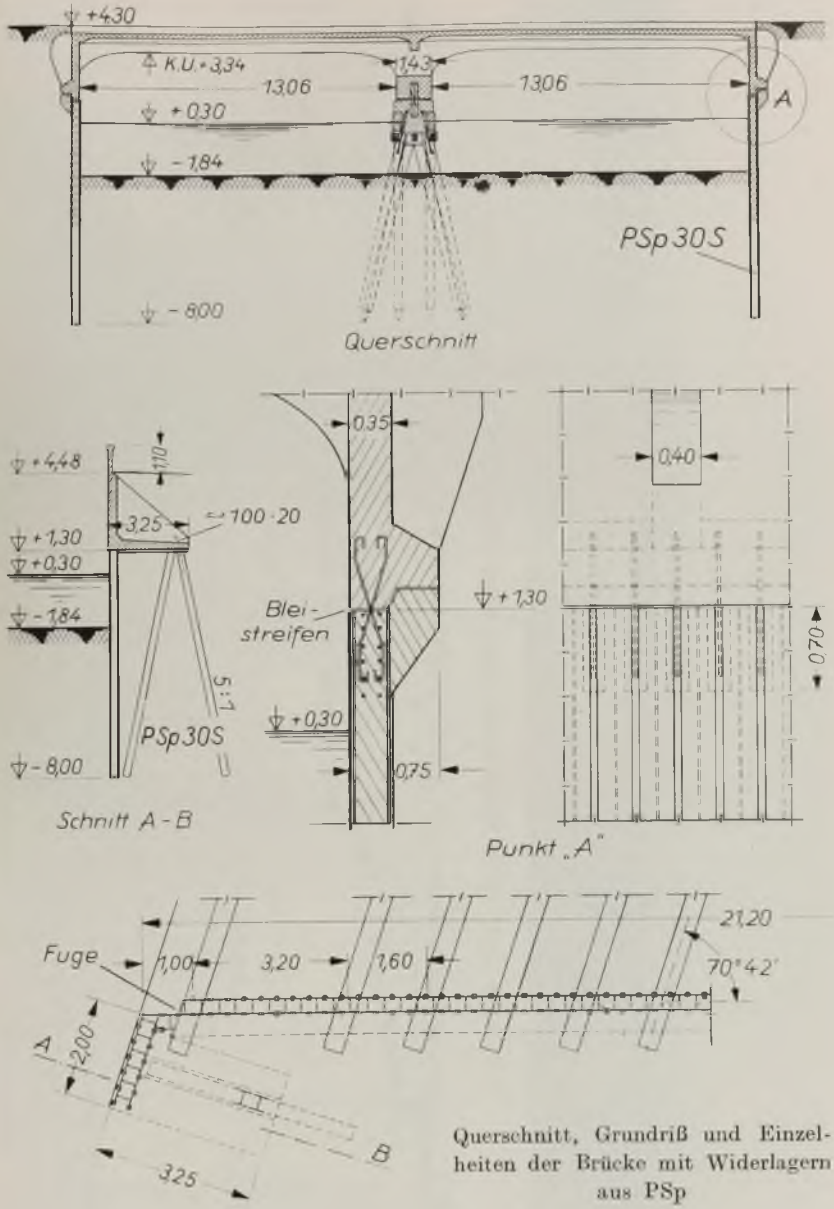
Straßenbrücke in einer Hafenstadt

Die Stahlbetonbrücke ruht auf den aus PSp 30 S erstellten Widerlagern und einem auf Holzpfählen gegründeten Mittelpfeiler. Die Brücke hat eine Breite von 20 m und ist für eine Belastung gemäß Brückenklasse I berechnet. Bemerkenswert ist die gelenkige Auflagerung der Hauptträger auf den Widerlagerwänden. Die Flügelwände sind der Einheitlichkeit wegen auch aus Peiner Kastenspundbohlen hergestellt. Sie sind durch Fugen vom Widerlager getrennt und standfest als Winkelstützmauer ausgebildet.

Ansicht der Widerlagerwand aus PSp 30 S

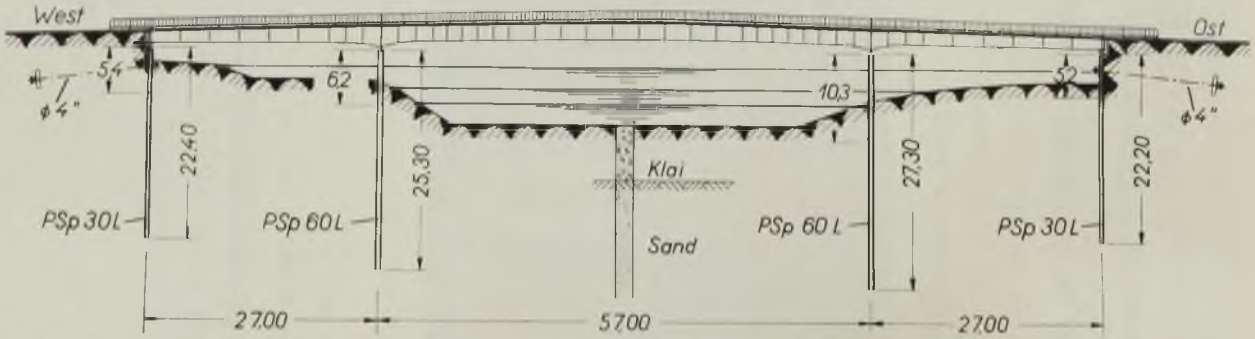
Die rückwärtigen Flansche der Widerlagerbohlen sind nach der Rammung ausgeklinkt mit dem Zweck einer innigen Verklammerung zwischen den Spundbohlen und der aufgesetzten Stahlbetonkonstruktion. Baujahr 1933/34.

Schrifttum: Beton u. Eisen 1935, Heft 1.



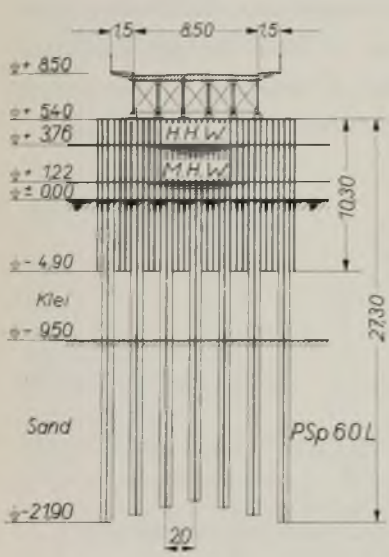
Querschnitt, Grundriß und Einzelheiten der Brücke mit Widerlagern aus PSp

Brücke im Zuge einer Reichsstraße über einen Fluß im norddeutschen Küstengebiet



Das Brückenbauwerk ist bis auf die Fahrbahnplatte ganz aus Stahl hergestellt; der Oberbau besteht aus 6 genieteten Durchlaufträgern über 4 Stützen, die Unterbauten aus Peiner Kastenspundbohlen. Stahlgewicht des Überbaues rd. 310 t, der Unterbauten rd. 313 t. Bei der Ausschreibung erwiesen sich die Stahlunterbauten als billiger gegenüber pfahlrostgegründeten Betonunterbauten. Außerdem konnten die Spundwandpfeiler und -widerlager in dem im Bereich der Tide liegenden Flußlauf schneller und ohne Störung fertiggestellt werden.

Ansicht des Westpfeilers aus PSp 60 L



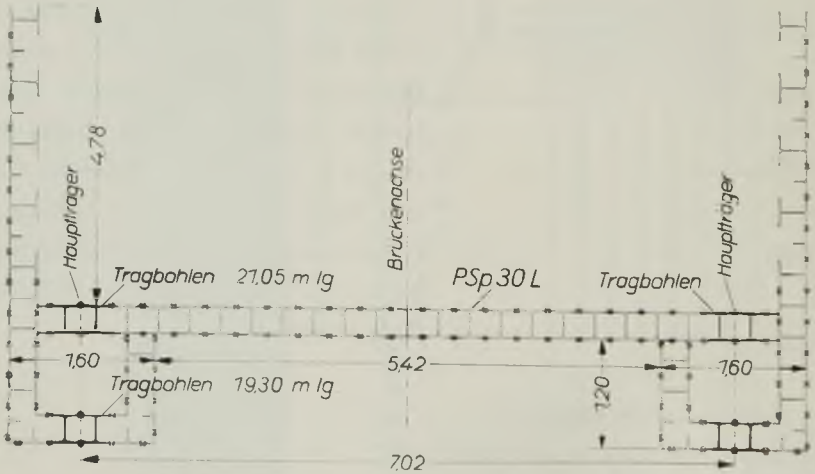
Querschnitt des Ostpfeilers

Für die Pfeiler der Brücke wurden PSp 60 L, für die Widerlager und Flügel PSp 30 L verwendet. Bei den Pfeilern reichen jeweils 7 Doppelbohlen und bei den Widerlagern jeweils 2 Doppelbohlen und 6 Einzelbohlen durch die starke Klaischicht in den tragfähigen Sand. Hierbei ergaben sich Bohlenlängen bis zu 27,3 m. Bei der Probebelastung hat eine Doppelbohle rd. 420 t getragen. Die rechnungsmäßige Belastung beträgt bis zu rd. 177 t. Siehe auch Abb. S. 76. Baujahr 1934.

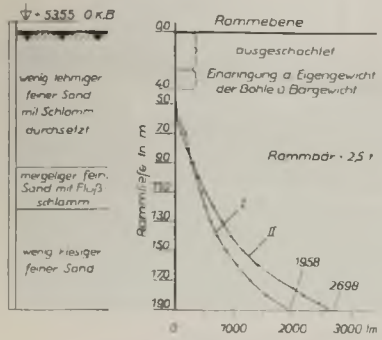
Schrifttum: Der Bauingenieur 1935, S. 263 u. 383.

Widerlager aus Peiner Kastenspundbohlen PSp 30 L

Jedes Widerlager besteht aus den beiden Auflagerkästen, der Herdwand und den Flügelwänden, sämtlich aus PSp 30 L. In jedem Auflagerkasten sind 4 Tragbohlen von 21,05 bzw. 19,30 m Länge (s. Grundriß), die die gesamte Brückenlast tragen. Die Füllbohlen sind 10,00 m lang.

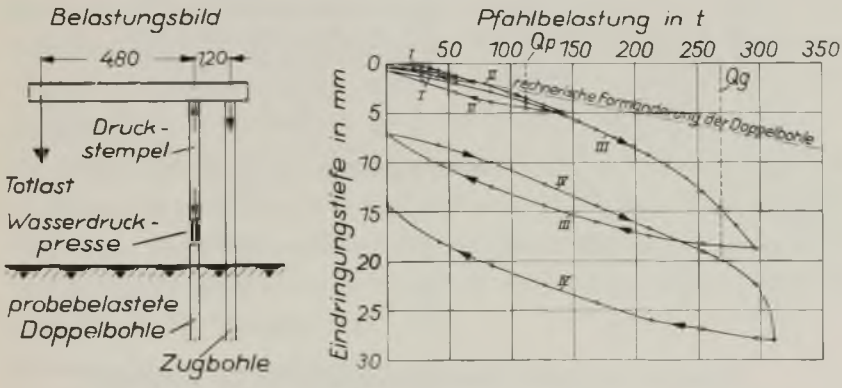


Die Rammung der Tragbohlen erfolgte mit einer 2,5 t schweren Dampframme, die der Füllbohlen mit einer Delmag-Explosionsramme mit 0,5 t Bärgewicht. Die Ergebnisse einer der beiden durchgeführten Probebelastungen sind in den folgenden Schaubildern dargestellt. Die in dem Belastungsbild angedeutete Totlast bestand aus Schienen unter einer hohen Erdaufschüttung. Die größte Last, die aufgebracht wurde, betrug 310 t; die Grenzlast, bei der der Pfahl allmählich absank, liegt etwa bei 270 t (Q_g). Als Zugbohlen wurden die Bohlen der Herdwand verwendet. Baujahr 1935.



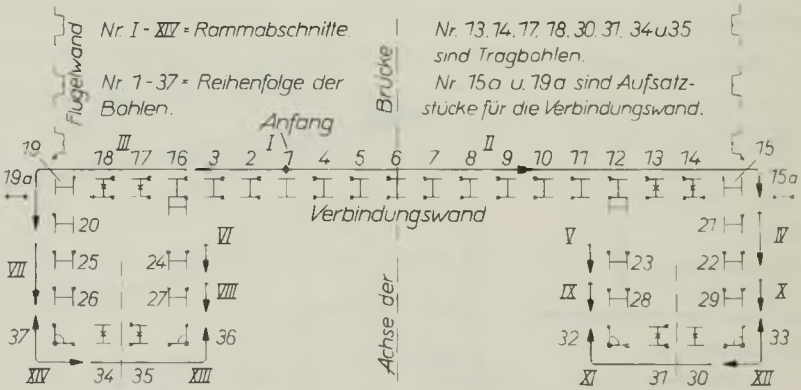
Rammschaubild der Tragbohlen des östlichen Widerlagers

Schrifttum: Die Bautechn. 1937, S. 586.



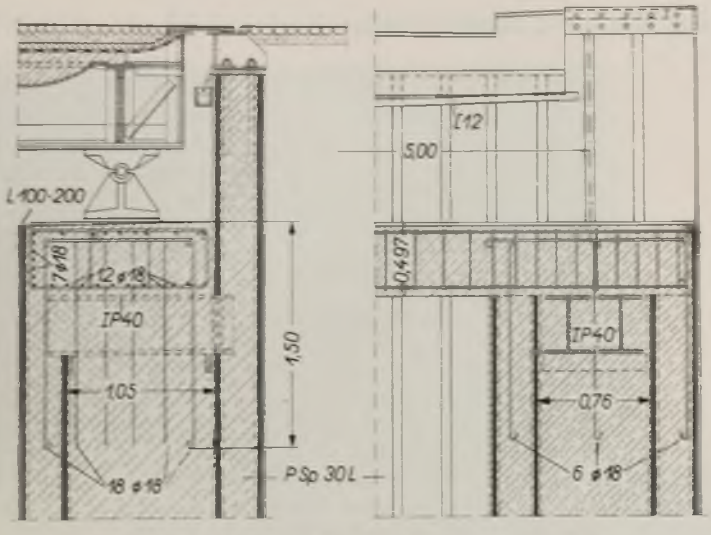
Belastungsbild und Belastungsergebnis für den vorderen Tragpfahl des östlichen Widerlagers

Ansicht der fertigen Brücke mit Widerlagern
aus Peiner Kastenspundbohlen PSp 30 L



Rammplan der Peiner Kastenspundbohlen für die Widerlager

Die Rammung wurde in der Reihenfolge der Bezifferung durchgeführt, und zwar wurden zuerst die Verbindungswand und dann zur Einhaltung der Symmetrie die Bohlen der Auflagerkästen gerammt.



Quer- und Längsschnitt durch die Auflagerbank

Die Bauweise mit Peiner Kastenspundbohlen wurde gewählt, weil der Baugrund mit nicht tragfähigen Faulschlammschichten durchsetzt ist und das Grundwasser sich als mörtel- und betonschädlich erwiesen hat. Ein Kostenvergleich mit Massivgründung ergab wesentliche Ersparnisse bei der Stahlbauweise.

Die beiden Auflagerkästen sind durch einen Stahlbetonbalken ausgesteift. Die Tragbohlen aus PSp 30 L sind 20,3 bzw. 24,7 m lang, die Füllbohlen 8 bis 14 m. Die Flügelwände wurden aus einwandigen Bohlen hergestellt. Die Stützweite des Überbaues beträgt 60 m; die Bemessung erfolgte für Lastenklasse III. Baujahr 1937.

Schrifttum: Die Bautechnik 1938, S. 437.

Fahrweg über einen Flußdurchstich

Zwei alte Kanalüberbauten ruhen auf einem Mittelpfeiler aus PSp 35 S von 9,5 bzw. 18,0 m Länge. Zur Aufnahme der Auflager sind Konsolen an der Oberkante der Tragbohlen angebracht. Brückenklasse I. Baujahr 1936.

Mittelpfeiler aus Peiner Spundbohlen

Der Mittelpfeiler eines Fußgängersteges über einen Flußdurchstich wurde aus PSp 35 S, 9,5 bzw. 18,0 m lang, hergestellt.

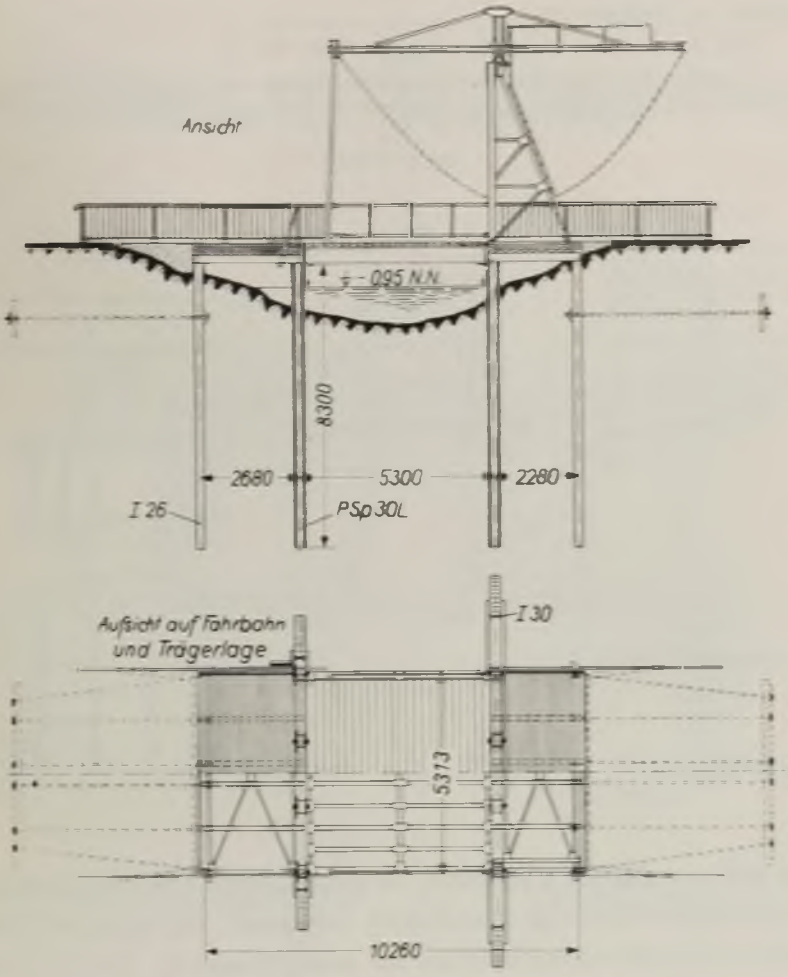
Hochwasserdurchlaß in einer Brückenrampe

Die Seitenwände des Hochwasserdurchlasses sind aus einwandigen Spundbohlen hergestellt; die stärker belastete Mittelwand aus PSp 30 L. Die Tragbohlen sind 10 bzw. 11 m lang, zwischen denen je 2 Füllbohlen von 4 m Länge angeordnet sind. Die Stahlbetondecke ist 0,50 m stark. Baujahr 1937.

Vorlandpfeiler einer Straßenbrücke

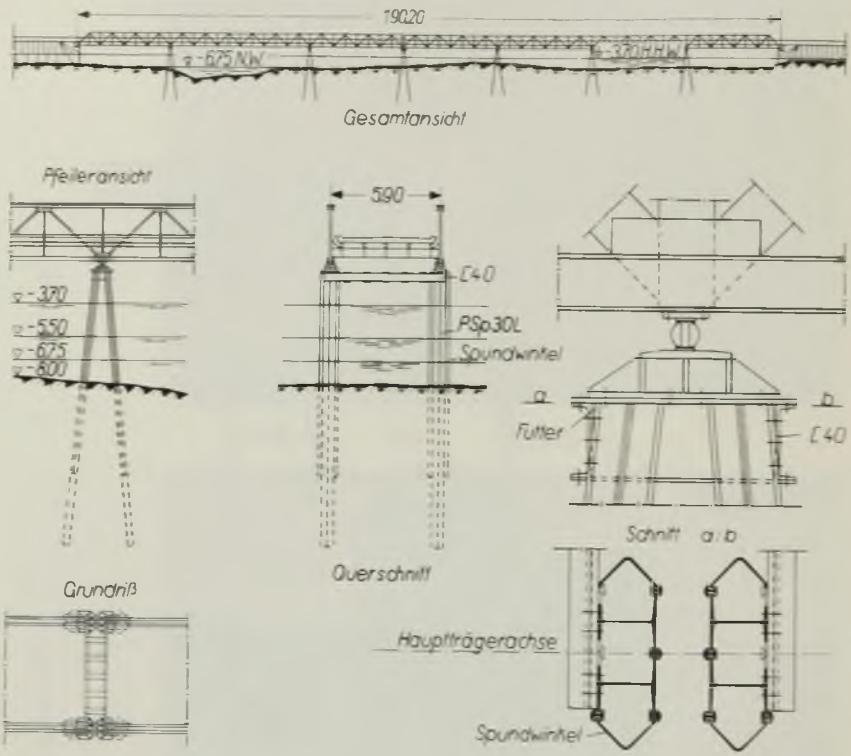
Die Vorlandpfeiler einer Straßenbrücke wurden aus PSp 35 L mit aufbetoniertem Querholm hergestellt. Die Bohlenlängen betrugen 8,9—13,9 m. Die Brücke wurde unter Wiederbenutzung der stählernen Überbauten, sowie der Betonwiderlager und Strompfeiler ohne Verkehrsunterbrechung verbreitert. Baujahr 1934.

Klappbrücke über ein Tief in Ostfriesland



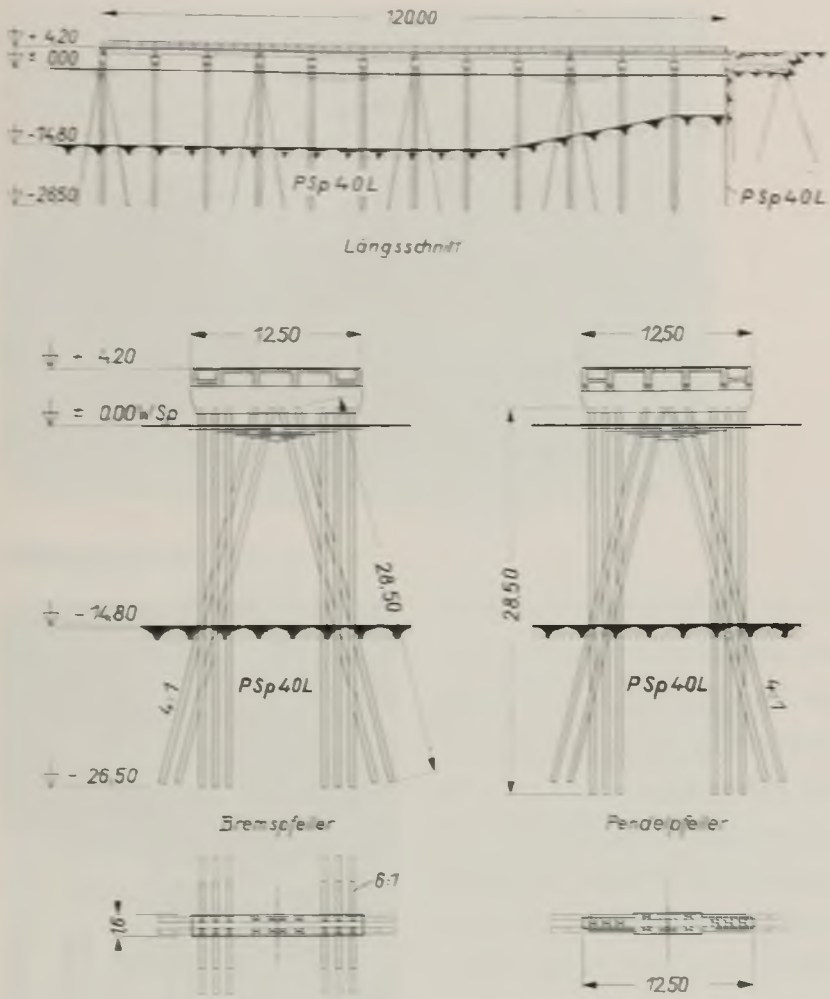
Die Auflagerstützen der Klappbrücke bestehen aus Doppelbohlen PSp 30 L. Baujahr 1935.

Brücke in Afghanistan



Die Brücke wurde auf Pfahljochen aus Doppelbohlen PSp 30 L gegründet. Als Seitenabschlüsse sind Spundwinkel vorgesehen. Die schmalen Pfeiler bieten dem sehr reißenden Strom nur wenig Hindernis. Sie haben sich bei den häufig auftretenden Hochwassern gut bewährt. Baujahr 1937.

Dockliegebrücke in einem Ostseehafen

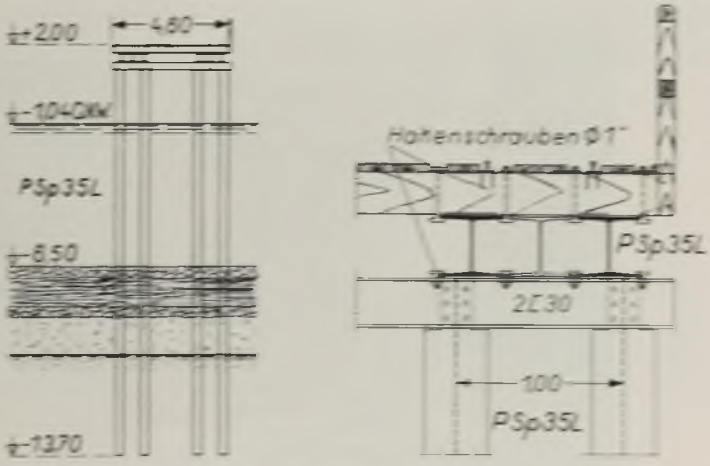


Die Stahlbetonbrücke ruht auf Pfeilern aus PSp 40 S. Zur Aufnahme der waagerechten Kräfte in Richtung der Brückenachse sind zwischen je 2 Pendelpfeilern sogenannte Bremspfeiler mit Schrägpfählen in Brückenlängsrichtung angeordnet. Baujahr 1940.

Hilfspfeiler für eine Brücke in Holland

Gesamtansicht der Brückenbaustelle

Für die Montagebrücke einer 268 m weit gespannten Bogenbrücke über den Waal wurden 6 Pfeilerkästen aus PSp 30 L von abwechselnd 24,0 und 20,0 m Länge gerammt. Die zu übertragende Last betrug rd. 600 bis 1100 t je Pfeiler. Die Pfeiler wurden durch Dalben aus PSp geschützt (s. S. 274). Nach Fertigstellung des Brückenbaues wurden sämtliche Bohlen gezogen und z. T. bei anderen Bauvorhaben wieder verwendet. Baujahr 1935.



Die Pfahljoche und die Längsträger dieser Behelfsbrücke sind aus PSp 35 L hergestellt. Die rd. 15 m langen Pfähle mußten durch 1 m Steinschlag, 1 m Buschwerk und dann 5 bis 6 m Klai und Sand gerammt werden. Es wurde ein 1,5-t-Freifallbär verwendet. Die Längsträger waren 21 m lang. Baujahr 1936.

Notbrücke bei einem großen Brückenumbau

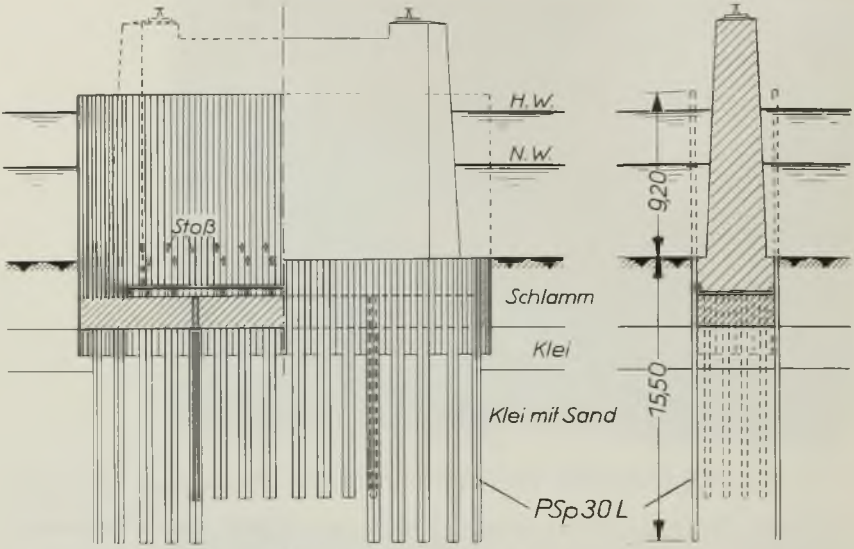
Brückenpfeiler aus Peiner Kastenspundbohlen

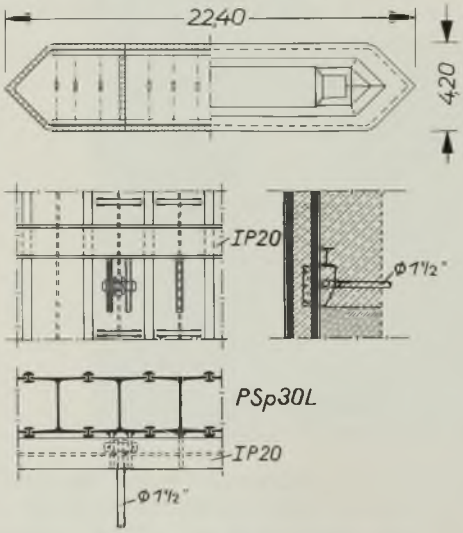
Die Stützen der äußeren Längsträger der Notbrücke bestehen aus Doppelbohlen; die Mittelstützen sind zur Aufnahme der großen senkrechten und waagerechten Kräfte als Bohlwände, die durch Querwände ausgesteift sind, ausgebildet. Verwendet wurden PSp 30 L bis 18,5 m Länge. Belastung gemäß Brückenklasse I. Baujahre 1936/37.

Überbrückung eines Kanals in Holland bei einem Brückenumbau

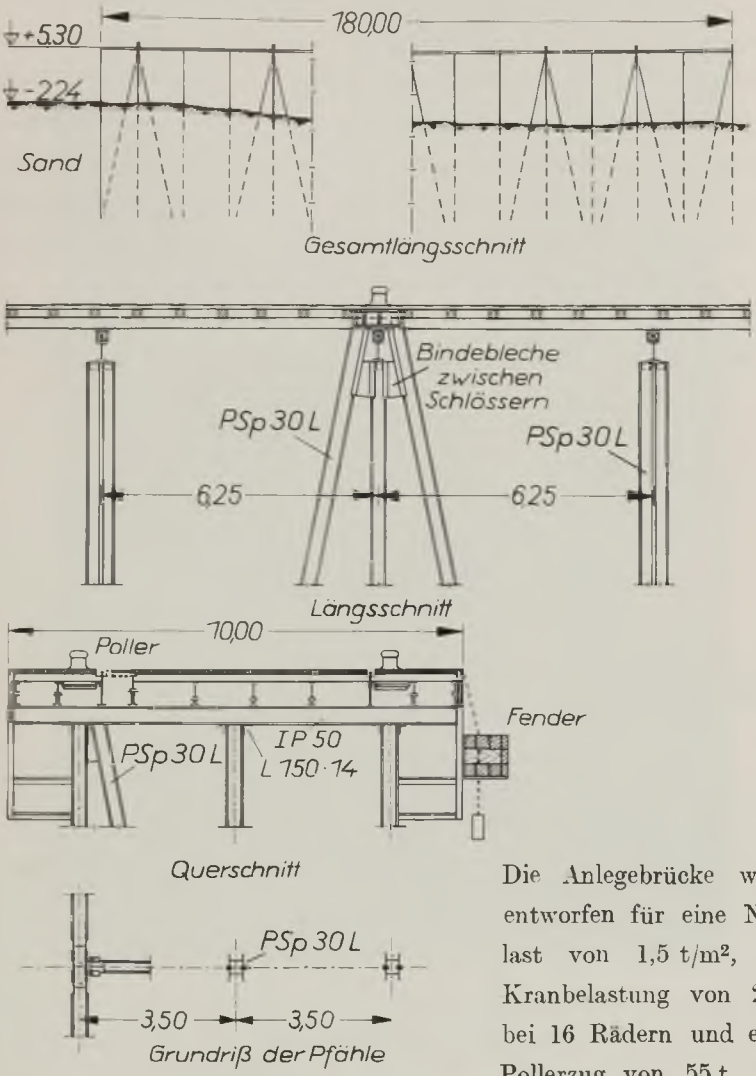
Peiner Kastenspundbohlen PSp 40 S sind für die Herstellung von stark belasteten Mittelpfeilern zwischen Kanal und Straße zur Anwendung gekommen. Die Länge der Spundbohlen betrug 16 bis 17 m und die Rammtiefe etwa 12 m. Ausgebaute Strecke insgesamt 74 m.
Bauzeit 1937—1939.

Entwurf für die Gründung eines Strompfeilers





Der Betonpfeiler wird im Schutze einer Baugrubenumschließung aus Peiner Kastenspundbohlen PSp 30 L hergestellt. Einzelne dieser Baugrubenspundbohlen sind bis in den tragfähigen Baugrund gerammt und dienen gleichzeitig als Tragpfähle. Über der Sohle sind diese Bohlen gestoßen und verlascht, sodaß der obere Teil nach Beendigung der Betonarbeiten wieder gewonnen werden kann. Die kurzen Bohlen werden ebenfalls gezogen. Durch Querwände wird eine Aussteifung hergestellt.



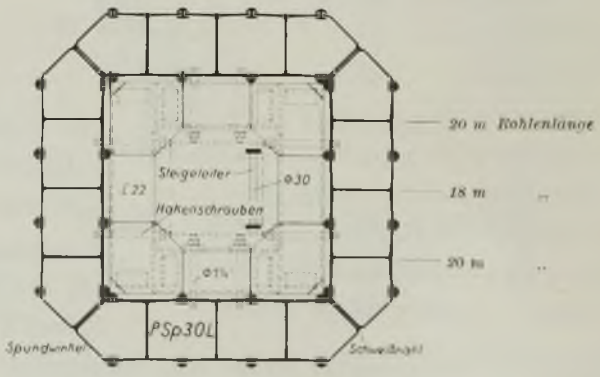
Die Anlegebrücke wurde entworfen für eine Nutzlast von 1,5 t/m², eine Kranbelastung von 256 t bei 16 Rädern und einen Pollerzug von 55 t. Zur Aufnahme der waagerechten Kräfte sind Schrägpfähle vorgesehen. Die Belastung der äußeren Pfahlreihen beträgt rd. 100 t je Pfahl.

4. Dalben und Leitwerke

Die nachfolgenden Ausführungsbeispiele zeigen die mannigfaltigen Gestaltungsmöglichkeiten bei der Verwendung von Peiner Kastenspundbohlen für Dalbenbauten. Man unterscheidet im allgemeinen 2 Arten von Dalben, nämlich Festmache- und Anfahrdalben. Für die Festmachedalben, die möglichst starr auszubilden sind, wird meist ein vieleckiger Grundriß gewählt, oder es werden mehrere Reihen von Spundwänden angeordnet. Die elastischen Anfahrdalben werden dagegen nur aus einer oder zwei kurzen Bohlenreihen hergestellt.

Über die Vorzüge der Peiner Kastenbohlen für den Bau von Dalben ist auf den S. 77 und 78 Näheres ausgeführt.

Festmachedalben in einem Ostseehafen



Grundriß des Dalbens

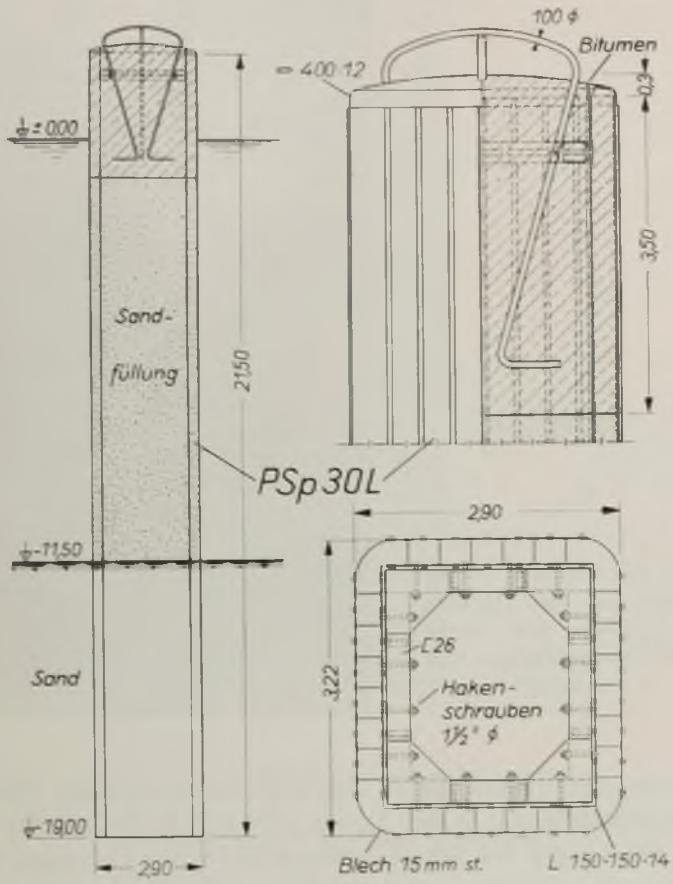
Festmachedalben in einem Ostseehafen

Der aus 12 Bohlen PSp 30 L bestehende Dalben wurde für einen Trossenzug von 50 t entworfen. Die Wassertiefe beträgt 8,50 m. Von den 3 Bohlen jeder Seite sind 2 je 20 m und die mittlere 18 m lang. Die Seitenabschlüsse gem. Abb. 13 (S. 25) sind nur 6 m lang. Der Dalben ist innen hohl und durch eine Öffnung im Betonkopf zwecks Unterhaltung im Innern zugänglich. Baujahr 1939.

Schwerer Festmachedalben in einem Nordseehafen

Ansicht des fertigen Dalbens

Während der Rammung



Als Querschnitt für den schweren Festmachedalben wurde ein geschlossenes Viereck gewählt mit 6 bzw. 7 Bohlen PSp 30 L von 21,50 m Länge auf jeder Seite. Eckverbindungen gem. Abb. 4 (S. 25) mit gebogenen Blechen. Der bauseitig vorgeschriebene stählerne Versteifungsrahmen diente gleichzeitig der Innenführung beim Rammen der Spundbohlen. Anfangs- und Endbohle konnten ohne Schwierigkeiten mit allen Schlössern aneinandergefügt werden. Wassertiefe 11,50 m. Baujahr 1934.

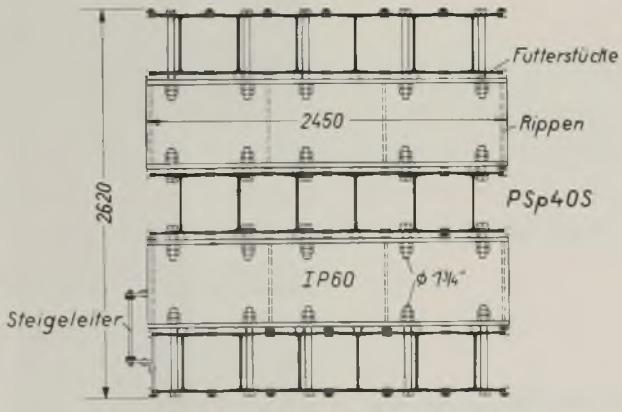
Anlegedalben in Holland

Rammung der PSp 40 S für die Anlegedalben mit der „Holländischen Ramme" und einem Mc Kiernan-Terry-Hammer von 5 t Gewicht

Zum Anlegen von Überseeschiffen sind in einem holländischen Hafen zwei 18-pfählige Dalben aus je drei Reihen PSp 40 S in St Sp 50/60 erstellt worden. Die Längen der Bohlen betragen 25,5 m für die beiden äußeren und 18,5 m für die beiden mittleren Bohlen. Die Wassertiefe ist 10 m. Ausgerüstet wurden die Dalben mit Einzelpollern in der Ausführung ähnlich wie Abb. 40a (S. 51). Die Querschnittsbemessung erfolgte für den Stoß eines 24000-t-Schiffes bei 0,3 m/sec Geschwindigkeit, ferner für einen größten Trossenzug von 135 t[1]). Als größte Durchbiegung waren 1,5 m zugelassen. Bei einem Kostenvergleich stellte sich der Stahldalben günstiger als ein statisch gleichwertiger 36-pfähliger Holzdalben. Baujahr 1939.

[1]) Stahltrosse 165 mm Umfang, 52 mm Durchmesser, 130 kg/mm² Zugfestigkeit des Einzeldrahtes.

Ansicht des fertigen Dalbens



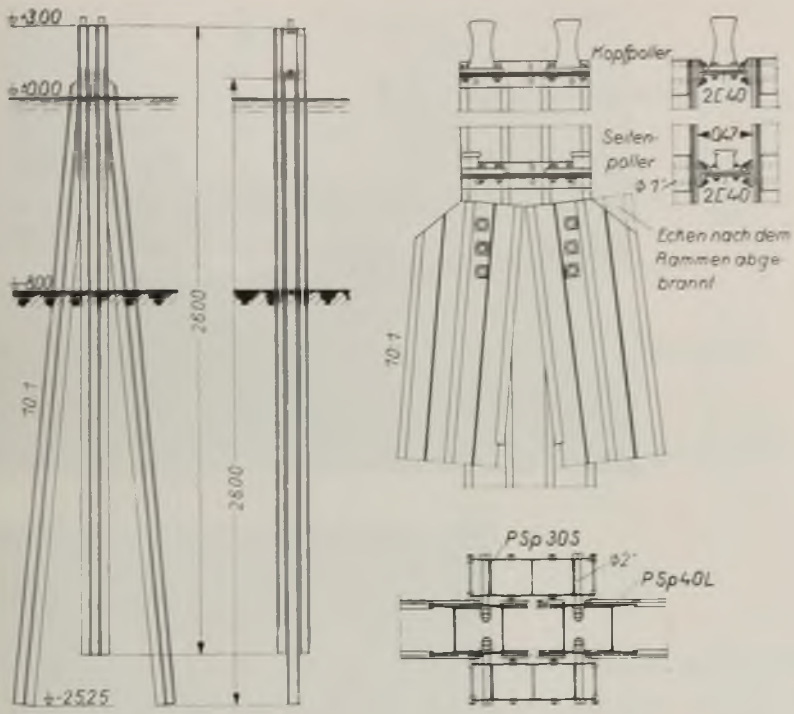
Grundriß des Dalbens

Anlegedalben in einem Ostseehafen

Anlegedalben für eine Kohlenumschlagstelle aus Peiner Kastenspundbohlen

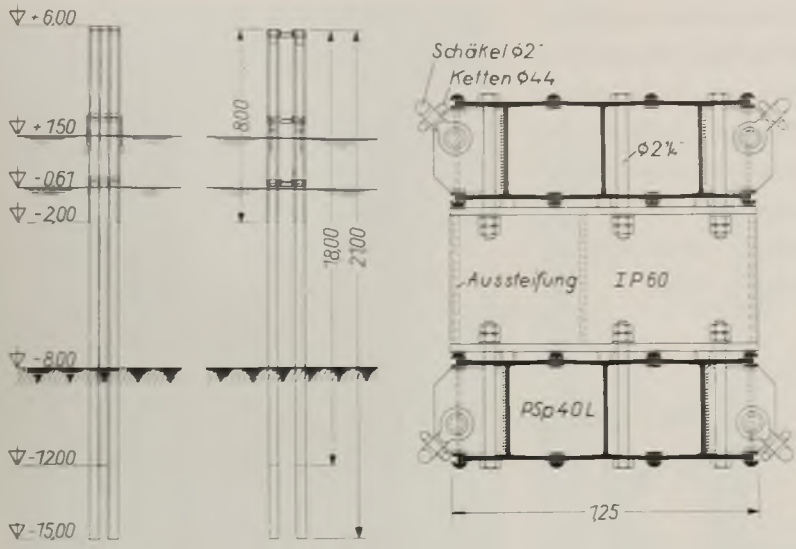
Ansicht des Dalbens vor dem Rammen der Schrägbohlen

Anlegedalben in einem Ostseehafen



Für den Umschlag von 6000-t-Seeschiffen sind 3 Dalben aus Peiner Kastenspundbohlen errichtet. Jeder Dalben besteht aus 2 Wänden mit je 3 Bohlen PSp 30 S, 20 m lang, und ist nachträglich noch durch 2 schräg gerammte Doppelbohlen PSp 40 L, 26 m lang, verstärkt worden. Verbindungskonstruktion und Polleranordnung sind in der Zeichnung im einzelnen dargestellt. Baujahre 1936 und 1938.

Anfahrdalben in einem Nordseehafen



Ansicht und Querschnitt

Grundriß

Vor einem Speicher in einem Nordseehafen sind schwere Anfahrdalben aus 6 Peiner Kastenspundbohlen PSp 40 L in St 50/60 zum Anlegen von Schiffen bis zu 6000 t Größe erstellt worden. Die Dalben sind für Trossenzüge bis zu 60 t bemessen. Die Bohlenlänge beträgt 21,0 m, die Rammtiefe in Fein- und Mittelsand ist 7,0 m, die mittleren Bohlen sind zur Baustoffersparnis im oberen Teil ausgespart und die äußeren Bohlen oben durch kurze Bohlenstücke ausgesteift. Die äußeren Flansche sind durch 8 m lange Schlösser geschützt.

Außerdem sind noch leichte Leitdalben aus je einer Doppelbohle PSp 30 L, 18,0 m lang, errichtet, die gleichzeitig zum Anlegen kleiner Schiffe dienen sollen. An allen Dalben sind zum Festmachen der Schiffe schwere Halteketten angebracht.

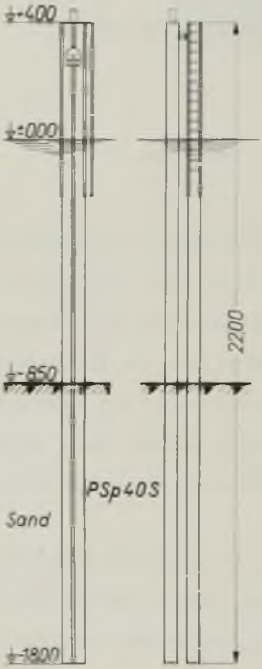
Baujahr 1937, Erweiterung 1938.

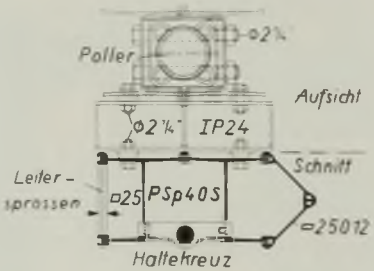
Dalben für eine Schiffsliegestelle an der Ostsee

An den großen 4-pfähligen Dalben legen Seeschiffe bis 6000 t an; die dazwischen stehenden 2-pfähligen Dalben sind für kleinere Schiffe vorgesehen.

Baustoff: St Sp 50/60.

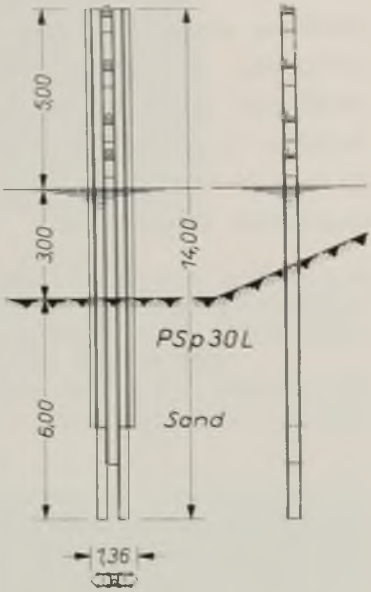
Baujahr: 1936.





Kopfpoller nach Abb. 38 (S. 51), Haltekreuz nach Abb. 41 (S. 52), Leiter zwischen den Bohlenflanschen. Siehe auch S. 77

Dalben im unteren Vorhafen einer Kanalschleuse



Die Dalben sind zum Anlegen von 600-t-Schiffen, die mit einer Geschwindigkeit von 0,3 m/sec unter 30° anfahren, bestimmt. Sie sind ferner für 25 t Trossenzug (Stahltrosse 20 mm Durchmesser) bemessen. Die mittlere Bohle ist im oberen Teil zur Anbringung der Poller nach Abb. 40a (S. 51) ausgespart. Die Dalben sind mit Sand gefüllt und oben mit Beton abgedeckt. Baustoff der PSp 30 L: St Sp 50/60. Baujahr 1938.

Dalben im Oberwasser einer Flußschleuse

Die Dalben bestehen aus Doppelbohlen PSp 30 S in St Sp 50/60 und haben 11,40 m Länge. Die Seitenabschlüsse aus Spundwinkeln sind 8,30 m lang. Zum Festmachen der Schiffe sind die Dalben mit einem einfachen Kopfpoller ausgerüstet. An der Vorderseite sind sie mit Holz ausgekleidet. Baujahr 1939.

Dalben im Oberwasser einer Kanalschleuse

Vor einem Leitwerk an einem westdeutschen Kanal sind 10 Dalben errichtet, von denen jeder aus 3 Bohlen PSp 60 S von 13 m Länge mit Seitenabschlüssen nach Abb. 12 (S. 30) von 6,80 m Länge besteht. O. K. Dalben 1,50 m über Wasser; Wassertiefe 3,8 bis 5,8 m. Baujahr 1934.
An anderer Stelle wurden 12 ähnliche Dalben aus PSp 50 L gerammt. Die seitlichen Abschlüsse wurden hierbei nur durch aufgezogene Schlösser gebildet. Baujahr 1936.

Schutzdalben für die Hilfspfeiler einer Montagebrücke in Holland

Die Dalben sind aus 4 Pfählen PSp 30 L erstellt. Baujahr 1935. (S. auch S. 254.)

Dalbenreihe zur Fahrwasserbegrenzung an der Ostsee

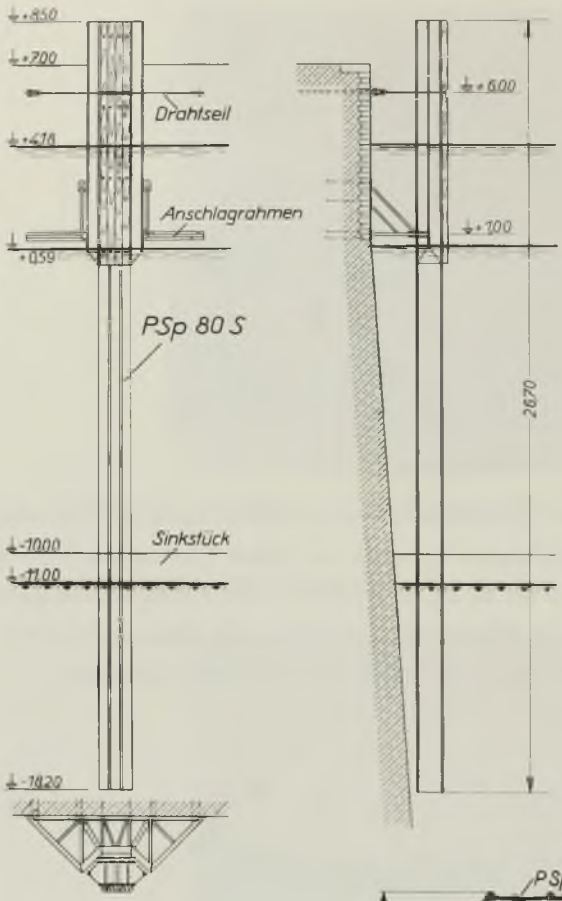
Die Dalben bestehen aus Doppelbohlen PSp 40 S in Längen bis 24,5 m mit Abschlüssen gem. Abb. 11 (S. 30). Insgesamt sind 17 Dalben gebaut. Baujahr 1936.

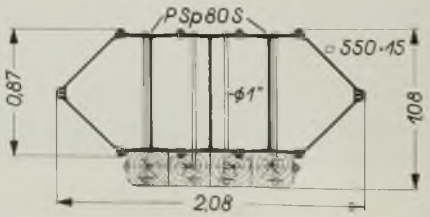
Schrifttum: Die Bautechnik 1938, S. 449.

Dockhaltedalben für eine holländische Werft

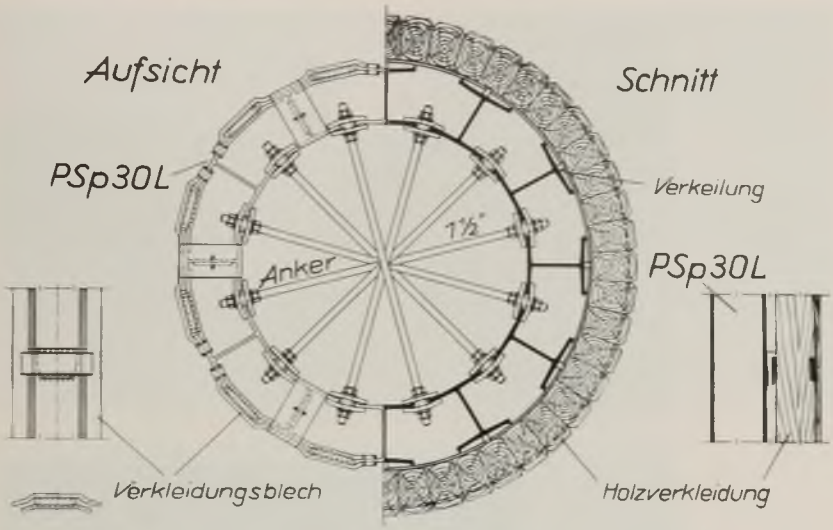
Für die Befestigung großer Schwimmdocks einer holländischen Werft wurden mehrere Dalben mit rechteckigem Grundriß aus Peiner Kastenspundbohlen PSp 40 S in Bohlenlängen bis zu 28,75 m gebaut. Die Seitenabmessungen betragen 1,50 × 3,60 m; die Wassertiefe ist 12,0 m, die Rammtiefe 9,0 m. Jeder der Dalben wurde für einen Winddruck von 100 t bemessen. Baujahre 1934/35.

Fenderdalben an den Außenleitwerken einer Seeschleuse





Die Bemessung dieser schweren Dalben aus Profil PSp 80 S erfolgte für einen Schiffsstoß von 100 t bei einer Anfahrgeschwindigkeit von 0,1 m/sec (6000-t-Schiff) und für einen Trossenzug von rd. 30 t. Zum Abfangen der Kräfte dient ein Fachwerk-Anschlagrahmen. In gleicher Weise wurden auch 2-pfählige Dalben ausgeführt. Baujahr 1937.

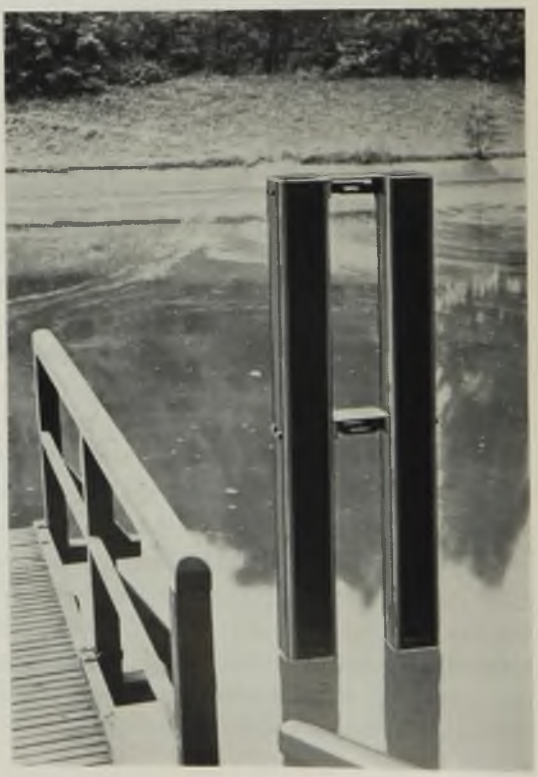


Ausführung mit Stahlverkleidung Ausführung mit Holzverkleidung

In der Zeichnung ist ein Entwurf für einen federnden Dalben nach DRP. 640048 unter Verwendung von Peiner Kastenspundbohlen PSp 30 L dargestellt. Ein nach diesem Vorschlag ausgeführter Dalben kann stärkste Schiffsstöße aufnehmen, da bei jedem Stoß die Bohlen durch die mit Zugstangen (wie Fahrradspeichen wirkend) verbundenen Zwischenstücke nacheinander sämtlich zum Tragen kommen. Die Bohlen werden einzeln, zweckmäßig mit Hilfe einer auf den Boden abgesenkten Schablone, im Kreis gerammt; geringe Abweichungen von der Sollstellung können nach dem Rammen leicht durch die Zuganker ausgeglichen werden.

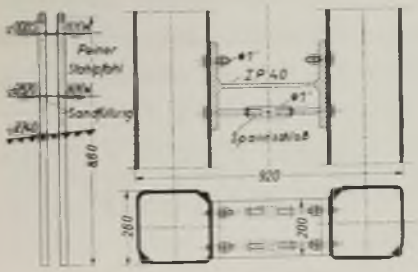
Die äußere Verkleidung des Dalbens kann mit Stahl oder Holz erfolgen. Auf der linken Hälfte der Zeichnung, die den Dalben in Aufsicht zeigt, ist eine Verkleidung mit Stahlblechen dargestellt, die oben an den Bohlen aufgehängt und mit einzelnen angeschweißten Haltebügeln versehen sind. Bei dem Schnitt auf der rechten Hälfte der Zeichnung ist eine Holzverkleidung angegeben, die an einem Flachstahlring aufgehängt wird. Der Dalben kann außerdem noch von einem kräftigen Schwimmfender umgeben werden.

Leitdalben im Unterwasser einer Flußschleuse



Die Dalben bestehen aus 2 Peiner Stahl-Pfählen (s. S. 21) von 8,50 m Länge. Die Verbindung erfolgte durch ⊏-Stähle und Spannschrauben.
Baujahr 1937.

Fahrwasserbegrenzung einer Hafeneinfahrt



Das Fahrwasser einer Hafeneinfahrt wurde durch Dalben aus zwei Peiner Stahl-Pfählen begrenzt.
Bohlenlänge: 8,60 m.
Baujahr: 1939.

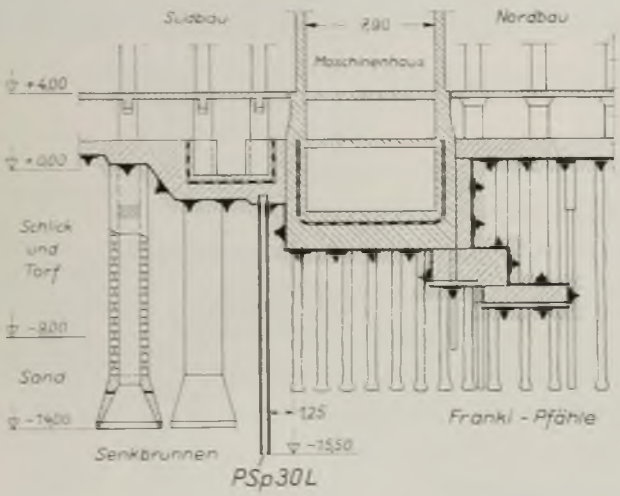
5. Baugrubenumschließungen, Gründungen und Luftschutzbauten

Die Verwendungsmöglichkeiten der Peiner Kastenspundbohlen sind außerordentlich vielseitig. Auf den folgenden Seiten sind einige Ausführungsbeispiele verschiedener Verwendungszwecke erläutert.

Baugrubenumschließung mit Peiner Kastenspundbohlen

Zur Umschließung einer Baugrube für einen Erweiterungsbau wurden im Abstand von 2 m PSp 30 L in St 50/60 von 11 bis 12 m Länge gerammt als Träger der waagerechten Holzausbohlung. Die Peiner Kastenbohlen sind zu diesem Zweck besonders geeignet, da die Holzbohlen auf den breiten Flanschen ein sicheres Auflager haben. Gegenüber P-Trägern mit gleich großem Widerstandsmoment ergibt die Verwendung von PSp eine Stahlersparnis von rd. 13 v. H. Baujahr 1934.

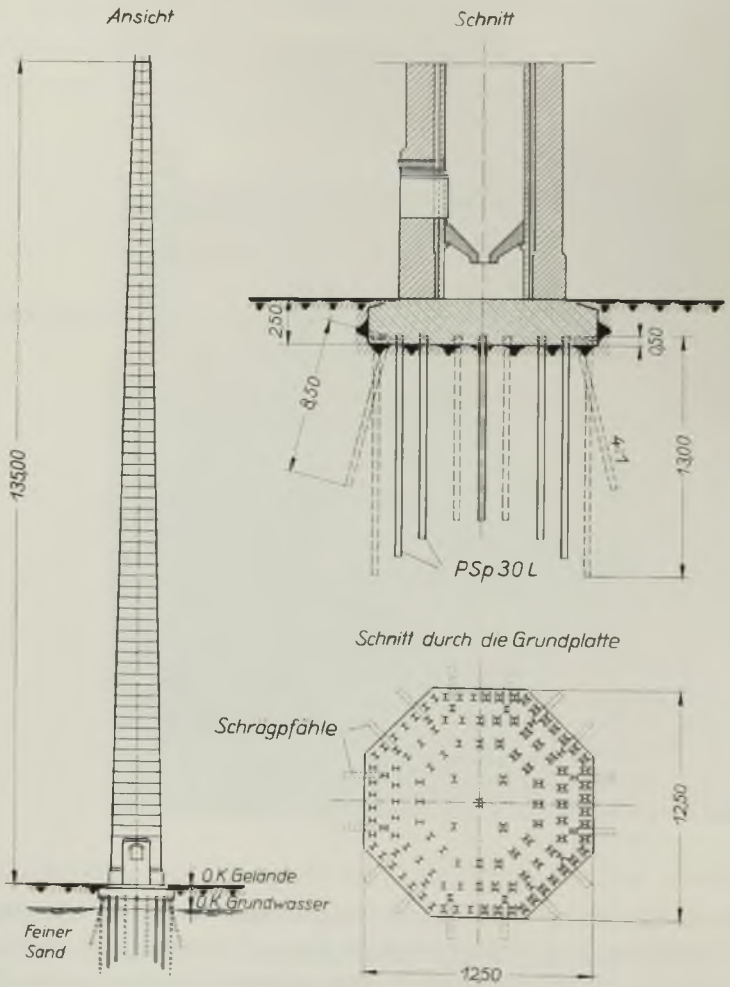
Gründung eines Speichers



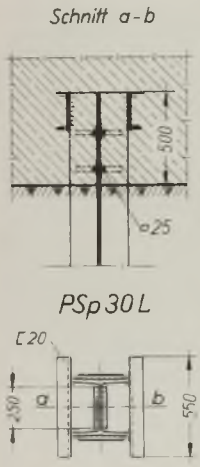
Da die Kaimauer vor dem Speicher schon fertig war, wurde der Südbau zur Vermeidung von Bodenverdrängungen auf Senkbrunnen gegründet. Um gegen das Maschinenhaus und einen späteren Erweiterungsbau einen sicheren Abschluß zu haben, wurden unter jedem Giebel die Brunnen durch eine tragende Peiner Kastenspundwand PSp 30 L von 15,6 bis 16,6 m Länge ersetzt. Baujahr 1935.

Schrifttum: Jahrb. der Hafenbautechn. Gesellschaft, Bd. 16 (1937), S. 248.

Gründung eines Schornsteins auf PSp

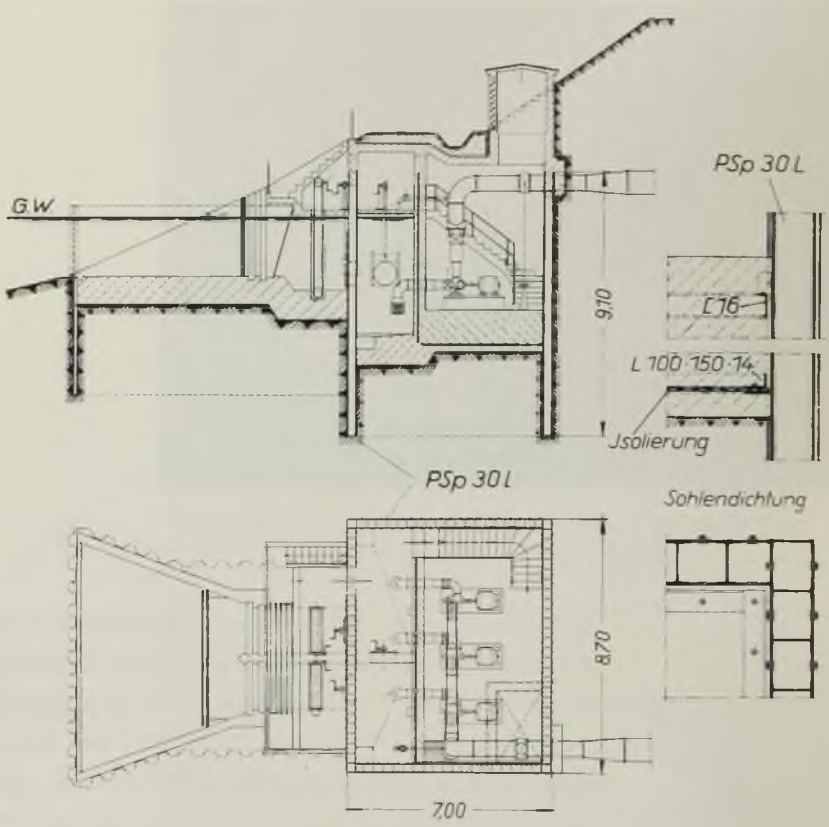


Blick in die Baugrube der Schornsteingründung nach dem Rammen der Peiner Kastenbohlen



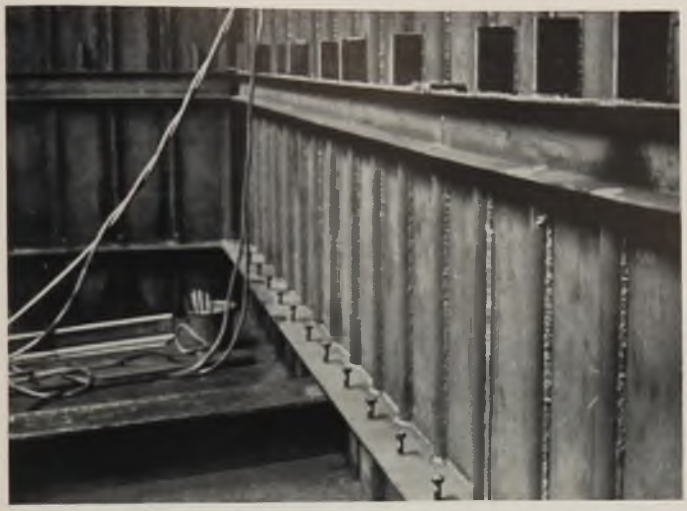
Die Gründung des 135 m hohen Schornsteins hätte bei der üblichen Flachgründung infolge des schlechten Baugrundes eine Fundamentplatte von 25 m Durchmesser erfordert. Da dieser Platz nicht zur Verfügung stand, wurde auf einem Pfahlrost aus PSp 30 L in 11 bis 13 m Länge gegründet und hierbei nur eine Fundamentbreite von 12,5 m benötigt. Die Bohlen müssen eine Gesamtlast von rd. 4200 t und eine seitliche Windlast von 106 t übertragen. Die Belastung einer Bohle beträgt bis zu 66 t. Eine Probebelastung ergab eine Tragfähigkeit bis zu 142 t. Zur sicheren Aufnahme der waagerechten Kräfte wurden noch zusätzliche Schrägpfähle angeordnet. Zwecks Übertragung der lotrechten Kräfte auf die Bohlen wurde die Auflagerfläche durch angeschweißte ⊏-Stähle vergrößert. Baujahr 1935.

Wasserentnahmebauwerk am Mittellandkanal



Bei dem an dem fertigen Kanal herzustellenden Bauwerk dienen die Peiner Kastenspundwände zur Schaffung des Pumpenraumes. Verwendet wurden PSp 30 S in 9,10 m Länge, die durch Verschweißen der Schlösser vollkommen gedichtet wurden. Die Wände sind nicht verankert. Baujahr 1937.

Wasserentnahmebauwerk am Mittellandkanal



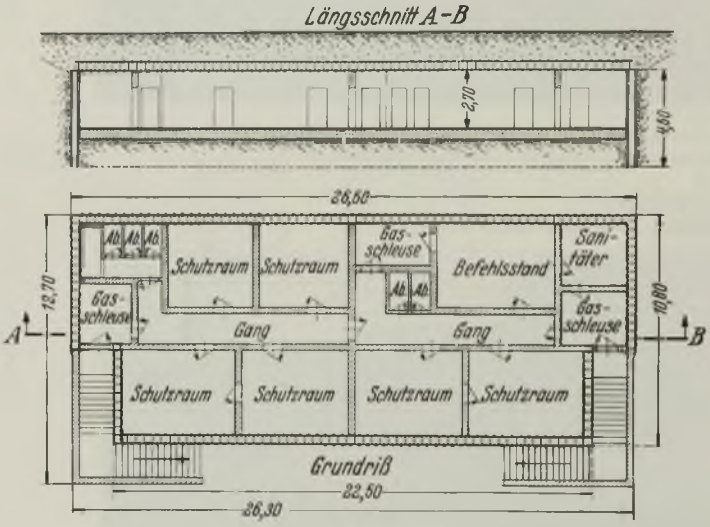
Pumpenkammer aus Peiner Kastenspundbohlen vor dem Einbringen der Sohlendichtung

Trennwand zwischen Klärteichen

Die freistehende Spundwand aus PSp 30 L ist zur Erzielung einer vollkommenen Dichtigkeit ausbetoniert. Baujahr 1937.

Luftschutzbauten aus Peiner Kastenspundbohlen

Die Peiner Kastenspundbohlen sind verschiedentlich zum Bau von Luftschutzräumen verwendet worden. Hierbei wurden sowohl die Umfassungswände als auch die Decke aus PSp hergestellt. Die schubfeste Verbindung zwischen Wand und Decke wurde durch Stahleinlagen erzielt, die in die ausbetonierten Spundbohlenzellen eingreifen. Außerdem wurden, wie die obere Abbildung auf S. 287 zeigt, einzelne Bohlen der Wände höher stehen gelassen. Durch Ausfüllen der Zellen mit Beton wird die Steifigkeit der Spundbohlen gesteigert.



Grundsätzliche Ausbildung eines Luftschutzraumes
aus Peiner Kastenspundbohlen

Ausgeführte Luftschutzbauten aus Peiner Kastenspundbohlen

Luftschutzraum während der Bauausführung nach dem Aufbringen der Deckenbohlen PSp 30 L

Innenansicht eines Luftschutzraumes aus Peiner Kastenspundbohlen. Baujahr 1935

Inneres eines Luftschutzkellers aus Peiner Kastenspundbohlen PSp 30 L in Holland. Baujahr 1938

Bauausführung eines Luftschutzraumes aus PSp 30 L

Das Einziehen der Schlösser erfolgte auf die in entsprechendem Abstand verlegten Deckenbohlen durch kräftige Schläge mit einem Vorhammer. Baujahr 1935.

Bauherren und Baufirmen

Die vorstehend aufgeführten Bauwerke wurden im Auftrage folgender Bauherren ausgeführt:

Marinebaubehörden	12	Bauwerke
Behörden der Reichswasserstraßenverwaltung	20	,,
Landes- und Stadtbauämter	8	,,
Hafenbaubehörden	4	,,
Sonstige Behörden, einschl. Deutsche Reichsbahn	4	,,
Ausländische Behörden	4	,,
Industriewerke	15	,,

An der Ausführung waren folgende Bau- bzw. Stahlbaufirmen[1]), zum Teil in Arbeitsgemeinschaft miteinander und teilweise an mehreren Bauten beteiligt:

Adolf Apfeld, Heydebreck, Oberschl.

Baeumer & Loesch, Oppeln, Oberschlesien.

Julius Berger, Tiefbau-A.-G., Berlin.

Heinr. Berghaus, Dortmund.

Peter Büscher & Sohn, Hannover.

Heinr. Butzer, Dortmund.

Ingenieurbauges. Christiani & Nielsen m. b. H., Hamburg.

Dyckerhoff & Widmann, K.-G., Berlin.

Louis Eilers, Hannover-Herrenhausen.

Franz Engelmann, Stettin.

Ludw. Freytag, Oldenburg (Oldb.).

Grün & Bilfinger, A.-G., Mannheim.

Ing. Friedr. Hanke, Peine.

Hochtief, A.-G. f. Hoch- u. Tiefbauten, vorm. Gebr. Helfmann, Essen/Ruhr.

Ph. Holzmann, A.-G., Frankfurt (Main).

Joh. Karstens, Lübeck.

Joh. Kistner, Wesermünde-Lehe.

Herm. Klammt, Königsberg (Pr).

Gebr. Krieter, Quakenbrück.

Bauunternehmung Kuckertz, G. m. b. H., Jülich.

Lahmann & Co., Hamburg.

Ludw. Lange, K.-G., Hannover.

Ludw. Lange, K.-G., Lübeck.

Mertinkat & Mulack, Königsberg (Pr).

Herm. Möller, Wilhelmshaven.

[1]) Bei den Großfirmen ist nur der Ort des Stammhauses genannt und nicht der der einzelnen beteiligten Niederlassungen.

Polensky & Zöllner, Driesen, N.-M.

Friedr. Preuße, Braunschweig.

Aug. Prien, Hamburg-Harburg.

Gustav W. Rogge, Bremerhaven.

Siemens-Bauunion G. m. b. H., K.-G., Berlin-Siemensstadt.

Karl Scharnberg, Kiel.

F. H. Schmidt, Hamburg.

Fritz Schuppert, Hannover.

Gottlieb Tesch, G. m. b. H.. Berlin.

Waßmann & Co.. Berlin-Spandau.

Neue Bauges. Wayss & Freytag, A.-G., Frankfurt (Main).

Windschild & Langelott, K.-G., Berlin.

N. V. Nederlandsche Betonmaatschappij Bato, v/h. H. Butzer's Beton en Waterbouw, 's-Gravenhage.

N. V. Internationale Gewapendbeton-Bouw, Breda.

N. V. Het Spoorwegbouwbedrijf, Utrecht.

Uitslager, Amsterdam.

Sachverzeichnis

A

Abmessungen der PSp[1]) 14.
— — Schlösser 13.
Abschlüsse, seitliche, der Bohlen 30.
Abzweigausbildung 26, 66.
Anfahrdalben 78, 264, 268—271, 276, 277.
Ankerabstand 37.
Ankeranschluß am Steg 39, 40, 200, 209.
— durch Mutterplatte 36.
—, gelenkiger 38, 210, 313.
— mit Doppelgelenk 46, 200.
— — Gurt 38.
— unter Wasser 40, 200.
Ankerausbildung mit metrischem Gewinde 42.
— — Zoll- (Whitworth-) Gewinde 44.
Ankergurte aus ⊏-Stahl 48.
Ankerlänge 164.
Anlegebrücke 253, 259.
Anschrägen der Bohlenenden bei Seitenneigung 119.
Ansetzen der Bohlen 111.
Anstrich 63.
Auflagerverbreiterung am Kopf der Bohlen 50, 173, 210, 213.
Aufstocken 121.
Aufzeichnung über Probebelastungen 93, 245.
Aufziehen der Schlösser auf die Bohlen 68.
Ausbildung der Doppelgelenke 47.
Ausführungsbeispiel von Probebelastungen 92, 245.
Ausrichten der PSp 33, 112.
Ausrüstung von Uferwänden und Dalben 35.

B

Bärgewicht 100.
Baufirmen der ausgeführten Bauwerke III, 289.
Baugrubenumschließungen 78, 258.
Bauherren der ausgeführten Bauwerke III, 289.
Beanspruchungen, zulässige, bei Ankern 42, 44.
— — — Dalben 158, 188.
— — — Spundbohlen 62, 64.
Belastungsschaubild bei Probebelastungen 93, 245.
Belastungsvorrichtung der Ilseder Hütte 90, 92.
Berechnungen von Spundwandbauwerken 137.
Berechnungsbeispiel für eine zusammengesetzte Spundwand 84.
— — — verankerte Spundwand 159.
— — — Stahlbeton-Winkelstützmauer auf hohem Pfahlrost mit vorderer Spundwand 166.
— — einen Brückenpfeiler 175.
— — — Dalben 155, 186.
Berechnungsverfahren von Dörr 88, 146, 171, 178.
Betonholm 49.
Biegungsmomente, aufnehmbare 22.
Bodenbeiwerte 138.
Bogenausbildungen 28, 212, 225.
Brückengründungen 74, 233.
Brückenpfeiler 74, 175, 233, 236, 238, 242, 248—250, 252, 253, 256—259.
Brückenwiderlager 74, 234, 238—247, 251, 257.

[1]) Für Peiner Kastenspundbohlen wird die Abkürzung PSp gebraucht.

C

Coulombsche Erddrucklehre (klassische) 140.
Culmann, Berechnungsverfahren für Pfähle 170.

D

Dalben, allgemein 77, 260.
—, Anfahr- 264, 268—271, 276, 277.
—, Berechnungen von 155, 186.
—, Dockhalte- 275.
—, Festmache-, Anlege- 260—267.
—, Leit- 272—274, 278, 279.
—, Seitenpoller für 51, 264, 267, 271.
Dammbalken 232.
Dampfbär 97.
Dehnung des Stahles 62.
Demag-Union-Rammhammer, Verwendung bei PSp 98.
Dichten der Schlösser 130.
Diesel-Rammhammer 100.
Dockhaltedalben 275.
Dockliegebrücke 253.
Doppelgelenk 37, 46, 47, 200.
Doppelpoller 51.
Dörr, Berechnungsverfahren 88, 146, 171, 178.
Drahtseilverankerung 200.
Druckversuche 91.
Dynamische Rammformeln 94, 149.

E

Eckausbildungen 24—26, 66.
Eckkeile 116, 117.
Eigenschaften der PSp 58.
Einfädeln 111.
Entleerung der Bohlenzellen 125.
Erddruck 140.
Erdräumer 116, 117.
Erdwiderstand vor Spundwänden 140.
Erdwiderstand vor Einzelpfählen (Dalben oder Brückenpfeilern) 143.
Erste Bohle 111, 112.

F

Federnder Dalben 277.
Felsrammung 71, 214.
Fender 56, 204, 211, 226, 259, 261, 265, 272, 276, 277.
Fenderdalben 276.
Festigkeitswerte der Stahlsorten bei PSp 62.
— — Schlösser 63.
Festmachedalben 78, 260—267.
Flachstahlverankerung 209.
Fluchtanzeigegerät 109, 110.
Flußwehr 232.
Freifallbär 99.
Freirammung (ohne Mäklerführung) 103.
Freistehende Wand 73, 217.
Führung der Bohlen beim Rammen 105—109.
Führungsgestell am Rammhammer 104.
— für Bohlen 108.
Fußvoreilung 32, 114.

G

Gekupferter Stahl 64.
Gelenkiger Ankeranschluß 38, 46, 210.
Geschlossenen Kästen, Rammung von 123, 246.
Gewichte der Eck- und Abzweigbohlen 27.
— — Pfeilerabschlüsse 31.
— — PSp 14—19.
— — Schlösser 13.
—, rechnerisches Gewicht bei Bohlenlieferungen 14, 69.

Gründungen von Brücken 76, 233—259.
— — Hochbauten u. a. 78, 281—285.
Gurt 38, 48.
Güteverhältnis 15, 65, 82.

H

Haftfestigkeit 139, 143.
Haltevorrichtungen (-ketten, -kreuze, -ringe) 52, 53, 269.
Hilfspfeiler 254—256.
Holländische Ramme 264.
Holmausbildung 49.

J

Jungfern der Bohlen 121, 122, 205.

K

Kaiwände 71, 198—211, 218—221.
Kammerwände von Schleusen 226—231.
Kantenpoller 51.
Kästen, Rammung von geschlossenen 123, 246.
Keilbohlen 32.
Kennzeichnung der Profile 14, 69.
Knicklänge 154.
Knickzahlen 153.
Kohäsion 139, 143.
Kopfausbildung 49.
Kopfpoller 51.
Kopfvoreilung 32, 118.
Kranhakenloch 69.
Kreisrammung 28, 212, 225.
Kreuzbohle 26.
Krupp-Bohlen, zusammengesetzte Spundwand aus Peiner Bohlen und 83.
Kupferhaltiger Stahl 64.

L

Länge der Bohlen 69.
— — Schlösser 68, 69, 117.
Längskräfte, Aufnahme von —n 152.
Lebensdauer 63.
Leitdalben 77, 272—274, 278, 279.
Leitern 54, 260, 265, 270.
Leitwerke 77, 273.
Lieferung der Bohlen 68.
Lochung der Bohlen zum Aufziehen 69.
Lotung der Zellen von PSp 126.
Luftschutzräume aus PSp 80, 286—288.

M

Mäklerführung 103—109.
Menck-Dieselhammer, Verwendung bei PSp 98.
—-Schnellschlaghammer, Verwendung bei PSp 98.
Meßschlitten zur Zellenlotung 126.
Messung der Bohlenstellung 114, 127.
Metrisches Gewinde 42.
Mitziehen 120.
Molen 71, 198, 212, 213, 215, 216.
—, Rammverfahren bei 109, 215.
Muffen für Anker 43, 45.
Muttern für Anker 43, 45.
Mutterplatten 36, 210, 228.

N

Nachrammen von PSp 122, 205.
Neigung der Flansch- und Keulenflächen 59.
Neigungsmessung 127.
Normalverankerung 36, 37.

P

Paßbohlen 32.
Pfahlbelastungen, zulässige 146, 151.

Pfahlbelastungen, bei Probebelastungen erzielte 151.
Pfahlberechnung 170.
Pfähle aus PSp 16—19.
— — —, Auflagerverbreiterung 50, 173, 210, 213.
— — —, Rammung 123.
—, Peiner Stahl-Pfahl 21, 278, 279.
Pfeilerabschlüsse 30.
Pfeiler für Brücken 74, 175, 233, 236, 238, 242, 248—250, 252, 253, 256—259.
Poller 50, 51, 267, 270ff.
Probebelastungsgerät der Ilseder Hütte 90, 92.
Probebelastung von Pfählen aus PSp 68, 87.
— — — — —, Aufzeichnungen 93, 245.
Profile der PSp 3—12.
— — Schlösser 13.
Profilform 58.
Profilwechsel, Übergangsbohlen 29.
Profilzellen, Entleerung der 125.
Punktförmige Auflagerung bei Ankern 39, 213.

Q

Querschnittsbemessung von Ankergurten 48.
— — Rundstahlankern 42—45.

R

Rammen der PSp 69, 95, 112.
Rammergebnisse, -leistungen 115.
Rammgeräte 96.
Rammhammer 97, 98.
Rammhauben 101, 102.
Rammingenieure der Ilseder Hütte 128.
Rammrichtung 112.
— bei der zusammengesetzten Spundwand 86, 124.
Raumgewicht 139.
Rechnerisches Gewicht der Lieferungen 14, 69.
Rechtwinklige Eckausbildungen 25.
Reibehölzer 56, 204, 211, 226, 259, 261, 265, 272, 276, 277.
Reibungswinkel ϱ, Reibungszahl μ 139.
Richten der Keilbohlen 33, 112.
Richtlinien für die zulässige Belastung des Baugrundes und der Pfahlgründungen 88, 146.
Rostschutz 63.
Rundstahlanker mit metrischem Gewinde 42.
— — Zollgewinde 44.

S

Schiefwinklige Eckausbildungen 26.
Schiffshalteketten, -kreuze, -ringe 52, 53, 269ff.
Schiffsliegeplätze 206.
Schleusen 73, 223—231.
Schlösser der PSp 13, 14, 60.
Schloßdichtungsmaschine 129.
Schlußbohle 32, 33.
Schnellschlaghammer 97, 98.
Schornsteingründung 282.
Schraubzwinge zum Ausrichten der PSp 112.
Schrifttum über Berechnung von Spundwandbauwerken 194.
— — Haltevorrichtungen 53.
— — Probebelastungen 94.
— — PSp 80.
Schutzanstrich 64.
Schweißnahtlänge, Ermittlung der 185, 193.
Schwimmramme 113.
Seitenpoller 51.
Seitliche Neigung der PSp 118.
Senkrechte Belastung 152.
Sonderprofile (SS) 9—12, 59.
Spannschloß 37, 43, 45.

Sparbauweise 204.
Spülen 120.
Spundwinkel, Peiner 20, 27, 30.
Staffelung der Bohlen 66, 75, 200, 207, 210.
Stahlbeton-Holm 49.
Stahlersparnis 66, 74, 75, 85, 204.
Stahlgüten 62.
Stahlholm 49.
Stahl-Pfahl, Peiner 21, 278, 279.
Statische Werte der PSp 15—19.
Stoßkraft bei Dalben 157.

T

Thomasstahl 62.
Torkammern 223—225.
Tragfähigkeit der PSp 67.
Tragfähigkeit, Ermittlung durch Probebelastung 68, 151.
—, — nach der Formel von Dörr 146, 151, 171, 178.
Treppen 56.
Trossenzug bei Dalben 156.

U

Übergangsausbildungen 29.
Ufersicherung 214, 222.
Uferwände 71, 198—211, 218—221.
Union-Holmträger 49.
Unterhaltungskosten bei Schleusen 74.
Unterwasserverankerung 40, 200.
Unverankerte Wand 73, 217.

V

Verankerungen, Ausbildungen 36, 200, 209.
—, Berechnungen 163.
— der zusammengesetzten Spundwand 41.
Vergleich mit I P-Profilen 79.
Verstärkt gewalzte Profile 2.
Verwendungsgebiete 71.
Verzahnung der Wandunterkante 66, 200, 207, 210.
— — Wandoberkante 205.
Vierwalzen-Walzwerk 61.

W

Walzverfahren bei PSp 61.
Wasserdichtigkeit 60.
— durch Schloßdichtungsmaschine 129.
Wehre 232.
Whitworth-Gewinde bei Ankern 44.
Widerlager aus PSp 74, 234, 238—247, 251, 257.
Wirkungsgrad $W_x : G$ 15, 65, 82.
Wulststreifen zur Kenntlichmachung des breiteren Flansches 59.

Z

Zellenentleerung 125.
Zellenlotung 126.
Zellenpressung 32, 114.
Ziehen von PSp 71.
Zollgewinde (Whitworth) 44.
Zubehörteile zu Uferwänden und Dalben 35.
Zugkraft, zulässige, bei Zugpfählen 148.
Zugversuche bei Probebelastungen 89—91.
Zusammengesetzte Spundwand Peine-Krupp 67, 81, 218—221.
— — —, Berechnungsbeispiel 84.
— — —, Rammung 86, 124.
— — —, Verankerung der 41, 219, 221.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA Gliwice
BIBLIOTEKA POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

BG Politechniki Śląskiej
nr inw.: 102 - 136622
Dyr.1 136622