

**DIN EN 1993-5****DIN**

ICS 91.010.30; 91.080.10

Ersatz für  
DIN EN 1993-5:2007-07 und  
DIN EN 1993-5  
Berichtigung 1:2009-12**Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –  
Teil 5: Pfähle und Spundwände;  
Deutsche Fassung EN 1993-5:2007 + AC:2009**Eurocode 3: Design of steel structures –  
Part 5: Piling;  
German version EN 1993-5:2007 + AC:2009Eurocode 3: Calcul des structures en acier –  
Partie 5: Pieux et palplanches;  
Version allemande EN 1993-5:2007 + AC:2009

Gesamtumfang 94 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

## DIN EN 1993-5:2010-12

### Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 1993-5:2007 + AC:2009) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Die Arbeiten auf nationaler Ebene wurden durch die Experten des NABau-Spiegelausschusses NA 005-08-19 AA „Stahlpundwände und Stahlpfähle“ begleitet.

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 12. Juni 2006 angenommen.

Die Norm ist Bestandteil einer Reihe von Einwirkungs- und Bemessungsnormen, deren Anwendung nur im Paket sinnvoll ist. Dieser Tatsache wird durch das Leitpapier L der Kommission der Europäischen Gemeinschaft für die Anwendung der Eurocodes Rechnung getragen, indem Übergangsfristen für die verbindliche Umsetzung der Eurocodes in den Mitgliedstaaten vorgesehen sind. Die Übergangsfristen sind im Vorwort dieser Norm angegeben.

Die Anwendung dieser Norm gilt in Deutschland in Verbindung mit dem Nationalen Anhang.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN [und/oder die DKE] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Der Beginn und das Ende des hinzugefügten oder geänderten Textes wird im Text durch die Textmarkierungen AC AC angezeigt.

### Änderungen

Gegenüber DIN V ENV 1993-5:2000-10 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) die Stellungnahmen der nationalen Normungsinstitute wurden eingearbeitet;
- b) der Vornormcharakter wurde aufgehoben;
- c) der Text wurde vollständig überarbeitet.

Gegenüber DIN EN 1993-5:2007-07 und DIN EN 1993-5 Berichtigung 1:2009-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Vorgänger-Norm mit der Berichtigung 1 konsolidiert;
- b) redaktionelle Änderungen durchgeführt.

### Frühere Ausgaben

DIN V ENV 1993-5: 2000-10

DIN EN 1993-5: 2007-07

DIN EN 1993-5 Berichtigung 1: 2009-12

EUROPÄISCHE NORM  
EUROPEAN STANDARD  
NORME EUROPÉENNE

**EN 1993-5**

Februar 2007

**+AC**

Mai 2009

ICS 91.010.30; 91.080.10

Ersatz für ENV 1993-5:1998

Deutsche Fassung

**Eurocode 3 —  
Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten —  
Teil 5: Pfähle und Spundwände**

Eurocode 3 —  
Design of steel structures —  
Part 5: Piling

Eurocode 3 —  
Calcul des structures en acier —  
Partie 5: Pieux et palplanches

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 12. Juni 2006 angenommen.

Die Berichtigung tritt am 13. Mai 2009 in Kraft und wurde in EN 1993-5:2007 eingearbeitet.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG  
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION  
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

**Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels**

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

## Inhalt

	Seite
<b>Vorwort</b> .....	<b>5</b>
<b>Hintergrund des Eurocode-Programms</b> .....	<b>5</b>
<b>Status und Gültigkeitsbereich der Eurocodes</b> .....	<b>6</b>
<b>Nationale Fassungen der Eurocodes</b> .....	<b>7</b>
<b>Verbindung zwischen den Eurocodes und den harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte (EN und ETAG)</b> .....	<b>7</b>
<b>Zusätzliche Hinweise zu EN 1993-5</b> .....	<b>7</b>
<b>Nationaler Anhang zu EN 1993-5</b> .....	<b>8</b>
<b>1 Allgemeines</b> .....	<b>9</b>
1.1 Anwendungsbereich .....	9
1.2 Normative Verweisungen .....	10
1.3 Annahmen .....	11
1.4 Unterscheidung nach Grundsätzen und Anwendungsregeln.....	11
1.5 Begriffe .....	11
1.6 Symbole .....	12
1.7 Einheiten .....	13
1.8 Begriffsbestimmung .....	13
1.9 Vereinbarung für die Spundbohlenachsen .....	22
<b>2 Grundlagen für Entwurf, Bemessung und Konstruktion</b> .....	<b>22</b>
2.1 Allgemeines.....	22
2.2 Kriterien für den Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	23
2.3 Kriterien für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit .....	24
2.4 Baugrunderkundungen und Bodenparameter.....	24
2.5 Statische Berechnung .....	24
2.5.1 Allgemeines.....	24
2.5.2 Bestimmung der Einwirkungen.....	25
2.5.3 Tragwerksberechnung .....	25
2.6 Versuchsgestützte Bemessung .....	26
2.6.1 Allgemeines.....	26
2.6.2 Tragpfähle.....	26
2.6.3 Stahlspundwände .....	26
2.6.4 Verankerung .....	26
2.7 Rammbarkeit .....	26
<b>3 Werkstoffeigenschaften</b> .....	<b>27</b>
3.1 Allgemeines .....	27
3.2 Tragpfähle.....	27
3.3 Warmgewalzte Stahlspundbohlen .....	27
3.4 Kaltgeformte Stahlspundbohlen .....	28
3.5 Profile für Gurtungen und Aussteifungen.....	28
3.6 Verbindungsmittel .....	28
3.7 Stahlteile für Anker .....	28
3.8 Stahlteile für kombinierte Spundwände .....	28
3.9 Bruchzähigkeit .....	29
<b>4 Dauerhaftigkeit</b> .....	<b>29</b>
4.1 Allgemeines.....	29
4.2 Dauerhaftigkeitsanforderungen für Tragpfähle.....	31
4.3 Dauerhaftigkeitsanforderungen an Spundwände .....	31
4.4 Korrosionsraten für die Bemessung .....	32

<b>5</b>	<b>Grenzzustände der Tragfähigkeit .....</b>	<b>33</b>
5.1	Grundlagen .....	33
5.1.1	Allgemeines .....	33
5.1.2	Bemessung .....	33
5.1.3	Ermüdung.....	34
5.2	Spundwände .....	34
5.2.1	Querschnittsklassifizierung .....	34
5.2.2	Spundwände bei Biegung und Querkraft.....	35
5.2.3	Spundwände mit Biegung, Quer- und Normalkraft.....	39
5.2.4	Lokale Auswirkungen von Wasserdrücken .....	44
5.2.5	Flachprofile .....	45
5.3	Tragpfähle .....	48
5.3.1	Allgemeines .....	48
5.3.2	Bemessungsverfahren und -hinweise.....	48
5.3.3	Stahlpfähle .....	48
5.3.4	Betongefüllte Tragpfähle .....	50
5.4	Trägerpfahlwände.....	50
5.5	Kombinierte Wände.....	50
5.5.1	Allgemeines .....	50
5.5.2	Füllelemente.....	51
5.5.3	Verbindungselemente .....	52
5.5.4	Tragelemente .....	52
<b>6</b>	<b>Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit .....</b>	<b>53</b>
6.1	Grundlagen .....	53
6.2	Verformungen von Stützwänden .....	53
6.3	Verformungen von Tragpfählen .....	53
6.4	Konstruktive Aspekte von Stahlspundwänden .....	53
<b>7</b>	<b>Anker, Gurtungen, Aussteifungen und Anschlüsse .....</b>	<b>55</b>
7.1	Allgemeines .....	55
7.2	Verankerungen .....	55
7.2.1	Allgemeines .....	55
7.2.2	Grundlegende Bemessungsbestimmungen .....	56
7.2.3	Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	56
7.2.4	Gebrauchstauglichkeitsnachweis .....	57
7.2.5	Anforderungen an die Dauerhaftigkeit.....	57
7.3	Gurtungen und Aussteifungen .....	57
7.4	Verbindungen .....	58
7.4.1	Allgemeines .....	58
7.4.2	Tragpfähle .....	58
7.4.3	Verankerung.....	60
<b>8</b>	<b>Ausführung .....</b>	<b>64</b>
8.1	Allgemeines .....	64
8.2	Stahlspundwände.....	64
8.3	Tragpfähle .....	64
8.4	Verankerungen .....	64
8.5	Gurtungen, Steifen und Verbindungen .....	64
<b>Anhang A (normativ) Dünnwandige Stahlspundwände.....</b>		<b>65</b>
<b>A.1 Allgemeines .....</b>		<b>65</b>
A.1.1	Geltungsbereich .....	65
A.1.2	Form von kaltgeformten Stahlspundbohlen.....	65
A.1.3	Begriffe .....	65
<b>A.2 Grundlagen für Entwurf, Bemessung und Konstruktion .....</b>		<b>66</b>
A.2.1	Grenzzustände der Tragfähigkeit .....	66
A.2.2	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit .....	66

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

	Seite
<b>A.3 Werkstoff- und Querschnittseigenschaften</b> .....	<b>66</b>
<b>A.3.1 Werkstoffeigenschaften</b> .....	<b>66</b>
<b>A.3.2 Querschnittseigenschaften</b> .....	<b>68</b>
<b>A.4 Lokales Beulen</b> .....	<b>69</b>
<b>A.5 Querschnittswiderstand</b> .....	<b>71</b>
<b>A.5.1 Allgemeines</b> .....	<b>71</b>
<b>A.5.2 Biegemoment</b> .....	<b>72</b>
<b>A.5.3 Querkräfte</b> .....	<b>73</b>
<b>A.5.4 Lokale Einleitung quergerichteter Kräfte</b> .....	<b>73</b>
<b>A.5.5 Kombination aus Querkraft und Biegemoment</b> .....	<b>74</b>
<b>A.5.6 Kombination aus Biegemoment und lokalen quergerichteten Kräften</b> .....	<b>74</b>
<b>A.5.7 Kombination aus Biegemoment und Normalkraft</b> .....	<b>74</b>
<b>A.5.8 Lokale Querbiegung</b> .....	<b>74</b>
<b>A.6 Rechnerischer Nachweis</b> .....	<b>75</b>
<b>A.7 Versuchsgestützte Bemessung</b> .....	<b>75</b>
<b>A.7.1 Grundlagen</b> .....	<b>75</b>
<b>A.7.2 Bedingungen</b> .....	<b>76</b>
<b>A.7.3 Querschnittswerte auf der Grundlage von Versuchen</b> .....	<b>76</b>
<b>Anhang B (informativ) Versuche mit dünnwandigen Spundbohlen</b> .....	<b>77</b>
<b>B.1 Allgemeines</b> .....	<b>77</b>
<b>B.2 Versuche mit Einfeldträgern</b> .....	<b>77</b>
<b>B.3 Versuche am Zwischenlager</b> .....	<b>78</b>
<b>B.4 Versuche mit Zweifeldträgern</b> .....	<b>79</b>
<b>B.5 Auswertung der Versuchsergebnisse</b> .....	<b>80</b>
<b>B.5.1 Allgemeines</b> .....	<b>80</b>
<b>B.5.2 Anpassung von Versuchsergebnissen</b> .....	<b>80</b>
<b>B.5.3 Charakteristische Werte</b> .....	<b>80</b>
<b>B.5.4 Bemessungswerte</b> .....	<b>80</b>
<b>Anhang C (informativ) Anleitung zur Bemessung von Stahlspundwänden</b> .....	<b>82</b>
<b>C.1 Bemessung von Spundbohlenquerschnitten für den Grenzzustand der Tragfähigkeit</b> .....	<b>82</b>
<b>C.1.1 Allgemeines</b> .....	<b>82</b>
<b>C.1.2 Nachweis von Klasse-1- und Klasse-2-Querschnitten</b> .....	<b>83</b>
<b>C.2 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit</b> .....	<b>85</b>
<b>Anhang D (informativ) Tragelemente bei kombinierten Spundwänden</b> .....	<b>87</b>
<b>D.1 I-Profile als Tragelemente</b> .....	<b>87</b>
<b>D.1.1 Allgemeines</b> .....	<b>87</b>
<b>D.1.2 Nachweismethode</b> .....	<b>87</b>
<b>D.2 Rohrpfähle als Tragelemente</b> .....	<b>89</b>
<b>D.2.1 Allgemeines</b> .....	<b>89</b>
<b>D.2.2 Nachweismethode</b> .....	<b>91</b>

## Vorwort

Diese Europäische Norm EN 1993-5 + AC:2009, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 5: Pfähle und Spundwände* wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird. CEN/TC 250 ist verantwortlich für alle Eurocodes.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis August 2007, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis März 2010 zurückgezogen werden.

Dieses Dokument ersetzt ENV 1993-5:1998.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

## Hintergrund des Eurocode-Programms

1975 beschloss die Kommission der Europäischen Gemeinschaften, für das Bauwesen ein Programm auf der Grundlage des Artikels 95 der Römischen Verträge durchzuführen. Das Ziel des Programms war die Beseitigung technischer Handelshemmnisse und die Harmonisierung technischer Normen.

Im Rahmen dieses Programms leitete die Kommission die Bearbeitung von harmonisierten technischen Regelwerken für die Tragwerksplanung von Bauwerken ein, die im ersten Schritt als Alternative zu den in den Mitgliedsländern geltenden Regeln dienen und diese schließlich ersetzen sollten.

15 Jahre lang leitete die Kommission mit Hilfe eines Steuerkomitees mit Repräsentanten der Mitgliedsländer die Entwicklung des Eurocode-Programms, das zu der ersten Eurocode-Generation in den 80er Jahren führte.

Im Jahre 1989 entschieden sich die Kommission und die Mitgliedsländer der Europäischen Union und der EFTA, die Entwicklung und Veröffentlichung der Eurocodes über eine Reihe von Mandaten an CEN zu übertragen, damit diese den Status von Europäischen Normen (EN) erhielten. Grundlage war eine Vereinbarung<sup>1)</sup> zwischen der Kommission und CEN. Dieser Schritt verknüpft die Eurocodes de facto mit den Regelungen der Ratsrichtlinien und Kommissionsentscheidungen, die die Europäischen Normen behandeln (z. B. die Ratsrichtlinie 89/106/EWG zu Bauprodukten, die Bauproduktenrichtlinie, die Ratsrichtlinien 93/37/EWG, 92/50/EWG und 89/440/EWG zur Vergabe öffentlicher Aufträge und Dienstleistungen und die entsprechenden EFTA-Richtlinien, die zur Einrichtung des Binnenmarktes eingeleitet wurden).

Das Eurocode-Programm umfasst die folgenden Normen, die in der Regel aus mehreren Teilen bestehen:

EN 1990, *Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1991, *Eurocode 1: Einwirkung auf Tragwerke*

EN 1992, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbetonbauten*

EN 1993, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*

EN 1994, *Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Stahl-Beton-Verbundbauten*

---

1) Vereinbarung zwischen der Kommission der Europäischen Gemeinschaft und dem Europäischen Komitee für Normung (CEN) zur Bearbeitung der Eurocodes für die Tragwerksplanung von Hochbauten und Ingenieurbauwerken (BC/CEN/03/89).

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

EN 1995, *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten*

EN 1996, *Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten*

EN 1997, *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik*

EN 1998, *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben*

EN 1999, *Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumkonstruktionen*

Die Europäischen Normen berücksichtigen die Verantwortlichkeit der Bauaufsichtsorgane in den Mitgliedsländern und haben deren Recht zur nationalen Festlegung sicherheitsbezogener Werte berücksichtigt, so dass diese Werte von Land zu Land unterschiedlich bleiben können.

### Status und Gültigkeitsbereich der Eurocodes

Die Mitgliedsländer der EU und von EFTA betrachten die Eurocodes als Bezugsdokumente für folgende Zwecke:

- als Mittel zum Nachweis der Übereinstimmung der Hoch- und Ingenieurbauten mit den wesentlichen Anforderungen der Richtlinie 89/106/EWG, besonders mit der wesentlichen Anforderung Nr 1: Mechanischer Widerstand und Stabilität und der wesentlichen Anforderung, Nr 2: Brandschutz;
- als Grundlage für die Spezifizierung von Verträgen für die Ausführung von Bauwerken und dazu erforderlichen Ingenieurleistungen;
- als Rahmenbedingung für die Herstellung harmonisierter, technischer Spezifikationen für Bauprodukte (ENs und ETAs)

Die Eurocodes haben, da sie sich auf Bauwerke beziehen, eine direkte Verbindung zu den Grundlagendokumenten<sup>2)</sup> auf die in Artikel 12 der Bauproduktenrichtlinie hingewiesen wird, wenn sie auch anderer Art sind als die harmonisierten Produktnormen.<sup>3)</sup> Daher sind die technischen Gesichtspunkte, die sich aus den Eurocodes ergeben, von den Technischen Komitees von CEN und den Arbeitsgruppen von EOTA, die an Produktnormen arbeiten, zu beachten, damit diese Produktnormen mit den Eurocodes vollständig kompatibel sind.

Die Eurocodes liefern Regelungen für den Entwurf, die Berechnung und Bemessung von kompletten Tragwerken und Baukomponenten, die sich für die tägliche Anwendung eignen. Sie gehen auf traditionelle Bauweisen und Aspekte innovativer Anwendungen ein, liefern aber keine vollständigen Regelungen für ungewöhnliche Baulösungen und Entwurfsbedingungen, wofür Spezialistenbeiträge erforderlich sein können.

2) Entsprechend Artikel 3.3 der Bauproduktenrichtlinie sind die wesentlichen Angaben in Grundlagendokumenten zu konkretisieren, um damit die notwendigen Verbindungen zwischen den wesentlichen Anforderungen und den Mandaten für die Erstellung harmonisierter Europäischer Normen und Richtlinien für die Europäische Zulassungen selbst zu schaffen.

3) Nach Artikel 12 der Bauproduktenrichtlinie hat das Grundlagendokument

- a) die wesentliche Anforderung zu konkretisieren, in dem die Begriffe und, soweit erforderlich, die technische Grundlage für Klassen und Anforderungshöhen vereinheitlicht werden,
- b) Methode zur Verbindung dieser Klasse oder Anforderungshöhen mit technischen Spezifikationen anzugeben, z. B. rechnerische oder Testverfahren, Entwurfsregeln,
- c) als Bezugsdokument für die Erstellung harmonisierter Normen oder Richtlinien für Europäische Technische Zulassungen zu dienen.

Die Eurocodes spielen de facto eine ähnliche Rolle für die wesentliche Anforderung Nr 1 und einen Teil der wesentlichen Anforderung Nr 2.

## Nationale Fassungen der Eurocodes

Die Nationale Fassung eines Eurocodes enthält den vollständigen Text des Eurocodes (einschließlich aller Anhänge), so wie von CEN veröffentlicht, mit möglicherweise einer nationalen Titelseite und einem nationalen Vorwort sowie einem Nationalen Anhang.

Der Nationale Anhang darf nur Hinweise zu den Parametern geben, die im Eurocode für nationale Entscheidungen offen gelassen wurden. Diese national festzulegenden Parameter (NDP) gelten für die Tragwerksplanung von Hochbauten und Ingenieurbauten in dem Land, indem sie erstellt werden. Sie umfassen:

- Zahlenwerte für  $\gamma$ -Faktoren und/oder Klassen, wo die Eurocodes Alternativen eröffnen;
- Zahlenwerte, wo die Eurocodes nur Symbole angeben;
- landesspezifische, geographische und klimatische Daten, die nur für ein Mitgliedsland gelten, z. B. Schneekarten;
- Vorgehensweise, wenn die Eurocodes mehrere zur Wahl anbieten;
- Verweise zur Anwendung des Eurocodes, soweit diese ergänzen und nicht widersprechen.

## Verbindung zwischen den Eurocodes und den harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte (EN und ETAZ)

Die harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte und die technischen Regelungen für die Tragwerksplanung<sup>4)</sup> müssen konsistent sind. Insbesondere sollten die Hinweise, die mit den CE-Zeichen an den Bauprodukten verbunden sind und die die Eurocodes in Bezug nehmen, klar erkennen lassen, welche national festzulegenden Parameter (NDP) zugrunde liegen.

## Zusätzliche Hinweise zu EN 1993-5

EN 1993-5 liefert in Ergänzung zu der Grundnorm EN 1993-1 Bemessungsregeln für stählerne Spundwände und Tragpfähle.

EN 1993-5 ist für die Anwendung gemeinsam mit den Eurocodes EN 1990, *Grundlagen der Tragwerksplanung*, EN 1991, *Einwirkungen auf Tragwerke* und EN 1997-Teil 1, *Geotechnischer Entwurf und Berechnung* bestimmt.

Regelungen in diesen Normen werden nicht noch einmal wiederholt.

EN 1993-5 ist bestimmt für

- Komitees, die Produkt-, Prüf- oder Ausführungsnormen schreiben, die sich auf Bemessungsregeln beziehen,
- Auftraggeber (z. B. für die Formulierung technischer Anforderungen),
- Entwurfsbüros und ausführende Firmen,
- die zuständigen Behörden.

4) Siehe Artikel 3.3 und Artikel 12 der Bauproduktenrichtlinie, ebenso wie 4.2, 4.3.1, 4.3.2 und 5.2 des Grundlagen-dokumentes Nr 1.

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

Die Zahlenwerte für Teilsicherheitsbeiwerte oder andere Parameter, die empfohlen werden, stellen eine Grundlage mit akzeptablem Sicherheitsmaß dar. Die Empfehlungen beruhen auf einem angemessenen Ausführungsstandard und einem geeigneten Qualitätsmanagement.

Die Anhänge A und B dienen der Vervollständigung der Bestimmungen in EN 1993-1-3 für Stahlspundwände mit Klasse 4 – Querschnitten.

Anhang C liefert Hinweise zur plastischen Bemessung von Stützkonstruktionen aus Stahlspundwänden.

Anhang D zeigt einen möglichen Satz von Bemessungsregeln für primäre Tragelemente von kombinierten Wänden.

Zur geotechnischen Bemessung, die in dieser Norm nicht behandelt ist, sollte EN 1997 herangezogen werden.

**Nationaler Anhang zu EN 1993-5**

Die Norm enthält alternative Vorgehensweisen, Zahlenwerte und Empfehlungen für Klassen, die mit Anmerkungen versehen sind, die auf Nationale Festlegungen dazu hinweisen. Daher sollte die Nationale Norm, in die EN 1993-5 überführt ist, einen Nationalen Anhang erhalten, der die Nationalen Festlegungen enthält, die für den Bau von Hochbauten und baulichen Anlagen in dem betreffenden Land gelten.

Nationale Festlegungen sind in den folgenden Abschnitten von EN 1993-5 vorgesehen:

3.7 (1)	5.2.2 (13)	7.2.3 (2)
3.9 (1)P	5.2.5 (7)	7.4.2 (4)
4.4 (1)	5.5.4 (2)	A.3.1 (3)
5.1.1 (4)	6.4 (3)	B.5.4 (1)
5.2.2 (2)	7.1 (4)	D.2.2 (5)

## 1 Allgemeines

### 1.1 Anwendungsbereich

(1) Teil 5 der EN 1993 enthält Grundsätze und Anwendungsregeln für den Entwurf, die Bemessung und Konstruktion von Pfählen und Spundwänden aus Stahl.

(2) Diese Norm liefert ebenso Beispiele zur konstruktiven Gestaltung von Gründungs- und Stützwandkonstruktionen.

(3) Der Anwendungsbereich umfasst:

- Stahlpfahlgründungen für Ingenieurbauwerke an Land und im Wasser;
- temporäre oder permanente Konstruktionen, die Ausführungen mit Stahlpfählen oder Stahlspundwänden erfordern;
- temporäre oder permanente Stützwandkonstruktionen aus stählernen Spundwandprofilen einschließlich aller Formen von kombinierten Spundwänden.

(4) Der Anwendungsbereich schließt aus:

- Bohrplattformen;
- Dalben.

(5) Teil 5 der EN 1993 enthält auch Anwendungsregeln für betongefüllte Stahlpfähle.

(6) Besondere Anforderungen an eine Erdbebenbemessung sind nicht enthalten. In Fällen, bei denen die Wirkung von Bodenbewegungen infolge Erdbeben von Bedeutung ist, ist EN 1998 zu beachten.

(7) Bemessungs- und Konstruktionsregeln werden auch für Gurtungen, Aussteifungen und Anker angegeben, siehe Abschnitt 7.

(8) Die Bemessung von Spundwänden für Querschnitte der Klassen 1, 2 und 3 ist in den Abschnitten 5 und 6 geregelt, während die Bemessung von Querschnitten in Klasse 4 in Anhang A behandelt wird.

ANMERKUNG Versuche an Spundwänden der Klasse 4 werden in Anhang B behandelt.

(9) Das Bemessungsverfahren für verpresste U-Bohlen und für Flachprofile verwendet Bemessungswiderstände, die aus Versuchen ermittelt werden. Zu den Prüfverfahren wird auf EN 10248 verwiesen.

(10) Geotechnische Aspekte sind in diesem Dokument nicht enthalten. Stattdessen wird auf EN 1997 verwiesen.

(11) Regelungen zur Berücksichtigung der Auswirkung von Korrosion bei der Bemessung von Pfählen und Spundwänden sind in Abschnitt 4 enthalten.

(12) Die Möglichkeit der plastischen globalen Tragwerksberechnung nach EN 1993-1-1, 5.4.3 ist in 5.2 berücksichtigt.

ANMERKUNG Eine Anleitung für die Bemessung von Spundwänden unter Berücksichtigung einer plastischen Tragwerksberechnung liefert Anhang C.

(13) Die Bemessung von kombinierten Spundwänden im Grenzzustand der Tragfähigkeit wird in Abschnitt 5 behandelt. Dort werden auch allgemeine Regeln für die Bemessung der Tragelemente angegeben.

ANMERKUNG Eine Anleitung für die Bemessung von Hohlprofilen und I-Profilen als Tragelemente liefert Anhang D.

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

**1.2 Normative Verweisungen**

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

EN 1990, *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1991, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke*

EN 1992, *Eurocode 2: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Stahlbetonbauten*

EN 1993-1-1, *Eurocode 3: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Stahlbauten — Teil 1-1: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*

EN 1993-1-2, *Eurocode 3: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Stahlbauten — Teil 1-2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten: Baulicher Brandschutz*

EN 1993-1-3, *Eurocode 3: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Stahlbauten — Teil 1-3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten: Kaltgeformte dünnwandige Bauteile und Bleche*

EN 1993-1-5, *Eurocode 3: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Stahlbauten — Teil 1-5: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten: Aus Blechen zusammengesetzte Bauteile*

EN 1993-1-6, *Eurocode 3: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Stahlbauten — Teil 1-6: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten: Festigkeit und Stabilität von Schalenträgwerken*

EN 1993-1-8, *Eurocode 3: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Stahlbauten — Teil 1-8: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten: Bemessung und Konstruktion von Anschlüssen und Verbindungen*

EN 1993-1-9, *Eurocode 3: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Stahlbauten — Teil 1-9: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten: Ermüdungsfestigkeiten von Stahlbauteilen*

EN 1993-1-10, *Eurocode 3: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Stahlbauten — Teil 1-10: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten: Werkstoffwahl im Hinblick auf Zähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung*

EN 1993-1-11, *Eurocode 3: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Stahlbauten — Teil 1-11: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten: Bemessung und Konstruktion von Tragwerken mit stählernen Zugelementen*

EN 1994, *Eurocode 4: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Stahl-Beton-Verbundbauten*

EN 1997, *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik*

EN 1998, *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben*

EN 10002, *Metallische Werkstoffe — Zugversuch*

EN 10027, *Bezeichnungssysteme für Stähle*

EN 10210, *Warmgefertigte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen*

EN 10219, *Kaltgefertigte geschweißte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen*

EN 10248, *Warmgewalzte Spundbohlen aus unlegierten Stählen*

EN 10249, *Kaltgeformte Spundbohlen aus unlegierten Stählen*

EN 1536, *Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) — Bohrpfähle*

EN 1537, *Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) — Verpressanker*

EN 12063, *Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) — Spundwandkonstruktionen*

EN 12699, *Ausführung spezieller geotechnischer Arbeiten (Spezialtiefbau) — Verdrängungspfähle*

EN 14199, *Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) — Pfähle mit kleinen Durchmessern (Mikropfähle)*

EN 10045, *Metallische Werkstoffe; Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy*

EN 1090-2, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 2: Technische Anforderungen an die Ausführung von Tragwerken aus Stahl*

### **1.3 Annahmen**

(1) Zusätzlich zu den allgemeinen Annahmen in EN 1990 gelten folgende Annahmen:

Der Einbau und die Herstellung der Stahlpfähle und Stahlspundwände erfolgen nach EN 12699, EN 14199 und EN 12063.

### **1.4 Unterscheidung nach Grundsätzen und Anwendungsregeln**

(1)P Es gelten die Regelungen der EN 1990, 1.4.

### **1.5 Begriffe**

Für den Anwendungsbereich dieser Norm gelten die folgenden Begriffe.

#### **1.5.1**

##### **Gründung**

Teil eines Bauwerks einschließlich der Pfähle und möglicherweise Pfahlköpfe

#### **1.5.2**

##### **Stützwandkonstruktion**

ein Bauwerkelement, bestehend aus Wänden, welche das Erdreich, ähnliche Stoffe und/oder Wasser zurückhalten; gegebenenfalls gehören auch Lagerungen (z. B. Anker) dazu

#### **1.5.3**

##### **Boden-Bauwerk-Interaktion**

die gegenseitige Beeinflussung der Verformungen des Bodens und der Gründung bzw. Stützwandkonstruktion

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

## 1.6 Symbole

(1) Folgende Hauptsymbole werden zusätzlich zu denen in EN 1993-1-1 verwendet:

$c$  Steglänge der Stahlpundwand, siehe Bild 5-1;

$\alpha$  Stegwinkel, siehe Bild 5-1.

(2) Folgende Abkürzungen werden zusätzlich zu denen in EN 1993-1-1 verwendet:

red reduziert.

(3) Folgende wichtige Symbole werden zusätzlich zu denen in EN 1993-1-1 verwendet:

$A_v$  Projizierte Schubfläche, siehe Bild 5-1;

$F_{Ed}$  Bemessungswert der Ankerkraft;

$F_{Q,Ed}$  Zusätzliche horizontale Kraft aus dem Knicken der Wand, die am Spundwandfuß aufgenommen werden muss, so dass die Annahme einer vollwirksamen seitlichen Abstützung für das Knicken gilt, siehe Bild 5-4;

$F_{t,Rd}$  Grenzzugbeanspruchbarkeit des Ankers;

$F_{t,Ed}$  Bemessungswert der umlaufenden Zugkraft in einem Zellenfangdamm;

$F_{t,ser}$  Axiale Kraft in einem Anker unter charakteristischer Belastung;

$F_{ta,Ed}$  Bemessungswert der Zugkraft in einem Bogenelement eines Zellenfangdamms;

$F_{tc,Ed}$  Bemessungswert der Zugkraft in der gemeinsamen Wand eines Zellenfangdamms;

$F_{tg,Rd}$  Zugkraftbeanspruchbarkeit des Ankerschafts;

$F_{tm,Ed}$  Bemessungswert der Zugkraft in der Hauptzelle des Zellenfangdamms;

$F_{ts,Rd}$  Zugkraftbeanspruchbarkeit des einfachen Flachbohlenprofils;

$F_{tt,Rd}$  Zugkraftbeanspruchbarkeit des Ankergewindes;

$R_{c,Rd}$  Beanspruchbarkeit einer Spundwand gegen eine lokale quergerichtete Kraft;

$R_{tw,Rd}$  Zugkraftbeanspruchbarkeit des Spundwandsteges gegen die Lasteinleitung einer lokalen quergerichteten Kraft;

$R_{Vf,Rd}$  Schubkraftbeanspruchbarkeit des Spundwandflansches gegen die Lasteinleitung einer lokalen quergerichteten Kraft;

$p_{m,Ed}$  Bemessungswert des Innendrucks in der Hauptzelle eines Zellenfangdamms;

$r_a$  Radius des Verbindungsbogens zwischen den Hauptzellen eines Kreiszellenfangdamms;

$r_m$  Radius der Hauptzelle eines Kreiszellenfangdamms;

$t_f$	Nennwert der Flanschdicke der Spundbohle;
$t_w$	Nennwert der Stegdicke der Spundbohle;
$\beta_B$	Abminderungsfaktor des Widerstandsmomentes von U-Bohlen zur Berücksichtigung einer unzureichenden Schubkraftübertragung im Schloss;
$\beta_D$	Abminderungsfaktor der Biegesteifigkeit von U-Bohlen zur Berücksichtigung einer unzureichenden Schubkraftübertragung im Schloss;
$\beta_R$	Faktor für den Schlosswiderstand von Flachprofilen;
$\beta_T$	Faktor zur Berücksichtigung des Verhaltens von geschweißten Verbindungsbohlen im Grenzzustand der Tragfähigkeit;
$\beta_{o,l}$	Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung des durch Ovalisation der Rohre reduzierten Flächenträgheitsmomentes um die Wandachse;
$\rho_P$	Faktor zur Berücksichtigung der Effekte der Wasserdruckbeanspruchung auf die Plattenbiegung.

(4) Weitere Symbole und Abkürzungen sind definiert, wo sie zum ersten Mal auftreten.

## 1.7 Einheiten

(1) Es sollten die SI-Einheiten nach ISO 1000 verwendet werden.

(2) Die folgenden Einheiten sind bei der Berechnung empfohlen:

— Kräfte und Lasten:	kN, kN/m, kN/m <sup>2</sup> ;
— Masseneinheiten:	kg/m <sup>3</sup> ;
— Gewichtseinheiten:	kN/m <sup>3</sup> ;
— Spannungen und Festigkeiten:	N/mm <sup>2</sup> (MN/m <sup>2</sup> oder MPa);
— Biegemomente:	kNm;
— Torsionsmomente:	kNm.

## 1.8 Begriffsbestimmung

Für diese Norm werden folgende Begriffe verwendet:

ANMERKUNG Bild 1-1 bis Bild 1-10 sind nur Beispiele zum Verständnis der Begriffe. Die Beispiele sind keineswegs vollständig und stellen keine bevorzugte Ausführung dar.

### 1.8.1

#### Verankerung

dies ist die allgemeine Bezeichnung für ein rückwärtiges Verankerungssystem für eine Stützwand, z. B. Totemänner, Ankerplatten oder Ankerwände, Gewindeanker, geschraubte Erdanker, Ankerpfähle und Expansionsanker. Beispiele für Anschlüsse zwischen Anker und Spundwände sind in Bild 1-1 dargestellt.

## **DIN EN 1993-5:2010-12** **EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

### **1.8.2**

#### **rückverankerte Wand**

eine Wand, deren Stabilität von der Einbindung der Spundwand in den Boden und zusätzlich von einer oder mehreren Ankerlagen abhängig ist

### **1.8.3**

#### **Tragpfähle**

Konstruktionselemente (Hohlprofile, H-Profile, kreuz- oder X-förmige Profile), die in Gründungen von Hoch- oder Ingenieurbauten zur Aufnahme von axialen Zug- oder Druckkräften, Momenten und Querkräften (siehe Tabelle 1-1) verwendet werden. Die Tragfähigkeit wird durch den Spitzenwiderstand oder die Mantelreibung oder die Kombination von beidem erreicht.

### **1.8.4**

#### **Aussteifungen**

senkrecht oder im Winkel zur Stützwandvorderseite angeordnete Streben, die die Wand abstützen und gewöhnlich an Gurtungen angeschlossen sind (siehe Bild 1-2)

### **1.8.5**

#### **ungestützte Wand**

ein Wand, deren Stabilität allein von der Einbindung der Profile im Boden abhängig ist

### **1.8.6**

#### **Zellenfangedämme**

Zellenfangedämme bestehen aus Flachprofilen, die eine ausreichende Schlosszugfestigkeit besitzen, um die umlaufenden Zugkräfte in den kreisförmigen Zellen infolge des Innendrucks der Füllung aufzunehmen (siehe Bild 1-3). Die Standsicherheit der Zellen wird durch das Eigengewicht der Füllung erreicht. Es gibt zwei Typen von Zellenfangedämmen:

- Zellenfangedämme aus kreisförmigen Zellen: Dieser Typ besteht aus einzelnen Zellen mit großen Kreisdurchmessern, die über Bögen mit kleinerem Durchmesser verbunden sind (siehe Bild 1-4a);
- Zellenfangedämme aus flachen Zellen: Dieser Typ besteht aus zwei Reihen von kreisförmigen Bögen, die durch rechtwinkelig zur Dammachse angeordnete Querschotte miteinander verbunden sind. (siehe Bild 1-4b).

### **1.8.7**

#### **kombinierte Spundwände**

Stützwände, die aus Trag- und Zwischenelementen bestehen. Die Tragelemente sind häufig Rohrprofile, I-Profile oder geschweißte Hohlkästen, die in gleichmäßigen Abständen über die Wandlänge verteilt sind. Die Zwischenelemente sind im Allgemeinen Spundbohlen verschiedener Profile, die zwischen den Tragelementen eingebaut und durch Schlösser mit diesen verbunden sind (siehe Bild 1-5).

### **1.8.8**

#### **Doppel-U-Bohlen**

zwei U-Bohlen, die in ihrem gemeinsamen Schloss durch Verpressen oder Verschweißen verbunden sind und so die Übertragung der Schubkräfte ermöglichen

### **1.8.9**

#### **Rammfähigkeit**

Fähigkeit einer Spundbohle oder eines Tragpfahles, ohne Schaden durch die Bodenschichten bis auf die erforderliche Einbindetiefe eingebracht werden zu können

### **1.8.10**

#### **Einbringen**

Methode, mit der eine Bohle oder ein Pfahl in den Boden auf die erforderliche Tiefe eingebracht wird, z. B. durch Schlagrammen, Vibrationsrammen, Pressen, Drehen oder durch eine Kombination dieser oder anderer Methoden

**1.8.11****Trägerpfahlwand**

Stützwand, die aus Stahlträgern derselben Geometrie zusammengesetzt und durch Schlösser verbunden wird. Diese Elemente können aus geschweißten Profilen bestehen, siehe Bild 1-6, um ein hohes Widerstandsmoment des Querschnitts zu erreichen.

**1.8.12****Schloss**

Teil einer Spundbohle oder anderer Verbauelemente, der benachbarte Elemente mittels Daumen-Finger-Verhakung oder ähnlicher Ausbildungen miteinander verbindet, so dass eine durchgängige Wand entsteht. Die Schlossverbindungen können bezeichnet werden als

- frei: Eingefädelte Schlösser, die weder verschweißt noch verpresst sind;
- verpresst: Die Schlösser der zusammengesetzten Einzelbohlen sind mechanisch durch Verpresspunkte verbunden;
- verschweißt: Die Schlösser der zusammengesetzten Einzelbohlen sind mechanisch durch durchgängige oder unterbrochene Verschweißungen verbunden.

**1.8.13****Verbundwände in Winkelform**

spezielle Spundwandausführung, bei der die Einzelbohlen entweder zur Erhöhung des Flächenträgheitsmomentes der Wand (siehe Beispiel in Bild 1-7) oder zur Erfüllung besonderer Anforderungen (siehe Beispiel in Bild 1-8) winkelig zur Wandachse verlaufen

**1.8.14****Pfahlkupplung**

Reibungsmanschette zur Verlängerung eines Stahlrohres oder eines X-förmigen Pfahls

**1.8.15****abgestützte Wand**

Stützwand, deren Stabilität von der Einbindetiefe der Spundwand in den Boden und zusätzlich von einer oder mehreren Lagen von Aussteifungen abhängig ist

**1.8.16****Trägerbohlwand (Berliner Verbau)**

Trägerbohlwände bestehen aus in gleichen Abständen eingebrachten vertikalen Pfählen und horizontalen Zwischenelementen (Tafeln, Bohlen oder Verschalung), siehe Bild 1-9. Die Pfähle können gewalzte oder geschweißte I-Profile, Rohre oder Kastenprofile sein.

**1.8.17****Kastenpfähle**

nicht kreisförmige Hohlprofile, die sich aus zwei oder mehreren warmgewalzten Profilen zusammensetzen und durchgängig oder abschnittsweise in Längsrichtung verschweißt sind (siehe Tabelle 1-1)

**1.8.18****Stahlrohrpfähle**

Pfähle mit kreisförmigem Querschnitt, die nahtlos gewalzt oder aus längsseitig oder spiralförmig verschweißten Blechen hergestellt werden (siehe Tabelle 1-1)

**1.8.19****Stahlspundbohle**

Dies ist ein einzelnes Stahlelemente, aus dem eine Spundwand zusammengesetzt wird. Die Bohlentypen, die in diesem Teil 5 behandelt werden, sind in Tabelle 1-2 aufgeführt: Z-förmige, U-förmige und Flachprofile. Kaltgeformte Bohlen sind in Tabelle A-1 in Anhang A gegeben. Die Schlösser von Z-Bohlen liegen in der äußeren Wandfläche, während sich die Schlösser von U-Bohlen und Flachbohlen in der Stützwandachse befinden.

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

**1.8.20**

**Stahlpundwand**

durchgängige flächenförmige Stützwandkonstruktion aus Spundbohlen, die sich durch die Wirksamkeit der Schlösser ergibt

**1.8.21**

**T-Verbindung**

Sonderelement, siehe Bild 1-10, das zwei Hauptzellen eines Fangedamms über Bögen mit kleineren Durchmessern miteinander verbindet, siehe Bild 1-3

**1.8.22**

**Dreifach-U-Bohlen**

Eine aus drei einzelnen U-Bohlen zusammengesetzte Mehrfachbohle. Die beiden gemeinsamen Schlösser ermöglichen durch Verpressen oder Verschweißen die Übertragung der Schubkräfte.

**1.8.23**

**Gurtung**

horizontaler Balken, in der Regel aus Stahl oder Stahlbeton, der an der Stützwand angebracht wird, um die Auflagerlasten der Wand in die Zuganker und Steifen zu übertragen

**Tabelle 1-1 — Beispiele für Querschnitte von Tragpfählen aus Stahl**

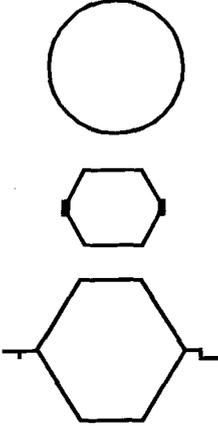
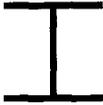
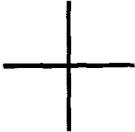
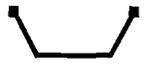
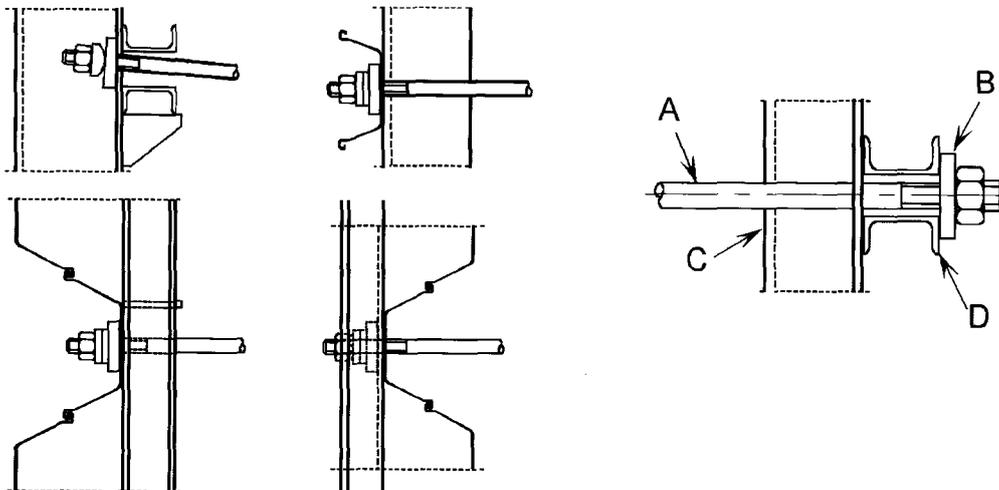
Querschnittstypen	Darstellung
Hohlprofile (Beispiele), siehe Anmerkung	
H-Profile	
X-Profile	
ANMERKUNG Für Ausführungsdetails wird auf EN 12699 und EN 14199 verwiesen.	

Tabelle 1-2 — Stahlspundwände

Querschnittstyp	Einzelbohle	Doppelbohle
Z-Profile		
U-Profile		
Flachprofile		

ANMERKUNG Für Details der Schlösser wird auf EN 10248 verwiesen.



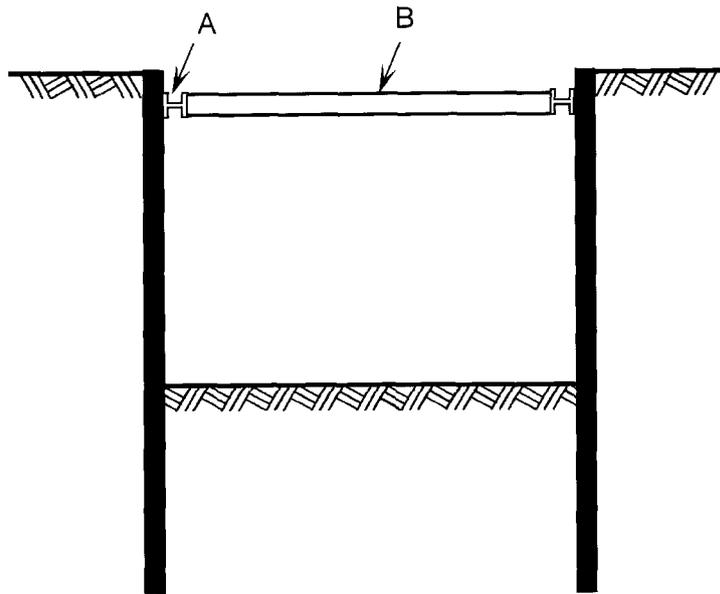
**Legende**

A Zuganker  
B Ankerplatte

C Spundbohle  
D Gurtung

Bild 1-1 — Beispiele für die Verbindung zwischen Ankern und Spundwänden

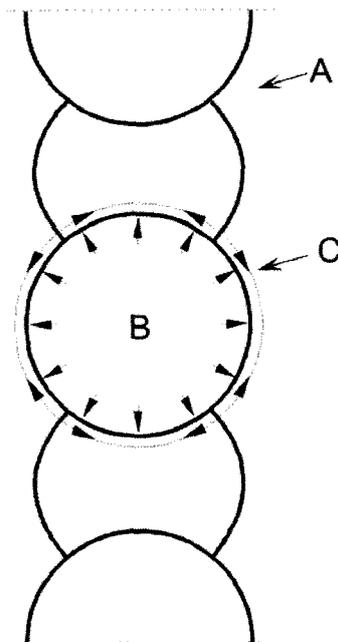
DIN EN 1993-5:2010-12  
EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)



**Legende**

- A Gurtung
- B Aussteifung

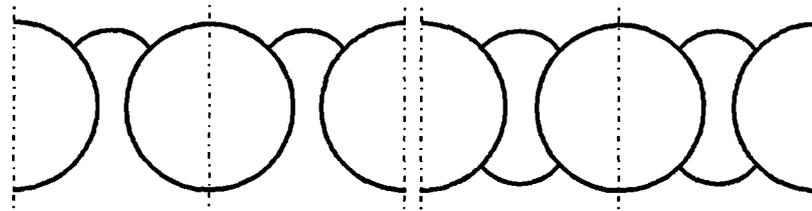
**Bild 1-2 — Beispiel für eine Aussteifung**



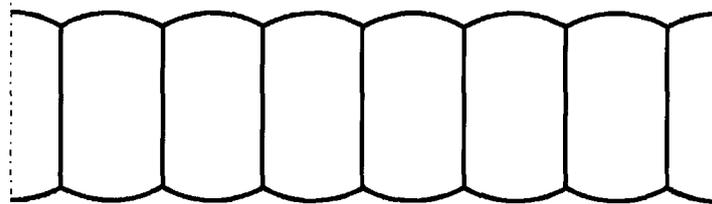
**Legende**

- A T-Verbindung
- B Innendruck
- C ringförmige Zugkraft

**Bild 1-3 — Zellenfangedämme**

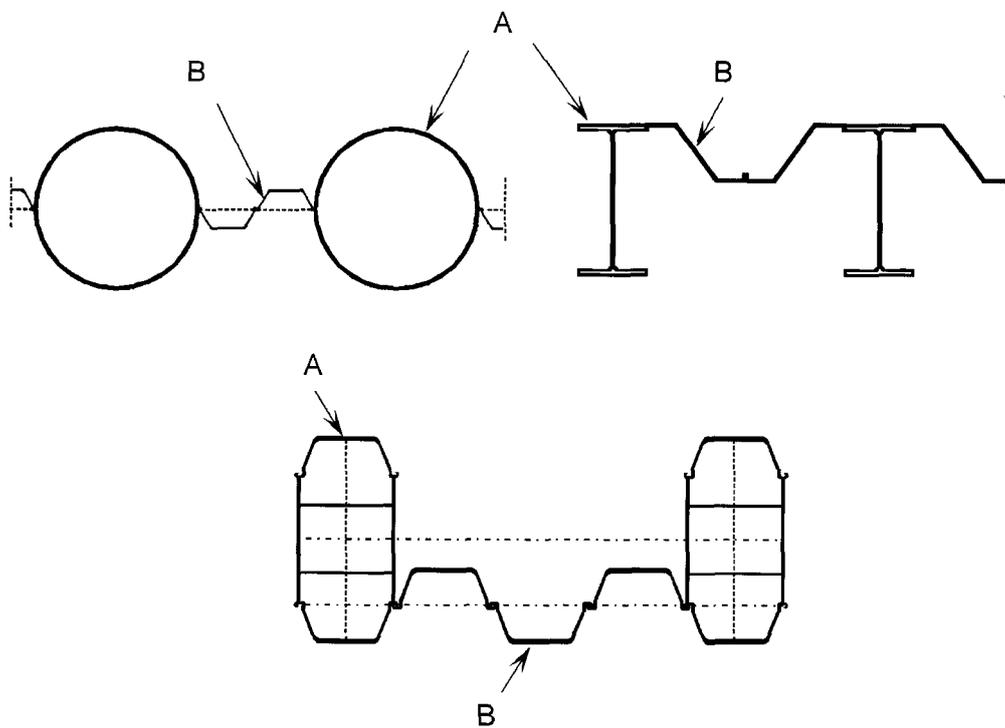


a) Konstruktion aus kreisförmigen Zellen



b) Konstruktion aus flachen Zellen

Bild 1-4 — Beispiel für Zellenfangedämme

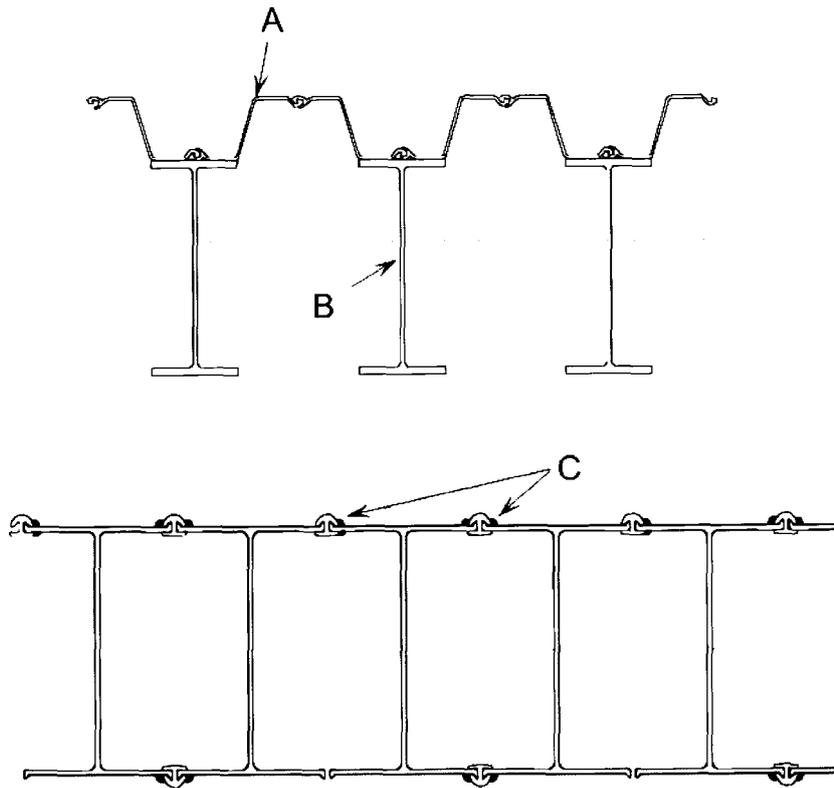


**Legende**

- A Tragelement
- B Zwischenelement

Bild 1-5 — Beispiele für kombinierte Spundwände

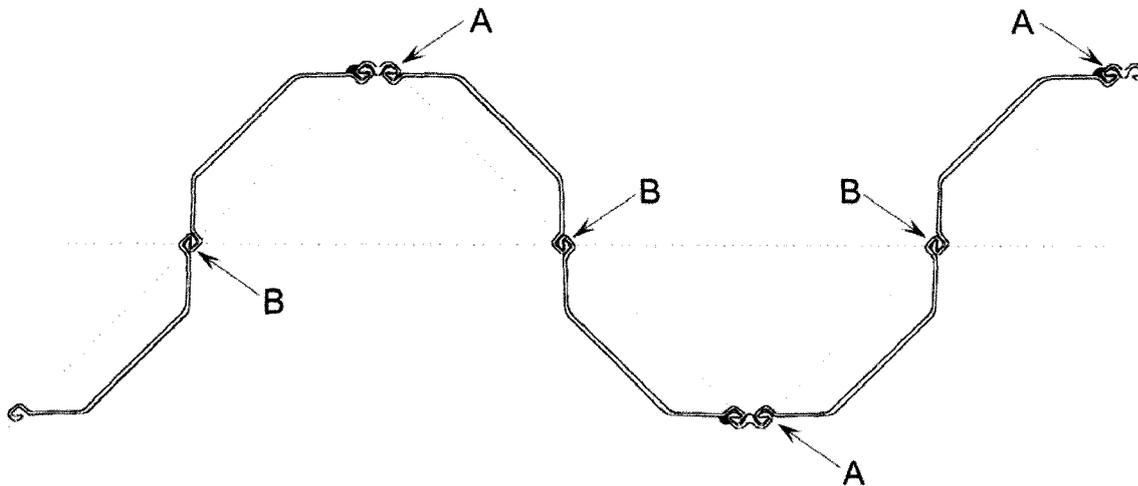
**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**



**Legende**

- A auf I-Profil angeschweißte Spundbohle
- B I-Profil
- C am I-Profil angeschweißtes Schlossprofil

**Bild 1-6 — Beispiele für Trägerpfahlwände**



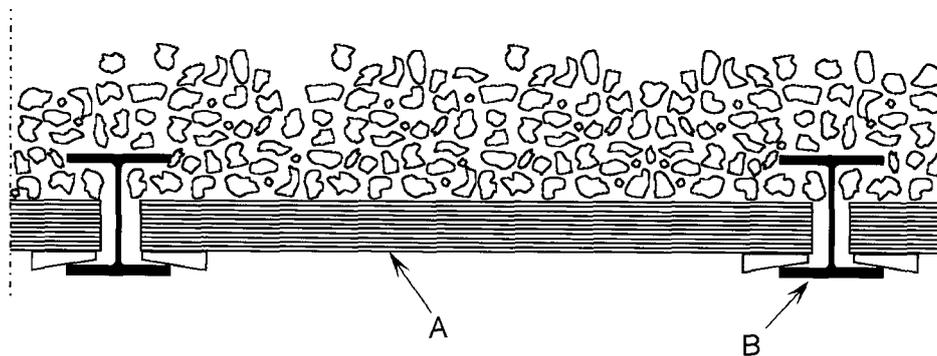
**Legende**

- A einseitig an einer U-Bohle angeschweißtes Verbindungsstück
- B Verpresstes Schloss

**Bild 1-7 — Beispiel für Verbundwände in Winkelform aus U-Profilen**



**Bild 1-8 — Beispiel für eine Verbundwand in Winkelform aus Z-Profilen**

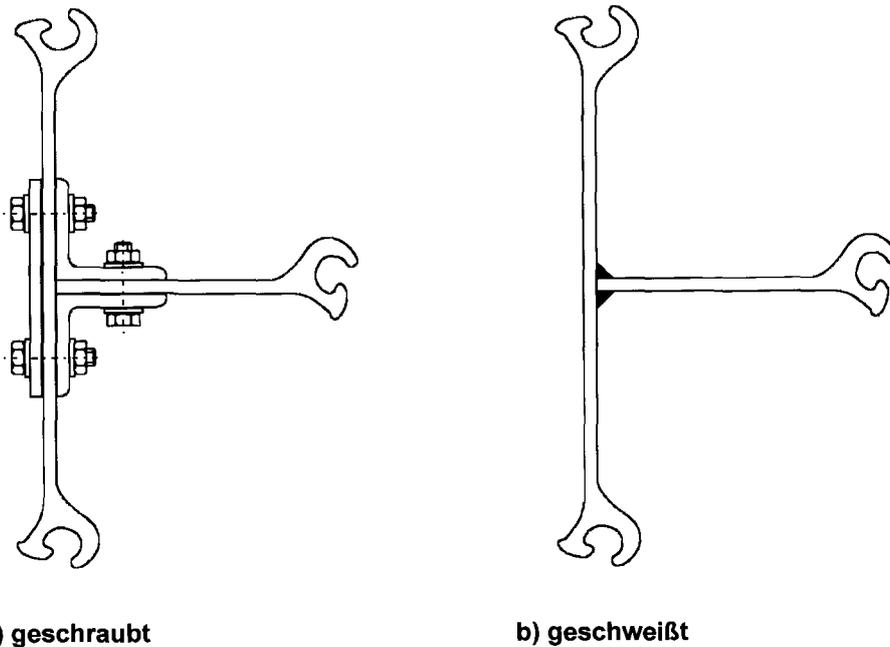


**Legende**

- A Verschalung, Tafeln, Bohlen
- B Tragbohle

**Bild 1-9 — Beispiel für eine Trägerbohlwand (Berliner Verbau)**

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**



**Bild 1-10 — Beispiele für T-Verbindungen**

### 1.9 Vereinbarung für die Spundbohlenachsen

(1) Für Spundwände wird die folgende Achsenvereinbarung getroffen:

- allgemein
  - x-x ist die Längsachse der Bohle;
  - y-y ist die Querschnittsachse parallel zur Stützwand;
  - z-z ist die andere Querschnittsachse;
- falls notwendig
  - u-u ist die zur Stützwandachse nächstgelegene Querschnittshauptachse, wenn diese nicht mit y-y übereinstimmt;
  - v-v ist die andere Querschnittshauptachse, wenn diese nicht mit z-z übereinstimmt.

ANMERKUNG Diese Vereinbarung weicht von der Achsenvereinbarung in EN 1993-1-1 ab. Dieses ist bei Querverweisen zu Teil 1-1 zu beachten.

## 2 Grundlagen für Entwurf, Bemessung und Konstruktion

### 2.1 Allgemeines

(1)P Für die Bemessung von Tragpfählen und Spundwänden einschließlich der Bemessung der Gurtungen, Aussteifungen und Anker sind die Regelungen in EN 1990 anzuwenden, es sei denn, dieses Dokument liefert abweichende Regeln.

(2) Nachfolgend werden besondere Regelungen für den Entwurf, die Bemessung und die Konstruktion von Tragpfählen und Spundwänden angegeben, um die Anforderungen an die Sicherheit und Dauerhaftigkeit für die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit und der Tragfähigkeit zu erfüllen.

(3) Die Tragfähigkeit des Bodens sollte nach EN 1997-1 bestimmt werden.

(4)P Es sind alle Bemessungssituationen in jeder Phase der Bauausführung und der Nutzung zu berücksichtigen, siehe EN 1990.

(5) Die Rammfähigkeit der Tragpfähle und Spundbohlen sollte bei Entwurf und Bemessung der Konstruktion berücksichtigt werden, siehe 2.7.

(6) Wenn nichts anderes angegeben ist, gelten die in diesem Dokument angegebenen Regeln gleichermaßen für temporäre und permanente Bauwerke, siehe EN 1990.

(7) Nachfolgend wird eine Unterscheidung zwischen Tragpfählen und Stützwänden gemacht, wenn dies notwendig ist.

(8) Regelungen zu Gurtungen, Aussteifungen, Verbindungen und Ankern befinden sich in Abschnitt 7.

## 2.2 Kriterien für den Grenzzustand der Tragfähigkeit

(1)P Es sind die nachfolgenden Kriterien für den Grenzzustand der Tragfähigkeit zu berücksichtigen:

- a) Versagen des Bauwerks durch Versagen des Bodens (die Tragfähigkeit des Bodens ist überschritten);
- b) Tragwerksversagen;
- c) Kombination des Boden- und Tragwerksversagens.

ANMERKUNG Versagen benachbarter Bauwerke kann durch Verformungen infolge des Aushubs verursacht werden. Wenn benachbarte Bauwerke empfindlich gegenüber diesen Verformungen sind, können Empfehlungen für die Vorgehensweise für den Einzelfall angegeben werden.

(2) Die Kriterien für den Grenzzustand der Tragfähigkeit sollten in Übereinstimmung mit EN 1997-1 nachgewiesen werden.

(3) Abhängig von der Bemessungssituation sollte der Bauteilwiderstand für eine oder mehrere der nachfolgenden Versagensarten nachgewiesen werden:

— für Tragpfähle:

- Versagen infolge Biegung- und/oder Normalkraft;
- Versagen infolge Biegeknicken unter Berücksichtigung der Zwängungen, die durch den Boden und die Stützkonstruktion sowie deren Anschlüsse erzeugt werden;
- lokales Versagen an den Lasteinleitungsstellen;
- Ermüdung;

— für Stützwände:

- Versagen infolge Biegung- und/oder Normalkraft;
- Versagen infolge Biegeknicken unter Berücksichtigung der Zwängungen, die durch den Boden erzeugt werden;

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

- lokales Beulen infolge Biegung;
- lokales Versagen an den Lasteinleitungsstellen (z. B. Stegblechbeulen);
- Ermüdung.

### **2.3 Kriterien für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit**

(1) Soweit nichts anderes vereinbart ist, sollten die nachfolgenden Kriterien für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit berücksichtigt werden:

— für Tragpfähle:

- Begrenzung der vertikalen Setzungen oder horizontalen Verschiebungen, die für das abzustütze Tragwerk einzuhalten sind;
- Begrenzung der Erschütterungen, die für die direkt mit den Tragpfählen verbundenen oder benachbarten Tragwerke einzuhalten sind;

— für Stützwände:

- Verformungsbegrenzungen, die für die Stützwand selbst einzuhalten sind;
- Begrenzung der horizontalen Verschiebungen, vertikalen Setzungen oder Erschütterungen, die für die Nutzung der direkt mit der Stützwand verbundenen oder benachbarten Tragwerke einzuhalten sind.

(2) Werte für die in (1) genannten Grenzen sollten im Einzelfall in Verbindung mit den dafür geltenden Lastfallkombinationen nach EN 1990 festgelegt werden.

(3) Grenzwerte, die sich aus benachbarten Tragwerken ergeben, sollten im Einzelfall festgelegt werden. Eine Anleitung für die Bestimmung dieser Grenzwerte ist in EN 1997-1 angegeben.

ANMERKUNG Die Kriterien der Gebrauchstauglichkeit dürfen für die Bemessung maßgebend sein.

### **2.4 Baugrunderkundungen und Bodenparameter**

(1)P Parameter für den Boden und/oder Hinterfüllungen sind nach geotechnischen Untersuchungen nach EN 1997 zu bestimmen.

### **2.5 Statische Berechnung**

#### **2.5.1 Allgemeines**

(1) Eine statische Berechnung sollte durchgeführt werden, um die Beanspruchungen (Kräfte und Biegemomente, Spannungen, Dehnungen und Verformungen) für das gesamte Tragwerk oder Teile davon zu bestimmen. Falls erforderlich, sollten zusätzliche Berechnungen für Konstruktionsdetails durchgeführt werden, z. B. für Lasteinleitungsstellen, Verbindungen usw.

(2) Die Berechnungen können mit Idealisierung der Geometrie, des Verhaltens des Tragwerks und des Bodens durchgeführt werden. Die Idealisierungen sollten entsprechend der Bemessungssituation ausgewählt werden.

(3) Außer in den Fällen, in denen die Bemessung empfindlich auf Abweichungen reagiert, darf die Bestimmung der Schnittgrößen in Pfahlgründungen und Spundwänden auf der Basis der Nennwerte der Abmessungen durchgeführt werden.

(4) Eine Brandschutzbemessung sollte nach den Festlegungen in EN 1993-1-2 und EN 1991-1-2 durchgeführt werden.

### **2.5.2 Bestimmung der Einwirkungen**

(1) Wo zutreffend, sollten die Einwirkungen nach EN 1991 bestimmt werden, andernfalls sollten sie im Einzelfall und in Abstimmung mit dem Auftraggeber festgelegt werden.

(2) Bei Pfahlgründungen sollten die Einwirkungen infolge vertikaler oder quer verlaufender Bodenbewegungen (z. B. negative Mantelreibung usw.) nach EN 1997-1 bestimmt werden.

(3) Die Einwirkungen, die vom Boden auf das Tragwerk wirken, sollten mit Modellen nach EN 1997-1 bestimmt werden oder im Einzelfall und in Abstimmung mit dem Auftraggeber festgelegt werden.

(4) Wo notwendig, sollten die Auswirkungen von Temperaturänderungen mit der Zeit oder von Sonderlasten, die nicht in EN 1991 erfasst sind, berücksichtigt werden.

**ANMERKUNG 1** Es kann erforderlich sein, Temperatúrauswirkungen zu berücksichtigen, z. B. für Aussteifungen, wenn große Temperaturänderungen wahrscheinlich sind. Der Entwurf darf dabei Maßnahmen vorschreiben, um den Einfluss der Temperaturänderungen zu reduzieren.

**ANMERKUNG 2** Beispiele für Sonderlasten sind:

- Lasten durch fallende Gegenstände oder schwingende Kranlasten;
- Lasten von Baggern und Kränen;
- Auflasten aus Pumpen, Zugangswegen, Zwischenaussteifungen, Lagerung von Geräten oder Stapeln von Stahlbewehrung.

(5) Soweit nicht anders festgelegt, dürfen für Stützwände, die Belastungen von einer Straße oder Bahnstrecke erfahren, vereinfachte Modelle für diese Lasten (z. B. Gleichlasten) abgeleitet aus den Lasten für Brücken verwendet werden, siehe EN 1991-2.

### **2.5.3 Tragwerksberechnung**

#### **2.5.3.1 Allgemeines**

(1) Die Tragwerksberechnung sollte mit einer geeigneten Boden-Tragwerks-Interaktion in Übereinstimmung mit EN 1997-1 durchgeführt werden.

(2) In Abhängigkeit von der Bemessungssituation können Anker als einfache starre Stützung oder als Federstützung abgebildet werden.

(3) Wenn die Verbindungen und Anschlüsse einen großen Einfluss auf die Schnittgrößenverteilung haben, sollten diese in der Tragwerksberechnung berücksichtigt werden.

#### **2.5.3.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit**

(1) Die Tragwerksberechnung für Pfahlgründungen für den Grenzzustand der Tragfähigkeit darf mit demselben Modell durchgeführt werden wie für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.

(2) Wenn außergewöhnliche Bemessungssituationen berücksichtigt werden müssen, darf die Bestimmung der Schnittgrößen in den Gründungspfählen mit einem plastischen Modell sowohl für das gesamte Tragwerk als auch für die Boden-Tragwerks-Interaktion vorgenommen werden.

**ANMERKUNG** Ein Beispiel für eine außergewöhnliche Bemessungssituation ist der Schiffsanprall auf einen Brückenpfeiler.

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

(3) Die Bestimmung der Schnittgrößen in Stützwänden aus Spundbohlen sollte für den Grenzzustand der Tragfähigkeit für den jeweiligen Versagensfall unter Verwendung der Boden-Tragwerks-Interaktion nach 2.5.3.1 (1) durchgeführt werden.

**2.5.3.3 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit**

(1) Sowohl für Stützwände aus Spundbohlen als auch für Pfahlgründungen sollte die statische Berechnung auf der Grundlage eines linear elastischen Modells des Tragwerks und Boden-Tragwerksmodells, wie sie in 2.5.3.1 (1) definiert sind, durchgeführt werden.

(2) Es sollte nachgewiesen werden, dass im Tragwerk für Gebrauchslasten keine plastischen Verformungen auftreten.

**2.6 Versuchsgestützte Bemessung**

**2.6.1 Allgemeines**

(1) Die allgemeinen Regelungen für die versuchsgestützte Bemessung, die in EN 1990, EN 1993-1-1 und EN 1997-1 aufgeführt sind, sollten beachtet werden.

ANMERKUNG Eine Anleitung für die Bestimmung des Bemessungswiderstandes aus Versuchen befindet sich in EN 1990, Anhang D.

**2.6.2 Tragpfähle**

(1) Anleitungen für Versuche an Tragpfählen sind EN 1997-1, EN 12699 und EN 14199 zu entnehmen.

**2.6.3 Stahlspundwände**

(1) Die bei der Bemessung von Spundwänden getroffenen Annahmen können entsprechend dem Bauablauf durch Versuche auf der Baustelle überprüft werden (z. B. im Fall von Bodenaushub).

(2) Die Kalibrierung eines Berechnungsmodells und die Änderung des Entwurfs während der Ausführung sollten mit Bezug auf EN 1997-1 durchgeführt werden.

**2.6.4 Verankerung**

(1) Für die Verankerungen sollten die allgemeinen Regelungen für die versuchsgestützte Bemessung, die in EN 1997-1, EN 1537 und EN 1993-1-11 angegeben sind, beachtet werden.

**2.7 Rammpbarkeit**

(1)P Bei der Bemessung von Pfählen und Spundbohlen sind die ausführungstechnischen Aspekte des Einbringens auf die erforderliche Einbindetiefe zu berücksichtigen. Dazu wird auf EN 12063, EN 12699 und EN 14199 verwiesen.

(2) Der Typ, die Abmessungen und die konstruktive Durchbildung der Bohlen und Pfähle sollten in Verbindung mit der Wirksamkeit der Geräte zum Rammen und Ziehen sowie des Rammverfahrens (Rammparameter) so gewählt werden, dass sie den Bedingungen des Bodens, in den die Bohlen bzw. die Pfähle eingebracht werden, entsprechen.

(3) Wenn Rammschuhe, Versteifungen oder Reibungsverminderer als Rammhilfe oder zur Verstärkung der Bohlen oder der Pfähle während des Einbringens verwendet werden, sollten die Auswirkungen auf das Verhalten während der Nutzung beachtet werden.

### 3 Werkstoffeigenschaften

#### 3.1 Allgemeines

(1)P Dieser Teil 5 der EN 1993 gilt für die Bemessung von Tragpfählen und Stützwänden aus Stahl, der den in 3.2 bis 3.9 genannten Normen entspricht.

(2) Diese Norm darf auch bei anderen Baustählen angewendet werden, wenn ausreichende Daten vorhanden sind, um die Anwendung der diesbezüglichen Bemessungs- und Fertigungsregeln zu rechtfertigen. Die Versuchsdurchführungen und -auswertungen sollten den Regelungen in EN 1993-1-1, Abschnitt 2 und EN 1990 entsprechen, und die Versuchsanforderungen sollten mit den Normen, die in 3.2 bis 3.9 genannt sind, übereinstimmen.

(3)P Spundbohlen und Pfähle, die gebraucht oder als Elemente „zweiter Wahl“ verwendet werden sollen, müssen mindestens die Anforderungen bezüglich der Abmessungen und der Materialeigenschaften erfüllen und frei von Schäden oder Schadstoffen sein, welche die Festigkeit oder die Dauerhaftigkeit beeinträchtigen können.

#### 3.2 Tragpfähle

(1) Zu Stahleigenschaften sollte EN 1993-1-1 beachtet werden.

(2) Zu Eigenschaften von Stahlpfählen aus Stahlbohlen siehe 3.3 oder 3.4.

#### 3.3 Warmgewalzte Stahlspundbohlen

(1)P Warmgewalzte Stahlspundbohlen müssen EN 10248 entsprechen.

(2) Die Nennwerte der Streckgrenze  $f_y$  und der Zugfestigkeit  $f_u$  für warmgewalzte Spundbohlen dürfen Tabelle 3-1 entnommen werden. Diese entsprechen den Mindestwerten in EN 10248-1.

(3) Zu Duktilitätsanforderungen sollte EN 1993-1-1, 3.2.2 beachtet werden.

ANMERKUNG Die in Tabelle 3-1 aufgeführten Stahlsorten genügen diesen Anforderungen.

**Tabelle 3-1 — Nennwerte der Streckgrenze  $f_y$  und der Zugfestigkeit  $f_u$  für warmgewalzte Stahlspundbohlen nach EN 10248-1**

Stahl nach EN 10027	$f_y$ N/mm <sup>2</sup>	$f_u$ N/mm <sup>2</sup>
S240GP	240	340
S270GP	270	410
S320GP	320	440
S355GP	355	480
S390GP	390	490
S430GP	430	510

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

### 3.4 Kaltgeformte Stahlspundbohlen

(1)P Kaltgeformte Stahlspundbohlen müssen EN 10249 entsprechen.

(2) Nennwerte für die Streckgrenze  $f_{yb}$  des Grundmaterials und die Zugfestigkeit  $f_u$  für kaltgeformte Spundbohlen dürfen Tabelle 3-2 entnommen werden. Diese stimmen mit EN 10249-1 überein.

ANMERKUNG Die Streckgrenze  $f_{yb}$  ist der Nennwert der Streckgrenze des Grundmaterials, das für die Kaltverformung verwendet wird.

(3) Zu Duktilitätsanforderungen sollte A.3.1 beachtet werden.

**Tabelle 3-2 — Nennwerte der Streckgrenze  $f_{yb}$  des Grundmaterials und Zugfestigkeit  $f_u$  für kaltgeformte Stahlspundbohlen nach EN 10249-1**

Stahl nach EN 10027	$f_{yb}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_u$ N/mm <sup>2</sup>
S235JRC	235	340
S275JRC	275	410
S355JOC	355	490

### 3.5 Profile für Gurtungen und Aussteifungen

(1) Zu Stahleigenschaften von Gurtungen und Aussteifungen sollte EN 1993-1-1, 3.1 und 3.2 beachtet werden.

### 3.6 Verbindungsmittel

(1) Zu Eigenschaften von Schrauben, Muttern, Unterlegscheiben, Ankerplatten und Schweißzusatzmitteln sollte EN 1993-1-8 beachtet werden.

### 3.7 Stahlteile für Anker

(1) Für Anker aus hochfestem Stahl mit einer definierten minimalen Mindeststreckgrenze  $f_{y,spec}$ , die nicht höher als  $f_{y,spec,max}$  sein sollte, sollte EN 1537 beachtet werden.

ANMERKUNG Der Zahlenwert für  $f_{y,spec,max}$  darf im Nationalen Anhang angegeben sein. Der Wert  $f_{y,spec,max} = 500$  N/mm<sup>2</sup> wird empfohlen.

(2) Zu Materialeigenschaften von Ankern aus nicht-hochfestem Stahl sollten EN 1993-1-1, 3.2.1, 3.2.2 und EN 1993-5, 3.9 beachtet werden.

### 3.8 Stahlteile für kombinierte Spundwände

(1)P Die Stahleigenschaften von Sonder-I-Profilen, die als Tragelemente bei kombinierten Spundwänden eingesetzt werden, müssen EN 10248 entsprechen.

(2)P Rohre, die als Tragelemente in kombinierten Spundwänden verwendet werden, müssen EN 10210 oder EN 10219 entsprechen.

(3) Die Stahleigenschaften von zusammengesetzten Hohlkastenpfählen, die als Tragelemente in kombinierten Spundwänden verwendet werden, sollten die Anforderungen in 3.2 erfüllen.

(4) Die Stahleigenschaften der Füllelemente in kombinierten Spundwänden sollten die Anforderungen in 3.3 oder 3.4 erfüllen.

(5)P Warmgewalzte Schlossprofile für Spundbohlen müssen mit EN 10248 übereinstimmen.

### 3.9 Bruchzähigkeit

(1)P Der Werkstoff muss eine ausreichende Zähigkeit besitzen, um bei den niedrigsten Betriebstemperaturen innerhalb der geplanten Nutzungsdauer des Tragwerks Spröbruch zu vermeiden.

ANMERKUNG Die niedrigste zu berücksichtigende Betriebstemperatur darf im Nationalen Anhang angegeben sein.

(2) Für Spundwände mit einer Flanschdicke von maximal 25 mm dürfen Stähle mit den  $T_{27J}$ -Werten nach Tabelle 3-3 eingesetzt werden, vorausgesetzt, dass die niedrigste Betriebstemperatur nicht geringer als  $-30\text{ °C}$  ist.

ANMERKUNG 1 Für andere Fälle kann EN 1993-1-10 herangezogen werden.

ANMERKUNG 2 Der  $T_{27J}$ -Wert ist die Versuchstemperatur, bei der eine Kerbschlagarbeit  $K_V(T) > 27$  Joule erforderlich ist, um den Bruch einer Probe im Kerbschlagbiegeversuch hervorzurufen. Zum Versuch siehe EN 10045.

**Tabelle 3-3 — Testtemperatur  $T_{27J}$  für die Bruchzähigkeit von Spundbohlen**

Streckgrenze $f_y$ in N/mm <sup>2</sup>		240	270	320	355	390	430
Wert von $T_{27J}$	niedrigste Betriebstemperatur $-15\text{ °C}$	35°	35°	35°	15°	15°	15°
	niedrigste Betriebstemperatur $-30\text{ °C}$	20°	20°	20°	0°	0°	0°

ANMERKUNG 1 Wenn sich in einem durch Zug belasteten Flansch Aussparungen befinden (z. B. für Anker), sollte die Verminderung des Querschnittswiderstandes durch eine Abminderung der Streckgrenze oder durch die effektive Querschnittsfläche berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 2 Die Werte sind für die niedrigste Betriebstemperatur und Flanschdicken von maximal 25 mm ohne dynamische Effekte berechnet worden. Bei Flanschdicken  $25 < t_f \leq 30$  mm sollten die Tabellenwerte für  $T_{27J}$  für die niedrigste Betriebstemperaturen von  $-15\text{ °C}$  um  $5\text{ °C}$  und für die niedrigste Betriebstemperaturen von  $-30\text{ °C}$  um  $10\text{ °C}$  verringert werden.

ANMERKUNG 3 Höhere Zähigkeitsanforderungen können notwendig sein, wenn die Bohlen in harte Böden bei Temperaturen unter  $-10\text{ °C}$  eingebracht werden sollen.

## 4 Dauerhaftigkeit

### 4.1 Allgemeines

(1)P Abhängig von der Aggressivität der Medien, die die Stahlbauteile umgeben, sind Maßnahmen gegen Korrosion zu ergreifen, wenn erhebliche Verluste der Stahldicke erwartet werden.

(2) Wenn Korrosion bei der Bemessung durch eine Reduktion der Blechdicken berücksichtigt werden muss, sollte 4.4 beachtet werden.

(3) Um die Lebensdauer eines Tragwerks zu verlängern, sollten folgende Maßnahmen beachtet werden:

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

- die Nutzung einer größeren Blechdicke als Korrosionsreserve;
- statische Reserven;
- Verwendung von Schutzbeschichtungen (Anstriche, Verpressmörtel oder Verzinkung);
- Verwendung eines kathodischen Schutzes mit oder ohne Schutzbeschichtungen;
- Ausstattung der Zonen mit hoher Korrosion mit einem Schutz aus Beton, Mörtel oder Suspensionen.

(4) Wenn die geforderte Nutzungsdauer länger als die Wirkungsdauer des Schutzes ist, sollte beim Nachweis des Grenzzustandes der Gebrauchstauglichkeit und der Tragfähigkeit der Blechdickenverlust aus der restlichen Nutzungsdauer berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 1 Eine Kombination verschiedener Korrosionsschutzmaßnahmen kann sinnvoll sein, um eine höhere Nutzungsdauer zu erreichen. Das gesamte Schutzsystem kann anhand der Bemessung, der Schutzbeschichtungen und der Durchführbarkeit von Inspektionen spezifiziert werden.

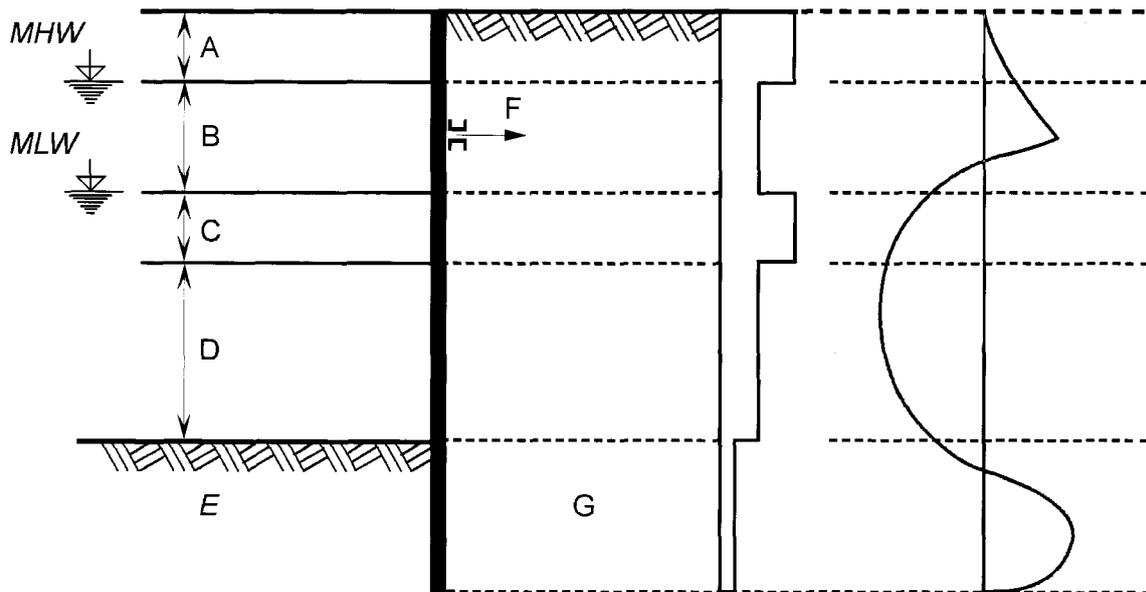
ANMERKUNG 2 Besondere Vorsicht ist in Bereichen erforderlich, wo schlecht isolierte Gleichstromquellen Streuströme im Boden hervorrufen können.

(5) Wenn die Korrosion nicht gleichmäßig über die Bohlenlänge auftritt, darf dies ausgenutzt werden, um eine wirtschaftliche Bemessung durch Anpassung der Momentenverteilung an die Korrosionsverteilung zu erreichen, siehe Bild 4-1.

(6) Die geforderte Nutzungsdauer für Spundwände und Tragpfähle sollte im Einzelfall bestimmt werden.

(7) Bei Nutzungsdauern von weniger als 4 Jahren kann die Blechdickenreduktion infolge Korrosion vernachlässigt werden, es sei denn, andere Zeitdauern werden im Einzelfall definiert.

(8) Die Korrosionsschutzmaßnahmen sollten für jeden Einzelfall festgelegt werden.



a) Vertikale Bereiche unterschiedlichen Korrosionsangriffs bei Meerwasser

b) Verteilung der Korrosionsrate an der Meerwasserseite

c) Typische Biegemomentverteilung

#### Legende

A	Bereich mit hohem Angriff (Spritzwasserzone)	F	Anker
B	Wasserwechselzone	G	Erdseite
C	Bereich mit hohem Angriff (Niedrigwasserzone)	MHW	Mittleres Hochwasser
D	ständig unter Wasser	MLW	Mittleres Niedrigwasser
E	verdeckter Bereich (Wasserseite)		

ANMERKUNG Der Verlauf des Korrosionsangriffs in der Vertikalen und die Bereiche der höchsten Angriffe können beträchtlich vom gezeigten Beispiel abweichen, da sie von den vorherrschenden Bedingungen am Bauwerksstandort abhängig sind.

Bild 4-1 — Beispiel der Verteilung der Korrosionsrate

## 4.2 Dauerhaftigkeitsanforderungen für Tragpfähle

(1) Wenn nicht anders festgelegt, sollte sowohl für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit als auch der Tragfähigkeit der Festigkeitsnachweis für einzelne Pfähle unter Berücksichtigung eines gleichmäßigen Dickenverlustes über den gesamten Umfang des Querschnitts durchgeführt werden.

(2) Wenn nicht anders festgelegt, sollte bei Pfählen, die in Kontakt mit Wasser oder Boden (mit oder ohne Grundwasser) stehen, die Reduktion der Blechdicke infolge Korrosion für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit und der Tragfähigkeit aus 4.4 in Abhängigkeit von der erforderlichen Nutzungsdauer des Tragwerks entnommen werden.

(3) Wenn im Einzelfall nicht anders festgelegt, darf die Korrosion innerhalb von Hohlprofilen, deren Enden wasserdicht geschlossen oder die mit Beton verfüllt sind, vernachlässigt werden.

## 4.3 Dauerhaftigkeitsanforderungen an Spundwände

(1) Wenn nicht anders festgelegt, sollte für die Teile von Spundwänden, die in Kontakt mit Wasser und Boden (mit oder ohne Grundwasser) stehen, der Dickenverlust infolge Korrosion für den Festigkeitsnachweis

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit und der Tragfähigkeit aus 4.4 in Abhängigkeit von der erforderlichen Nutzungsdauer des Tragwerks entnommen werden. Wo Spundbohlen beidseitig in Kontakt mit Boden oder Wasser stehen, ist die Korrosionsrate für beide Seiten anzusetzen.

(2) Wenn der Korrosionsangriff des Bodens oder des Wassers an den beiden Seiten der Spundwand unterschiedlich ist, dürfen zwei unterschiedliche Korrosionsraten angesetzt werden.

#### 4.4 Korrosionsraten für die Bemessung

(1) In diesem Abschnitt werden Korrosionsraten gegeben, die für die Bemessung zu beachten sind.

ANMERKUNG Geeignete Werte für Korrosionsraten können im Nationalen Anhang angegeben werden, wobei regionale Bedingungen zu erfassen sind. Anhaltswerte sind in Tabelle 4-1 und Tabelle 4-2 angegeben.

(2) Der Dickenverlust infolge der Korrosion darf mit 0,01 mm je Jahr in normaler Atmosphäre angenommen werden und mit 0,02 mm je Jahr an Standorten, an denen maritime Bedingungen die Funktion der Konstruktion beeinflussen.

ANMERKUNG Einen bedeutenden Einfluss auf die Korrosionsrate im Boden haben:

- die Bodenart;
- die Änderung des Grundwasserspiegels;
- das Vorhandensein von Sauerstoff;
- das Vorhandensein von Verunreinigungen.

**Tabelle 4-1 — Empfohlene Werte für den Dickenverlust in mm infolge Korrosion bei Pfählen und Spundbohlen in Böden, mit oder ohne Grundwasser**

Geforderte planmäßige Nutzungsdauer	5 Jahre	25 Jahre	50 Jahre	75 Jahre	100 Jahre
Ungestörte natürlich gewachsene Böden (Sand, Schluff, Ton, Schiefer, ....)	0,00	0,30	0,60	0,90	1,20
Verunreinigte natürliche Böden und industrielle Standorte	0,15	0,75	1,50	2,25	3,00
Aggressive natürliche Böden (Sumpf, Marsch, Torf, ...)	0,20	1,00	1,75	2,50	3,25
Unverdichtete nicht-aggressive Auffüllungen (Ton, Schiefer, Sand, Schluff, ....)	0,18	0,70	1,20	1,70	2,20
Unverdichtete und aggressive Auffüllungen (Asche, Schlacke, ....)	0,50	2,00	3,25	4,50	5,75

ANMERKUNG 1 Korrosionsraten in verdichteten Auffüllungen sind niedriger als in unverdichteten. Bei verdichteten Böden sollten die Werte in dieser Tabelle halbiert werden.

ANMERKUNG 2 Den Werten für 5 Jahre und 25 Jahre liegen Messungen zugrunde, während die anderen Werte extrapoliert sind.

Tabelle 4-2 — Empfohlene Werte für den Dickenverlust in mm infolge Korrosion bei Pfählen und Spundbohlen in Süßwasser und Salzwasser

Geforderte planmäßige Nutzungsdauer	5 Jahre	25 Jahre	50 Jahre	75 Jahre	100 Jahre
Allgemeines Süßwasser (Fluss, Schiffskanal, ....) im Bereich hohen Angriffes (Wasserspiegel)	0,15	0,55	0,90	1,15	1,40
Sehr verunreinigtes Süßwasser (Abwasser, Industrieabwasser, ....) in der Zone hohen Angriffes (Wasserspiegel)	0,30	1,30	2,30	3,30	4,30
Seewasser in gemäßigttem Klima im Bereich hohen Angriffes (Niedrigwasser und Spritzzone)	0,55	1,90	3,75	5,60	7,50
Seewasser in gemäßigttem Klima im Bereich, der ständig unter Wasser ist, oder in der Wasserwechselzone	0,25	0,90	1,75	2,60	3,50

ANMERKUNG 1 Die höchste Korrosionsrate ist in der Regel in der Spritzwasserzone oder bei Gezeiten in der Niedrigwasserzone zu finden. In den meisten Fällen befinden sich jedoch die höchsten Biegespannungen in der Zone, die ständig unter Wasser liegt, siehe Bild 4-1.

ANMERKUNG 2 Den Werten für 5 Jahre und 25 Jahre liegen Messungen zugrunde, während die anderen Werte extrapoliert sind.

## 5 Grenzzustände der Tragfähigkeit

### 5.1 Grundlagen

#### 5.1.1 Allgemeines

(1) P Pfähle, Spundbohlen und ihre Komponenten sind so zu bemessen, dass die grundlegenden Bemessungsanforderungen für den Grenzzustand der Tragfähigkeit nach Abschnitt 2 erfüllt sind.

(2) Die folgenden Regelungen sollten für den Querschnittsnachweis und den Bauteilnachweis für den Grenzzustand der Tragfähigkeit verwendet werden.

(3) Zu Teilsicherheitsbeiwerten für die Einwirkung und zur Kombination dieser Einwirkungen sollte EN 1990 verwendet werden.

(4) Zu Teilsicherheitsbeiwerten für die Widerstände  $\gamma_{M0}$ ,  $\gamma_{M1}$  und  $\gamma_{M2}$  siehe EN 1993-1-1.

ANMERKUNG Die Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_{M0}$ ,  $\gamma_{M1}$  und  $\gamma_{M2}$  für Pfähle und Spundwände dürfen im Nationalen Anhang festgelegt werden. Die folgenden Werte werden empfohlen:  $\gamma_{M0} = 1,00$ ;  $\gamma_{M1} = 1,10$  und  $\gamma_{M2} = 1,25$ .

#### 5.1.2 Bemessung

(1) Für Stützwände und Tragpfähle sind in der Regel nachzuweisen:

- Querschnittstragfähigkeit sowie Knicken von Spundwänden (siehe 5.2) und Tragpfählen (siehe 5.3);
- der Widerstand von Gurtungen, Aussteifungen, Verbindungen und Ankern (siehe Abschnitt 7);
- globales Versagen des Tragwerks durch Bodenversagen (siehe Abschnitt 2).

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

**5.1.3 Ermüdung**

(1) Wenn ein Tragwerk oder Teil eines Tragwerks empfindlich gegenüber Ermüdungserscheinungen ist, ist in der Regel die Beurteilung der Ermüdung entsprechend EN 1993-1-9 durchzuführen.

ANMERKUNG In Kombination mit starker Korrosion kann der Widerstand gegenüber Ermüdung reduziert sein.

(2) Die Auswirkung von Stößen oder Vibrationen während des Einbringens von Tragpfählen oder Spundbohlen kann in Ermüdungsberechnungen vernachlässigt werden.

**5.2 Spundwände**

**5.2.1 Querschnittsklassifizierung**

(1)P Wenn eine elastische statische Berechnung durchgeführt wird, ist nachzuweisen, dass die maximalen Schnittgrößen die zugehörigen Widerstände nicht überschreiten.

(2)P Wenn eine plastische Berechnung erfolgt, muss nachgewiesen werden, dass die maximalen Schnittgrößen nicht die zugehörigen plastischen Widerstände überschreiten. Zusätzlich muss die Rotationskapazität geprüft werden, siehe Tabelle 5-1.

(3) Die Berechnungsmethode für die Schnittgrößenermittlung sollte der folgenden Querschnittsklassifizierung entsprechen:

- Klasse 1: Querschnitte, für die eine plastische Berechnung einschließlich Momentenumlagerung ausgeführt werden darf, vorausgesetzt, dass sie eine ausreichende Rotationskapazität besitzen;
- Klasse 2: Querschnitte, für die eine elastische Berechnung notwendig ist, jedoch kann der Vorteil des plastischen Querschnittswiderstandes ausgenutzt werden;
- Klasse 3: Querschnitte, die für die Anwendung einer elastischen Berechnung und elastischer Spannungsverteilung im Querschnitt bemessen sind, wobei in den Randfasern Fließen auftreten kann;
- Klasse 4: Querschnitte, für die lokales Beulen den Querschnittswiderstand vermindert, siehe Anhang A.

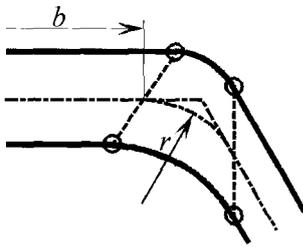
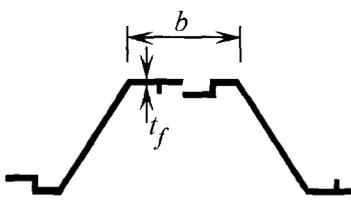
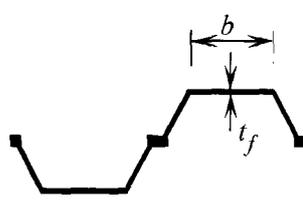
(4) Die Grenzabmaße von Spundbohlen für Querschnitte der Klassen 1, 2 und 3 dürfen der Tabelle 5-1 entnommen werden. Dabei ist eine mögliche Verminderung der Stahldicke infolge Korrosion zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Weitere Anleitungen für die Klassifizierung von Querschnitten sind in Anhang C enthalten.

(5) Ein Bauteil, das die Grenzen für Klasse 1, 2 oder 3 nicht erfüllt, sollte in Klasse 4 eingestuft werden.

(6)P Die Schnittgrößen in anderen Tragwerkskomponenten und den Verbindungen dürfen die Widerstände dieser Elemente und Verbindungen nicht überschreiten.

Tabelle 5-1 — Querschnittsklassifizierung

Klassifizierung		Z-Profile				U-Profile	
							
Klasse 1		— dieselben Grenzwerte wie für Klasse 2 — ein Rotationsnachweis ist durchzuführen					
Klasse 2		$\frac{b/t_f}{\epsilon} \leq 45$				$\frac{b/t_f}{\epsilon} \leq 37$	
Klasse 3		$\frac{b/t_f}{\epsilon} \leq 66$				$\frac{b/t_f}{\epsilon} \leq 49$	
$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$	$f_y$ in N/mm <sup>2</sup>	240	270	320	355	390	430
	$\epsilon$	0,99	0,93	0,86	0,81	0,78	0,74
<b>Erläuterung:</b>							
$b$ Flanschbreite, zwischen den Eckausrundungen, wenn das Verhältnis $r/t_f$ nicht größer als 5,0 ist, andernfalls muss eine genauere Methode verwendet werden;							
$t_f$ Flanschdicke bei Flanschen mit konstanter Dicke;							
$r$ Radius der Querschnittsmittellinie in der Ecke zwischen Flansch und Steg;							
$f_y$ Streckgrenze.							
ANMERKUNG Bei Klasse-1-Querschnitten ist nachzuweisen, dass die plastische Rotationskapazität des Querschnitts nicht geringer ist als die wirklich erforderliche plastische Rotation im Bemessungsfall. Eine Anleitung für diesen Nachweis (Rotationsnachweis) ist in Anhang C zu finden.							

### 5.2.2 Spundwände bei Biegung und Querkraft

(1) Im Fall ohne Quer- und Normalkräfte gilt in der Regel für den Bemessungswert des einwirkenden Biegemomentes  $M_{Ed}$  in jedem Querschnitt:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd} \quad (5.1)$$

Dabei ist

$M_{Ed}$  der Bemessungswert des Biegemomentes, rechnerisch bestimmt entsprechend dem relevanten Fall nach EN 1997-1;

$M_{c,Rd}$  der Bemessungswert des Momentenwiderstandes des Querschnitts.

(2) Der Bemessungswert des Momentenwiderstandes des Querschnitts  $M_{c,Rd}$  sollte wie folgt bestimmt werden:

— Klasse-1- oder Klasse-2-Querschnitte:

$$M_{c,Rd} = \beta_B W_{pl} f_y / \gamma_{M0} \quad (5.2)$$

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

— Klasse-3-Querschnitte:

$$M_{c,Rd} = \beta_B W_{el} f_y / \gamma_{M0} \quad (5.3)$$

— Klasse-4-Querschnitte: siehe Anhang A.

Dabei ist

- $W_{el}$  das elastische Widerstandsmoment für eine durchgängige Wand;
- $W_{pl}$  das plastische Widerstandsmoment für eine durchgängige Wand;
- $\gamma_{M0}$  der Teilsicherheitsfaktor nach 5.1.1 (4);
- $\beta_B$  der Faktor, der die mögliche Verminderung der Schubkraftübertragung in den Schlössern berücksichtigt. Er hat die folgenden Werte:
  - $\beta_B = 1,0$  für Z-Bohlen und Dreifach-U-Bohlen;
  - $\beta_B \leq 1,0$  für Einzel- und Doppelbohlen.

ANMERKUNG 1 Der Grad der Schubkraftübertragung in den Schlössern von U-Bohlen ist maßgebend beeinflusst von:

- dem Bodentyp, in welchen die Bohle eingebracht wurde;
- dem eingebrachten Bauteiltyp;
- der Anzahl der Auflagerebenen und deren Art des Anschlusses in der Wandebene;
- dem Einbringverfahren;
- der Behandlung der Baustellenfädelschlösser (geschmiert oder abschnittsweise verriegelt durch Verschweißung oder durch einen Betonholm usw.);
- der auskragenden Wandhöhe (z. B. wenn die Wand in einem beträchtlichen Abstand über der höchsten oder unter der niedrigsten Gurtung ungestützt ist).

ANMERKUNG 2 Die Werte von  $\beta_B$  für Einfach- und Doppel-U-Bohlen, die diese Einflussfaktoren berücksichtigen und auf lokalen Bemessungserfahrungen beruhen, können im Nationalen Anhang angegeben werden.

(3) Die Spundwandstege sind in der Regel hinsichtlich des Schubkraftwiderstandes nachzuweisen.

(4) Für den Bemessungswert der Querkraft  $V_{Ed}$  sollte in jedem Querschnitt gelten:

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd} \quad (5.4)$$

Dabei ist

$V_{pl,Rd}$  Bemessungswert des plastischen Querkraftwiderstandes für einen einzelnen Steg, der durch

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \text{ definiert ist;} \quad (5.5)$$

$A_v$  Schubfläche für einen einzelnen Steg, projiziert in die Richtung von  $V_{Ed}$ .

(5) Die projizierte Schubfläche  $A_V$  darf für die einzelnen Stege eines U-Profils und eines Z-Profils wie folgt angenommen werden, siehe Bild 5-1:

$$A_V = t_w (h - t_f) \quad (5.6)$$

Dabei ist

$h$  die Gesamthöhe;

$t_f$  die Flanschdicke;

$t_w$  die Stegdicke. Im Fall einer über die Steghöhe  $c$  veränderlichen Stegdicke  $t_{w,i}$  sollte  $t_w$  in Gleichung (5.6) als Mindestwert von  $t_{w,i}$  angenommen werden, wobei die Schlösser ausgenommen werden sollten.

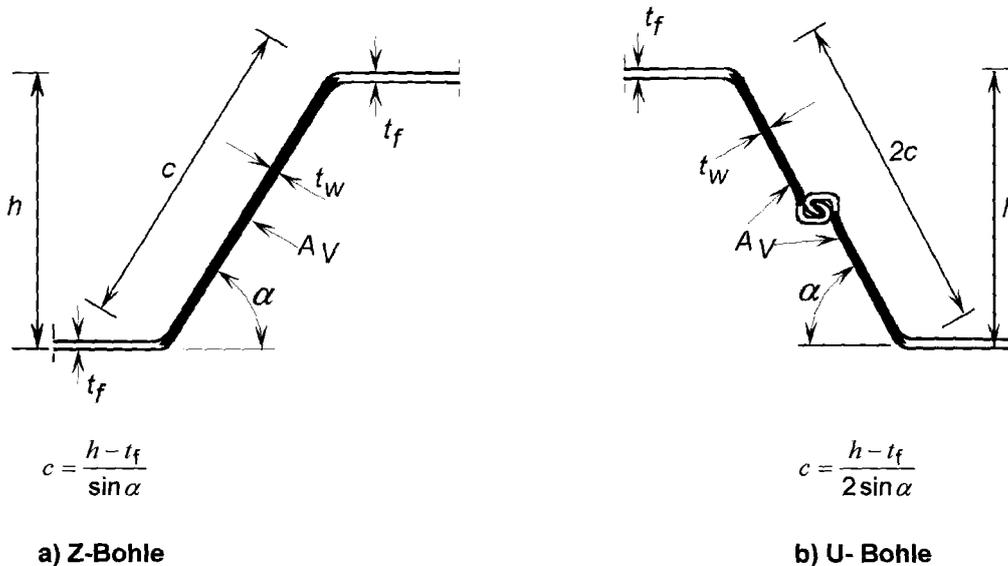


Bild 5-1 — Definition der Schubfläche

(6) Zusätzlich sollte der Schubbeulwiderstand des Stegs für Spundbohlen nachgewiesen werden wenn

$$c/t_w > 72 \varepsilon.$$

(7) Der Stegbeulwiderstand sollte bestimmt werden mit:

$$V_{b,Rd} = \frac{(h - t_f) t_w f_{bv}}{\gamma_{M0}} \quad (5.7)$$

wobei  $f_{b,v}$  die Schubbeulfestigkeit nach EN 1993-1-3, Tabelle 6-1 für ein unausgesteiftes Stegblech an der Auflagerung ist. Dabei lautet die bezogene Schlankheit:

$$\bar{\lambda} = 0,346 \frac{c}{t_w} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (5.8)$$

(8) Wenn der Bemessungswert der Querkraft  $V_{Ed}$  50 % des plastischen Bemessungswertes des Querkraftwiderstands  $V_{pl,Rd}$  nicht überschreitet, ist keine Abminderung des Bemessungswertes des Momentenwiderstandes  $M_{c,Rd}$  notwendig.

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

(9) Ist  $V_{Ed} > 0,5 V_{pl,Rd}$ , sollte der Bemessungswert des Momentenwiderstands des Querschnittes auf  $M_{V,Rd}$  abgemindert werden. Der abgeminderte Bemessungswert des plastischen Momentenwiderstandes lautet dann:

$$M_{V,Rd} = \left[ \beta_B W_{pl} - \frac{\rho A_V^2}{4 t_w \sin \alpha} \right] \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{jedoch} \quad M_{V,Rd} \leq M_{c,Rd} \quad (5.9)$$

mit

$$\rho = (2 V_{Ed} / V_{pl,Rd} - 1)^2 \quad (5.10)$$

Dabei ist

- $A_V$  die Schubfläche nach (5.6);
- $t_w$  die Stegdicke;
- $\alpha$  der Stegwinkel nach Bild 5-1;
- $\beta_B$  der Faktor, bestimmt nach 5.2.2 (2).

ANMERKUNG  $A_V$  und  $t_w$  sind auf dieselbe Wandbreite wie  $W_{pl}$  bezogen.

(10) Wenn Stahlspundwände aus U-Bohlen zur Vergrößerung der Schubkraftübertragung in den Schlössern durch Verschweißungen oder Verpressungen verbunden werden, sollte für die Verbindungen in den Schlössern der Nachweis der Schubkraftübertragung erbracht werden. Dabei wird angenommen, dass nur in den verbundenen Schlössern die Schubkraft übertragen wird.

ANMERKUNG Diese Annahme führt zu einer Bemessung der Verbindung auf der sicheren Seite.

(11) Der Nachweis von Stumpfnähten für die Übertragung von Schubkräften sollte nach EN 1993-1-8, 4.7 durchgeführt werden.

(12) Die Anordnung der Stumpfnähte ist gegebenenfalls unter Berücksichtigung der Korrosion nach EN 1993-1-8, 4.3 zu gestalten.

(13) Bei abschnittswisen Stumpfnähten sollte eine durchgängige Länge von mindestens  $l$  an jedem Bohlenende verschweißt werden, um eine Überbeanspruchung beim Einbringen zu vermeiden. Zur Bemessung von Schweißnähten wird auf EN 1993-1-8 verwiesen.

ANMERKUNG Der Wert  $l$  darf im Nationalen Anhang angegeben werden. Ein Wert von  $l = 500$  mm wird empfohlen.

(14)P Es ist nachzuweisen, dass die Verpresspunkte von Schlössern ausreichend sind, um die auftretenden Schlossschubkräfte zu übertragen.

(15) Wenn die Abstände von Einfach- oder Doppelverpresspunkten 0,7 m nicht überschreiten und die Abstände von Dreifachverpresspunkten 1,0 m nicht überschreiten, darf für jeden Verpresspunkt angenommen werden, dass eine gleichmäßige Schubkraft von  $V_{Ed} \leq R_k / \gamma_{M0}$  übertragen wird, wobei  $R_k$  der charakteristische Wert der Widerstandskraft eines Verpresspunktes ist, der durch Versuche nach 2.6 bestimmt wird.

ANMERKUNG Für die versuchsgestützte Bestimmung von  $R_k$  siehe EN 10248.

**5.2.3 Spundwände mit Biegung, Quer- und Normalkraft**

(1) Bei Kombination von Biegung und Druck ist es nicht notwendig, Knicken zu berücksichtigen, wenn gilt:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \leq 0,04 \quad (5.11)$$

Dabei ist

$N_{Ed}$  der Bemessungswert der Druckkraft;

$N_{cr}$  die elastische kritische Last der Spundbohle, berechnet mit einem geeigneten Bodenmodell unter Berücksichtigung reiner Druckkräfte in der Bohle.

(2) Alternativ kann  $N_{cr}$  angenommen werden als:

$$N_{cr} = EI \beta_D \pi^2 / \ell^2 \quad (5.12)$$

Hierbei ist  $\ell$  die Knicklänge, die für ein freies oder teilweise eingespanntes Erdlager nach Bild 5-2 oder für ein eingespanntes Erdlager nach Bild 5-3 bestimmt wird, und  $\beta_D$  ein Abminderungsfaktor, siehe 6.4.

(3) Wenn das in (1) angegebene Kriterium nicht erfüllt ist, ist in der Regel der Knickwiderstand nachzuweisen.

ANMERKUNG Dieser Nachweis kann nach dem in (4) bis (7) angegebenen Verfahren erfolgen.

(4) Wenn die Randbedingungen für Knicken mit unverschieblichen Stützungen durch Bauteile (Anker, Erdaufleger, Kopfolme usw.) bereitgestellt werden, kann der nachfolgende vereinfachte Knicknachweis geführt werden:

— für Klasse-1-, Klasse-2- und Klasse-3-Querschnitte:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{pl,Rd}(\gamma_{M0} / \gamma_{M1})} + 1,15 \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}(\gamma_{M0} / \gamma_{M1})} \leq 1,0 \quad (5.13)$$

Dabei ist

$N_{pl,Rd}$  der Bemessungswert des plastischen Querschnittswiderstandes ( $A f_y / \gamma_{M0}$ );

$M_{c,Rd}$  der Bemessungswert des Momentenwiderstandes des Querschnitts, siehe 5.2.2 (2);

$\gamma_{M1}$  der Teilsicherheitsbeiwert nach 5.1.1 (4);

$\gamma_{M0}$  der Teilsicherheitsbeiwert nach 5.1.1 (4);

$\chi$  der Knickbeiwert nach EN 1993-1-1, 6.3.1.2, ermittelt mit Kurve d und der bezogenen Schlankheit:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}}$$

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

Dabei ist

$N_{cr}$  die kritische elastische Last, die nach Gleichung (5.12) bestimmt werden kann;

$A$  die Querschnittsfläche;

— für Klasse-4-Querschnitte: siehe Anhang A.

**ANMERKUNG** Die Knickkurve  $d$  enthält auch Rammimperfectionen bis 0,5 % von  $\ell$ , was dem Stand der Technik entspricht.

(5) Für den vereinfachten Knicknachweis kann die Knicklänge für unverschiebliche Lagerung nach Absatz (7) wie folgt bestimmt werden:

— bei einem freien Erdaufleger mit ausreichendem Haltevermögen nach Absatz (6) darf  $\ell$  als der Abstand zwischen dem Fuß und dem horizontalen Auflager (Gurtung, Anker) angenommen werden, siehe Bild 5-2;

— bei einem eingespannten Erdaufleger darf  $\ell$  mit 70 % des Abstands zwischen dem Fuß und dem horizontalen Auflager (Gurtung, Anker) angesetzt werden, siehe Bild 5-3.

(6) Es darf angenommen werden, dass ein freies Erdaufleger ausreichendes Haltevermögen für den vereinfachten Knicknachweis liefert, wenn der Fuß der Spundwand in felsigem Untergrund fixiert ist oder wenn am Fuß der Spundwand eine zusätzliche horizontale Kraft  $F_{Q,Ed}$  durch passiven Erddruck oder Reibung nach Bild 5-4 aufgenommen werden kann.  $F_{Q,Ed}$  ist gegeben durch:

$$F_{Q,Ed} = \pi N_{Ed} \left( \frac{d}{\ell} + 0,01 \right) \quad (5.14)$$

Dabei ist  $d$  die maximale Relativverschiebung der Spundwand zwischen den Auflagern, berechnet nach Theorie I. Ordnung. Wenn der Erdwiderstand ohne Reibung vollkommen ausgenutzt ist, kann die zusätzliche Kraft  $F_{Q,Ed}$  aufgenommen werden, indem eine zusätzliche Wandlänge  $\Delta h$  nach Bild 5-4 zur Verfügung gestellt wird.

(7) Wenn die zusätzliche Verschiebung eines horizontalen Lagers (Anker, Gurtung) infolge einer Auflagerlast von  $N_{Ed}/100$  kleiner als  $\#500$  ist, darf angenommen werden, dass die Voraussetzung einer unverschieblichen Lagerung für die Knickform erfüllt ist.

(8) Wenn das System keine ausreichende Einspannung liefert, sollte auf der Grundlage der Methoden in EN 1993-1-1 eine genaue Knickberechnung durchgeführt werden.

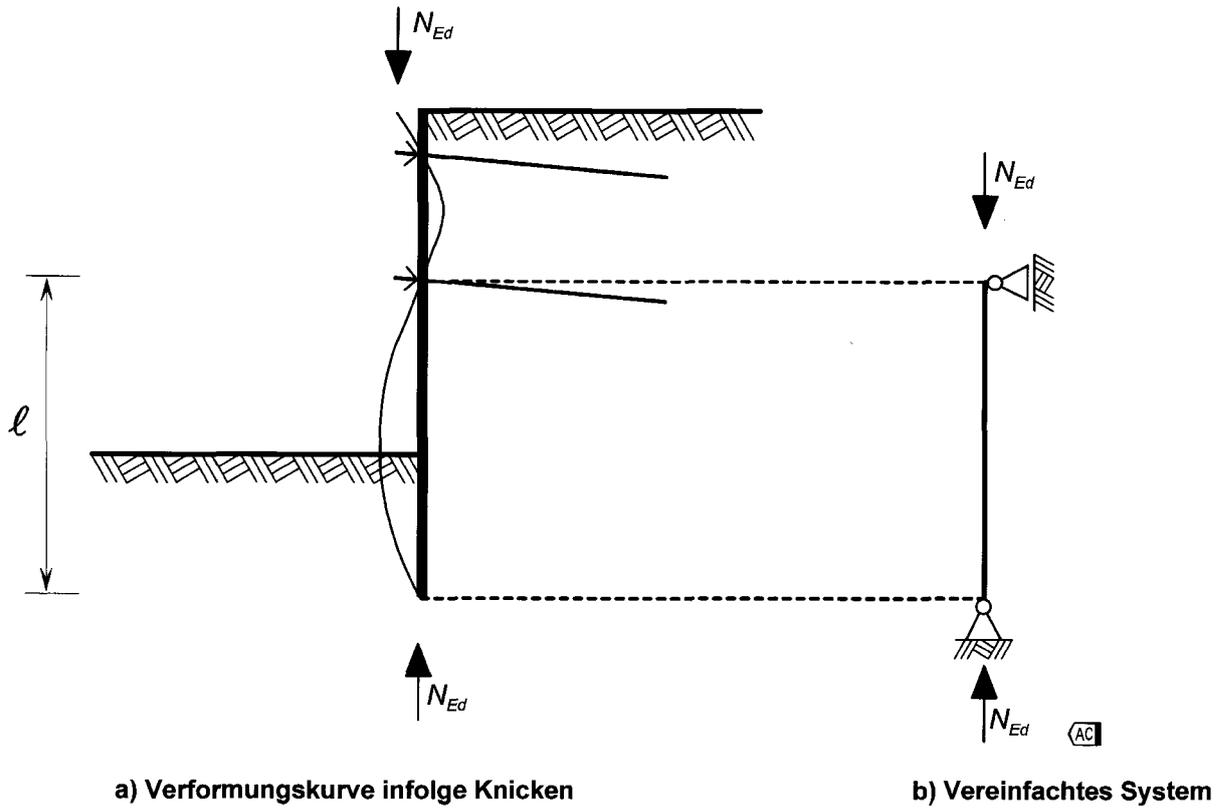
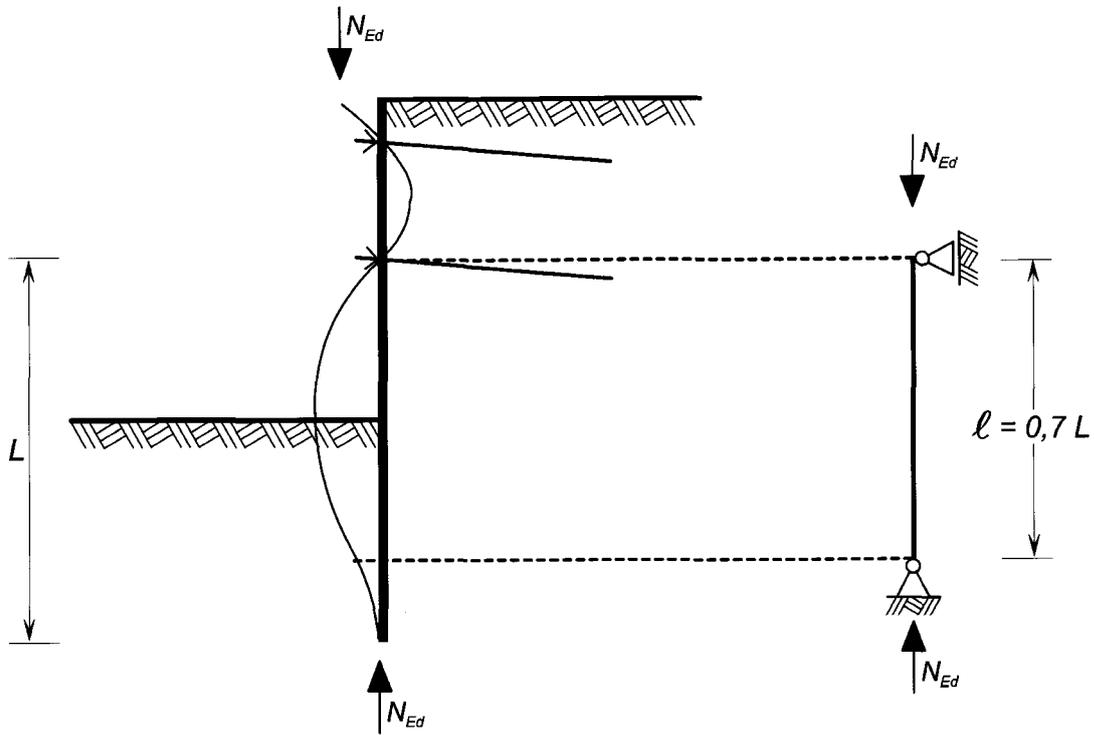


Bild 5-2 — Mögliche Bestimmung der Knicklänge  $l$ , freies Erdauflager

DIN EN 1993-5:2010-12  
EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)

AC

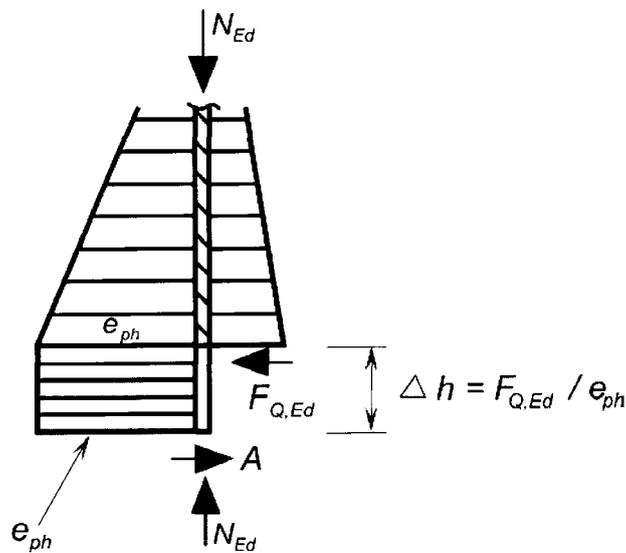


a) Verformungskurve infolge Knicken

b) Vereinfachtes System

AC

Bild 5-3 — Mögliche Bestimmung der Knicklänge  $l$ , eingespanntes Erdauflager



Legende

- $e_{ph}$  horizontaler passiver Erddruck
- $A$  Reibungskraft

Bild 5-4 — Bestimmung der zusätzlichen Horizontalkraft  $F_{Q,Ed}$

(9) Bei Bauteilen, die einer Normalkraft ausgesetzt sind, sollte der Bemessungswert der Normalkraft  $N_{Ed}$  in jedem Querschnitt Folgendes erfüllen:

$$N_{Ed} \leq N_{pl,Rd} \quad (5.15)$$

wobei  $N_{pl,Rd}$  der Bemessungswert des plastischen Querschnittswiderstandes ist, mit:

$$N_{pl,Rd} = A f_y / \gamma_{M0} \quad (5.16)$$

(10) Die Auswirkung der Normalkraft auf den plastische Momentenwiderstand von Spundbohlenquerschnitten der Klassen 1, 2 und 3 darf vernachlässigt werden, wenn:

— bei Z-Bohlen der Klassen 1 und 2:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 0,1 \quad (5.17)$$

— bei U-Bohlen der Klassen 1 und 2:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 0,25 \quad (5.18)$$

— bei Klasse-3-Profilen:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 0,1 \quad (5.19)$$

(11) Wenn die Normalkraft die in Absatz (10) gegebenen Grenzwerte überschreitet, sollten bei Fehlen der Querkraft folgende Kriterien erfüllt sein:

— Klasse-1- und Klasse-2-Querschnitte:

— bei Z-Bohlen:

$$M_{N,Rd} = 1,11 M_{c,Rd} (1 - N_{Ed} / N_{pl,Rd}) \quad \text{jedoch} \quad M_{N,Rd} \leq M_{c,Rd} \quad (5.20)$$

— bei U-Bohlen:

$$M_{N,Rd} = 1,33 M_{c,Rd} (1 - N_{Ed} / N_{pl,Rd}) \quad \text{jedoch} \quad M_{N,Rd} \leq M_{c,Rd} \quad (5.21)$$

— Klasse-3-Querschnitte:

$$M_{N,Rd} = M_{c,Rd} (1 - N_{Ed} / N_{pl,Rd}) \quad (5.22)$$

— Klasse-4-Querschnitte: siehe Anhang A.

Dabei ist

$M_{N,Rd}$  der reduzierte Bemessungswert des Momentenwiderstandes unter Berücksichtigung der Normalkraft.

(12) Wenn die Normalkraft die in Absatz (10) gegebenen Grenzwerte überschreitet, sollte das gleichzeitige Auftreten von Biegung, Normal- und Querkraft wie folgt berücksichtigt werden:

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

- a) Wenn der Bemessungswert der Querkraft  $V_{Ed}$  50 % des Bemessungswertes des plastischen Querkraftwiderstandes  $V_{pl,Rd}$  nicht überschreitet, braucht keine Abminderung der Kombination von Moment und Normalkraft nach dem Kriterium in Absatz (11) durchgeführt zu werden.
- b) Ist  $V_{Ed} > 0,5 V_{pl,Rd}$ , sollte der Bemessungswert des Querschnittswiderstandes für die Kombination von Moment und Normalkraft mit der abgeminderten Streckgrenze  $f_{y,red} = (1 - \rho) f_y$  für die Schubfläche ermittelt werden. Dabei gilt  $\rho = (2 V_{Ed} / V_{pl,Rd} - 1)^2$ .

**5.2.4 Lokale Auswirkungen von Wasserdrücken**

(1) Im Fall von unterschiedlichen Wasserdrücken, die bei Z-Bohlen 5 m und bei U-Bohlen 20 m Wassersäule überschreiten, sind in der Regel die Auswirkungen des Wasserdrucks auf die lokale Plattenquerbiegung zu berücksichtigen, um den Gesamtbiegegewiderstand zu bestimmen.

(2) Vereinfacht dürfen Z-Bohlen mit dem folgenden Verfahren nachgewiesen werden:

- wenn die unterschiedlichen Wasserdrücke mehr als 5 m betragen, sollte der Querschnittsnachweis an der Stelle des maximalen Biegemomentes durchgeführt werden;
- die Auswirkung von unterschiedlichen Wasserdrücken kann durch eine reduzierte Streckgrenze ermittelt werden:

$$f_{y,red} = \rho_P f_y$$

mit  $\rho_P$  nach Tabelle 5-2;

- zur Bestimmung von  $\rho_P$  nach Tabelle 5-2 ist der Wasserdruckunterschied an der Stelle des maximalen Moments zu berücksichtigen.

**Tabelle 5-2 — Abminderungsfaktor  $\rho_P$  für Z-Bohlen infolge unterschiedlicher Wasserdrücke**

w	$(b/t_{\min}) \varepsilon = 20,0$	$(b/t_{\min}) \varepsilon = 30,0$	$(b/t_{\min}) \varepsilon = 40,0$	$(b/t_{\min}) \varepsilon = 50,0$
5,0	1,00	1,00	1,00	1,00
10,0	0,99	0,97	0,95	0,87
15,0	0,98	0,96	0,92	0,76
20,0	0,98	0,94	0,88	0,60

**Erläuterung:**

$b$  Flanschweite, aber  $b$  sollte nicht kleiner als  $c/\sqrt{2}$  angenommen werden, wobei  $c$  die Steglänge ist;  
 $t_{\min}$  der kleinere Wert von  $t_f$  oder  $t_w$ ;  
 $t_f$  Flanschdicke;  
 $t_w$  Stegdicke;  
 $w$  Wasserhöhenunterschied, in m;  
 $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$ ;  $f_y$  ist die Fließgrenze in N/mm<sup>2</sup>.

ANMERKUNG 1 Wenn die Schlösser der Z-Bohle verschweißt sind, kann  $\rho_P = 1,0$  angesetzt werden.  
ANMERKUNG 2 Zwischenwerte können linear interpoliert werden.

### 5.2.5 Flachprofile

(1)P Die Schnittgrößen für den Festigkeitsnachweis von Flachbohlen in Zellenfangedämmen müssen mit einem Modell bestimmt werden, das das Verhalten der Spundwand im Grenzzustand der Tragfähigkeit beschreibt.

(2) Zu den auf die Füllung und Einwirkungen anzuwendenden Teilsicherheitsfaktoren wird auf EN 1997-1 und EN 1990 verwiesen.

(3) Das Modell für die Füllung sollte mit EN 1997-1 übereinstimmen.

(4) Das Modell für die Spundbohlen sollte mit EN 1993-1-1 übereinstimmen.

ANMERKUNG Es kann von Vorteil sein, für die Spundbohlen ein Rechenmodell mit großen Verformungen zu verwenden.

(5) Es darf eine zweidimensionale Berechnung in der maßgebenden horizontalen Ebene durchgeführt werden.

(6) Der Innendruck, der aus der Füllung herrührt oder über diese übertragen wird, sollte mit einem Wert, der mindestens dem Erdruchdruck entspricht, ermittelt werden, siehe EN 1997-1.

(7) Der Zugkraftwiderstand  $F_{ts,Rd}$  der Flachbohle sollte (anders als bei Verbindungsbohlen) als der kleinere Wert aus dem Schloss- und dem Stegwiderstand angenommen werden:

$$F_{ts,Rd} = \beta_R R_{k,s} / \gamma_{M0} \quad \text{jedoch} \quad F_{ts,Rd} \leq t_w f_y / \gamma_{M0} \quad (5.23)$$

Dabei ist

$f_y$  die Streckgrenze;

$R_{k,s}$  der charakteristische Schlosswiderstand;

$t_w$  die Stegdicke;

$\beta_R$  der Abminderungsfaktor des Schlosswiderstands.

ANMERKUNG Der Wert  $\beta_R$  kann im Nationalen Anhang angegeben werden. Der Wert  $\beta_R = 0,8$  wird empfohlen.

(8) Der charakteristische Schlosswiderstand  $R_{k,s}$  hängt vom Schlossquerschnitt und der verwendeten Stahlgüte ab. Der charakteristische Schlosswiderstand  $R_{k,s}$  sollte durch Versuche nach 2.6 und EN 10248 bestimmt werden.

(9) Für Flachbohlen sollte der Nachweis wie folgt geführt werden:

$$F_{t,Ed} \leq F_{ts,Rd} \quad (5.24)$$

Dabei ist

$F_{ts,Rd}$  der Bemessungswert des Zugwiderstandes nach Gleichung (5.23);

$F_{t,Ed}$  der Bemessungswert der Ringzugkraft.

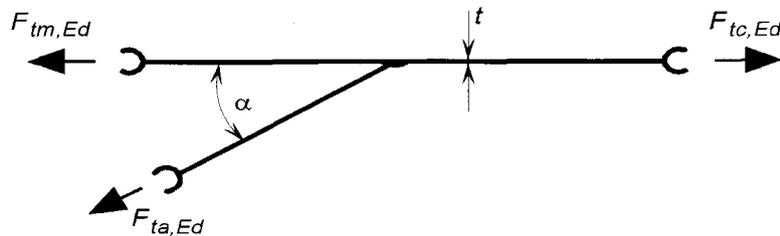
(10) Wenn Bohlen verschiedener Größe im gleichen Wandsegment verwendet werden, ist in der Regel der kleinste Zugkraftwiderstand im Nachweis anzusetzen.

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

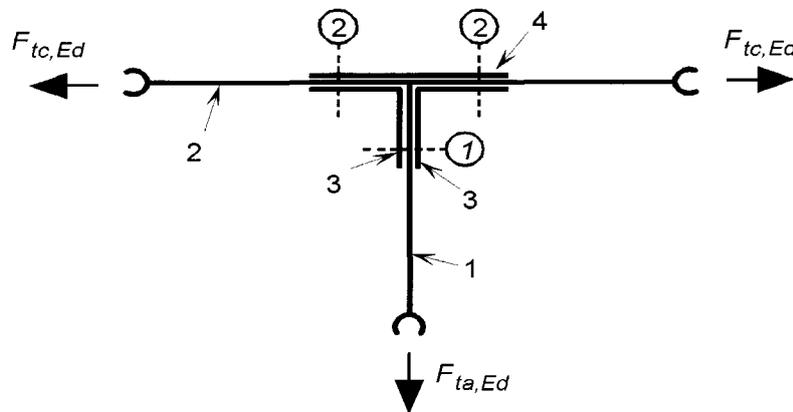
(11) Der Schlossdrehwinkel ( $180^\circ$  minus dem inneren Winkel zwischen zwei benachbarten Bohlen) ist in der Regel auf den vom Hersteller angegebenen Maximalwert zu begrenzen.

(12) Bei geschweißten Verbindungsbohlen sollten Stahlgüten mit geeigneten Eigenschaften verwendet werden.

(13) Bei der Bemessung von Verbindungsbohlen nach Bild 5-5 und Bild 5-6 sind in der Regel die Spannungen infolge Plattenbiegung zu berücksichtigen.



**Bild 5-5 — Geschweißte Verbindungsbohle**



**Bild 5-6 — Geschraubte T-Verbindung mit Unterlegplatte**

(14) Wenn die Schweißung nach dem gegebenen Verfahren in EN 12063 ausgeführt wird, darf die Verbindungsbohle wie folgt nachgewiesen werden:

$$\boxed{\text{AC}} F_{tm,Ed} \leq \beta_T F_{ts,Rd} \quad \boxed{\text{AC}} \quad (5.25)$$

Dabei ist

$F_{ts,Rd}$  der Bemessungswert des Zugwiderstandes der Bohle nach Gleichung (5.23);

$F_{tm,Ed}$  der Bemessungswert der Zugkraft in der Hauptzelle, gegeben durch:

$$\boxed{\text{AC}} F_{tm,Ed} = p_{m,Ed} r_m \quad \boxed{\text{AC}} \quad (5.26)$$

mit:

$p_{m,Ed}$  Bemessungswert des Innendruckes der Hauptzelle in der maßgebenden horizontalen Ebene infolge Wasserdruck und Erdruchdruck;

$r_m$  Radius der Hauptzelle, siehe Bild 5-7;

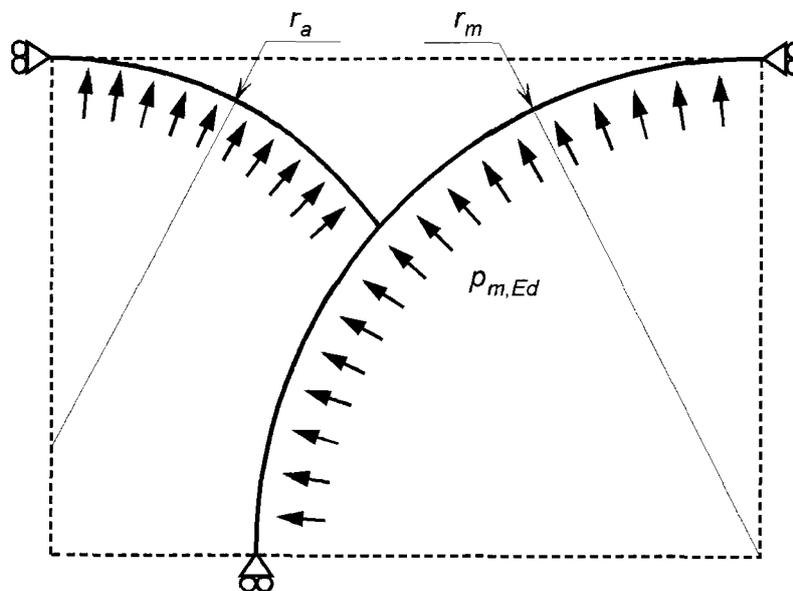
$\beta_T$  Abminderungsfaktor, der das Verhalten der geschweißten Verbindungsbohle im Grenzzustand der Tragfähigkeit berücksichtigt und wie folgt berechnet wird:

$$\boxed{AC} \beta_T = 0,9 (1,3 - 0,8 r_a / r_m) (1 - 0,3 \tan \varphi_k) \boxed{AC} \quad (5.27)$$

Darin sind  $r_a$  und  $r_m$  die Radien des Verbindungsbogens und der Hauptzelle nach Bild 5-7, und  $\boxed{AC} \varphi_k$  ist der charakteristische Wert  $\boxed{AC}$  des inneren Reibungswinkels des Füllmaterials.

ANMERKUNG 1 Der Faktor  $\beta_T$  berücksichtigt sowohl die Rotationskapazität (Duktilität) der Verbindungsbohle als auch die Rotationsanforderung (bis zu 20°), gerechnet mit einem Modell, das das Verhalten eines Fangedammes im Grenzzustand der Tragfähigkeit erfasst.

ANMERKUNG 2 Obwohl Gleichung (5.27) für Zellenfangedämme mit Verbindungsbögen in einer Flucht, siehe Bild 5-7, entwickelt wurde, liefert sie auch für andere Anordnungen brauchbare Ergebnisse. Wenn genauere Werte gefordert werden, können diese aus vergleichbaren Erfahrungen oder durch Versuche in Kombination mit einem geeigneten Bemessungsmodell in Übereinstimmung mit (1)P entwickelt werden.



**Bild 5-7 — Geometrie einer Kreiszelle und eines in der Flucht angeordneten Verbindungsbogens**

- (15) Bei einer 90°-Verbindungsbohle darf eine geschraubte T-Verbindung verwendet werden.
- (16) Bei Verbindungsbohlen, die als geschraubte T-Verbindung nach Bild 5-6 ausgeführt sind, darf der Nachweis unter Anwendung der folgenden Vorgehensweise durchgeführt werden.
- (17) Die Schlosszugfestigkeit sollte nach Absatz (9) nachgewiesen werden.
- (18) Die Verbindung sollte wie folgt nachgewiesen werden, siehe Bild 5-6:
  - Nachweis des Scher- und Lochleibungswiderstands der Schrauben (1) nach EN 1993-1-8, 3.6, mit Annahme einer gleichmäßig verteilten Zugkraft  $F_{ta,Ed}$ ;
  - Nachweis der Schraubenabstände (1) nach EN 1993-1-8, 3.5;

## DIN EN 1993-5:2010-12

### EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)

- Nachweis der Nettoquerschnittsfläche des Steges 1 und der benachbarten Schenkel des Winkels 3 nach den Festlegungen in EN 1993-1-8, 6.2.5;
  - Nachweis der Schrauben (2) auf Zugfestigkeit nach EN 1993-1-8, 3.11 unter Verwendung eines T-Stummel-Modells nach EN 1993-1-8, 6.2.4 (Versagensart 3);
  - Nachweis der hinteren Platte 4 und der benachbarten Schenkel des Winkels 3 nach EN 1993-1-8, 6.2.4 (Versagensarten 1 und 2). Um die Verwendung der in EN 1993-1-8, 6.2.4 angegebenen Versagensart zu erlauben, sollte der Bohlensteg 2 (siehe Bild 5-6) wie der Flansch des Ersatz-T-Stummels mit Versagensarten 1 und 2 behandelt werden;
  - Nachweis des Bohlenstegs 2 für die Zugkraft  $F_{t,Ed}$  gegen Fließen des Nettoquerschnitts.
- (19) Andere Verbindungsbohlentypen dürfen entsprechend nachgewiesen werden.

## 5.3 Tragpfähle

### 5.3.1 Allgemeines

- (1) Die Schnittgrößen von Pfählen sind in der Regel nach EN 1997-1 zu bestimmen, indem sowohl das Gleichgewichtsbedingungen eingehalten werden als auch die Verträglichkeit beachtet wird.
- (2) Tragfähigkeitsnachweise sind in der Regel sowohl für Bodenversagen für die einzelnen Pfähle und Pfahlgruppen nach EN 1997 durchzuführen als auch für das Versagen der Pfähle und ihrer Anschlüsse an das Tragwerk nach EN 1993-5, EN 1992 und EN 1994.

### 5.3.2 Bemessungsverfahren und -hinweise

- (1) Für Pfähle, die durch Normal- und Querkkräfte belastet werden, ist in der Regel der Bodenwiderstand aus EN 1997-1 zu entnehmen.
- (2) Die Pfahlschnittgrößen infolge Querbelastrung sollten gleichzeitig mit den Normalkräften und den angreifenden Momenten betrachtet werden. Diese dürfen durch Superposition einzelner Berechnungsergebnisse bestimmt werden, in denen angenommen wird, dass der Boden in Kontakt mit den einzelnen Pfahlabschnitten über deren Länge den einzelnen Einwirkungen Widerstand leistet. Alternativ darf angenommen werden, dass die Normalkräfte, Biegemomente und querverrichteten Kräfte durch den Widerstand des Bodens über die gesamte Pfahllänge aufgenommen werden, wenn der Boden fähig ist, die Beanspruchung aus deren Kombination aufzunehmen.
- (3) Die Bemessung eines einzelnen Pfahls sollte nach EN 1993-1-1, Abschnitt 5 durchgeführt werden.
- (4) Außer bei negativer Mantelreibung, darf konservativ die Spannungsverteilung infolge Normalkräften am Pfahlkopf für die Bestimmung der Schnittgrößen als konstant über die Pfahllänge angenommen werden.
- (5) Eine Übertragbarkeit von Torsionsmomenten, die am Pfahlkopf eingeleitet werden, in den Boden sollte nicht angesetzt werden, wenn keine besonderen Vorrichtungen dafür vorgesehen sind. Der Verlauf der Torsionsmomente sollte als konstant über die Pfahllänge angenommen werden.

### 5.3.3 Stahlpfähle

- (1) Querschnittsnachweise von Stahltragpfählen sind in der Regel nach EN 1993-1-1 zu führen.
- (2) Zu Bodenbedingungen, bei denen Gesamtknicken der Pfähle betrachtet werden muss, darf auf EN 1997, 7.8 zurückgegriffen werden.
- (3) Wenn der Boden eine unzureichende seitliche Abstützung liefert, darf das Schlankheitskriterium für den Knicknachweis als erfüllt angenommen werden, wenn  $N_{Ed} / N_{cr} \leq 0,10$ , wobei  $N_{cr}$  die kritische Last der Normalkraft  $N_{Ed}$  ist.

(4) Wenn der Knicknachweis erforderlich ist, ist in der Regel EN 1993-1-1, Abschnitt 5 zu beachten. Die nachfolgenden Effekte sollten berücksichtigt werden:

- zusätzlich zu den in EN 1993-1-1, 5.3 angegebenen Imperfektionen sollten zusätzliche Anfangsimperfektionen (z. B. aus Anschlüssen oder der Einbringung) nach EN 12699 und EN 14199 berücksichtigt werden;
- seitliche Stützung durch den umgebenden Boden darf bei Verwendung geeigneter Modelle (z. B. p-y-Methode, Bettungsmodulverfahren) auf der Grundlage der Theorie II. Ordnung berücksichtigt werden.

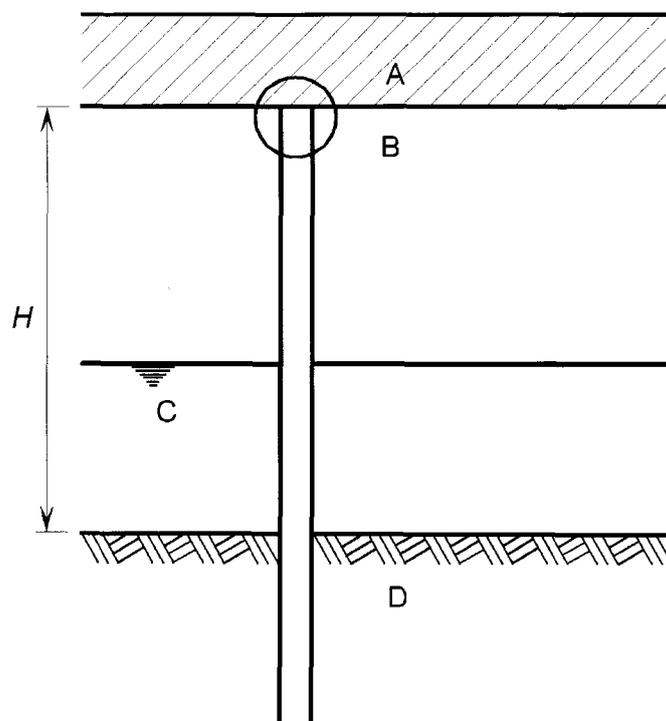
(5) Die Knicklänge darf mit der folgenden Näherung abgeschätzt werden (siehe Bild 5-8):

$$l_{cr} = k H \quad (5.28)$$

Der Wert  $k$  berücksichtigt die Verbindung zwischen dem Pfahlkopf und der Betondecke oder der Stahlkonstruktion.

(6) Bei genauerer Bestimmung der Knicklänge, z. B. für Pfähle mit kleinem Durchmesser, sollte 5.3.3 (4) beachtet werden.

(7)P Die Ausführung muss nach EN 12699 und EN 14199 erfolgen.



#### Legende

A Beton- oder Stahlkonstruktion  
B Anschluss

C Wasser oder weicher Boden  
D tragender Boden

$$l_{crit} = k H \quad \text{mit} \quad k = \begin{cases} \boxed{AC} 1,0 & \text{Anschluss B gegen Translationsbewegung gesichert, Rotationsbewegung frei } \boxed{AC} \\ \boxed{AC} 0,7 & \text{Anschluss B gegen Translations- und Rotationsbewegung gesichert } \boxed{AC} \\ \boxed{AC} 2,0 & \text{Anschluss B Translationsbewegung frei, gegen Rotationsbewegung gesichert } \boxed{AC} \end{cases}$$

Bild 5-8 — Vereinfachte Abschätzung der Knicklänge von Tragpfählen

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

**5.3.4 Betongefüllte Tragpfähle**

- (1) Betongefüllte Stahlpfähle sind in der Regel nach EN 1994 zu entwerfen und zu bemessen.
- (2) Querschnittsnachweise von betongefüllten Stahlpfählen sind in der Regel nach EN 1994-1 vorzunehmen.
- (3) Für Knicknachweise sind in der Regel EN 1994-1-1, 5.3.3 und 6.7 zu beachten.
- (4) Das Betonieren von Tragpfählen ist in der Regel nach EN 1536, EN 12699 und EN 14199 durchzuführen.

**5.4 Trägerpfahlwände**

- (1) Die Bemessung von Trägerpfahlwänden erfolgt in der Regel nach den Regeln für Spundwände. Die besondere Geometrie der verwendeten Querschnitte ist zu berücksichtigen, siehe Bild 1-6, und lokale Effekte infolge Erd- und Wasserdruck und infolge der Einleitung von Anker- und Gurtungskräften sind zu beachten.
- (2) Zur Bestimmung des Querschnittswiderstandes darf konservativ eine elastische Berechnung des Querschnittes zugrunde gelegt werden, vorausgesetzt, dass:
  - das Beulen der Bleche nach EN 1993-1-5 geprüft wird;
  - die mitwirkende Breite für breite Elemente berücksichtigt wird.

**5.5 Kombinierte Wände**

**5.5.1 Allgemeines**

- (1) Nachfolgend werden die Regeln für den Grenzzustand der Tragfähigkeit für die folgenden Typen von kombinierten Wänden angegeben, siehe Bild 1-5:
  - kombinierte Rohrprofile und Spundwände;
  - kombinierte Sonder-I-Querschnitte und Spundwände;
  - kombinierte zusammengesetzte Querschnitte und Spundwände.
- (2) Die Bemessung der Trag- und Füllelemente sollte die Funktion der Elemente berücksichtigen:
  - die Tragelemente wirken als stützende Bauteile gegen Erd- und Wasserdruck und können als Tragpfahl für vertikale Belastungen wirken;
  - die Füllelemente schließen nur die Lücke zwischen den Tragelementen und leiten die Lasten aus Erd- und Wasserdruck zu den Tragelementen ab.
- (3) In den freien Schlössern zwischen Trag- und Füllelement kann keine Übertragung von Schubkräften in Längsrichtung berücksichtigt werden.
- (4) P In der Regel ist im Einzelfall und in Abstimmung mit dem Auftraggeber festzulegen, ob Rammimperfectionen bei der Bemessung von kombinierten Wänden berücksichtigt werden müssen. Die Bemessungswerte der Rammimperfectionen müssen als prozentualer Anteil der Länge der Tragelemente mit Ansatz einer linearen Verteilung angegeben werden.

### 5.5.2 Füllelemente

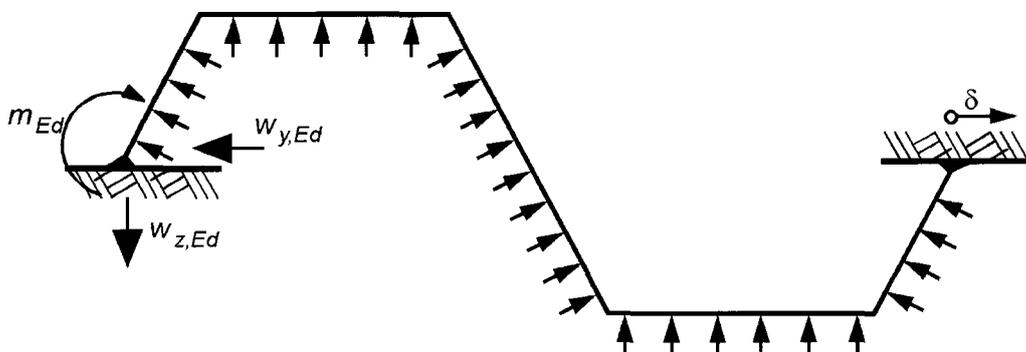
(1) Spundbohlen, die als Füllelemente für kombinierte Wände verwendet werden, sollten der EN 10248 entsprechen.

(2)P Für die Bemessung der Füllelemente muss nachgewiesen werden, dass die Übertragung der Schnittkräfte aus Erd- und Wasserdruck in die Tragelemente über die Anschlüsse möglich ist.

ANMERKUNG Es kann von Vorteil sein, die Gewölbewirkung im Boden zu berücksichtigen, die zu einer zusätzlichen Belastung der Tragelemente und zu einer reduzierten Erddruckbelastung der Füllelemente führt.

(3) Der Nachweis nach Absatz (2)P darf unter Verwendung eines vereinfachten zweidimensionalen Tragwerksmodells für das Füllelement erfolgen. Wenn nach 5.5.1 (4) Rammimperfektionen zu berücksichtigen sind, sollten diese durch den Ansatz einer eingprägten Verformung  $\delta$  mit Annahme der Randbedingungen in Bild 5-9, das eine Doppel-U-Bohle als Beispiel für ein Füllelement zeigt, berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Es wird angenommen, dass die Rammimperfektionen, senkrecht zur Stützwandebene durch Verdrehungen am Schloss aufgenommen werden („Rotationsspiel“).



(Schlösser sind nicht berücksichtigt)

**Bild 5-9 — Vereinfachtes Modell für Füllelemente**

(4) Für die Querschnittsnachweise mit vereinfachtem Tragwerksmodell darf eine plastische Berechnung mit großen Verformungen angewendet werden. Wenn Bauteile des Tragwerksmodells unter Druckspannungen stehen, sollte auf mögliche Instabilitäten, z. B. Durchschlagen, geachtet werden.

(5) Alternativ darf der Nachweis nach Absatz (2)P mit Versuchsergebnissen nach 2.6 durchgeführt werden.

ANMERKUNG Für die Versuchsauswertung ist EN 1990, Anhang D zu beachten.

(6) Der Versuchsaufbau sollte in der Lage sein, das Verhalten der Füllelemente nachzubilden.

(7) Für Spundwände, die als Füllelemente verwendet werden, dürfen weitere Nachweise entfallen, wenn die nachfolgenden Bedingungen zutreffen:

- die Wanddicke der Spundwand ist  $\geq 10$  mm;
- der auf die Spundwand wirkende Druckunterschied ist  $\leq 40$  kN/m<sup>2</sup>, entsprechend einer Wasserspiegeldifferenz von 4 m;

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

— der maximale lichte Abstand zwischen den Tragelementen ist 1,8 m bei U-Bohlen und 1,5 m bei Z-Bohlen.

(8) Es kann sinnvoll sein, die Füllelemente gegenüber den Tragelementen kürzer auszulegen. Die Kürzung der Füllelemente sollte nach EN 1997-1 überprüft werden.

ANMERKUNG 1 Bei gekürzten Füllelementen sollte bei unterschiedlichen Wasserständen die Gefahr des hydraulischen Grundbruches oder der Unterspülung beachtet werden.

ANMERKUNG 2 Zu dem Ansatz des passiven Erddrucks, der auf die Tragelemente wirkt, sollte auf EN 1997-1 verwiesen werden.

### 5.5.3 Verbindungselemente

(1)P Die Verbindung zwischen Trag- und Füllelement muss so bemessen werden, dass die Übertragung der Bemessungskräfte von den Füllelementen in die Tragelemente möglich ist.

(2) Dieser Nachweis darf mit Versuchsergebnissen nach 2.6 durchgeführt werden.

(3) Wenn der Nachweis rechnerisch erfolgt, ist in der Regel nachzuweisen, dass die Verbindungen in der Lage sind, die Auflagerreaktionen nach 5.5.2 (3) zu übertragen.

(4) Beim Nachweis der Verbindung auf Plattenbiegung sollte Plastifizierung berücksichtigt werden.

### 5.5.4 Tragelemente

(1)P Die Schnittgrößen infolge Erd- und Wasserdruck müssen unter Berücksichtigung der Lasten auf die Trag- und die Füllelemente und wo möglich zusätzlicher Lasten infolge Gewölbewirkung im Boden bestimmt werden, siehe 5.5.2 (2)P.

(2) Bei der Berechnung sollte die Reduzierung der Gesamttragfähigkeit der Tragelemente infolge der Lasteinleitung durch die Füllelemente über die Verbindungen berücksichtigt werden. Diese Anforderung darf als erfüllt gelten, wenn unterstellt werden kann, dass der Erddruck infolge der Gewölbewirkung direkt auf die Tragelemente wirkt und wenn auf die Füllelemente ein Wasserüberdruck von  $\leq h$  [m] wirkt.

ANMERKUNG Der Wert  $h$  darf im Nationalen Anhang angegeben werden. Der Wert von  $h = 5$  m wird empfohlen.

(3) Wird keine genauere Methode verwendet, sollten für den Festigkeitsnachweis der Tragelemente die nach 5.5.2 (3) ermittelten Auflagerkräfte der Füllelemente, die über die Verbindungen eingeleitet werden, berücksichtigt werden.

(4) Der Gesamtwiderstand darf entweder durch Versuche nach 2.6 oder durch die Berechnung nach den folgenden Abschnitten bestimmt werden.

(5) Der Nachweis von I-Profilen oder Rohren sollte nach EN 1993-1-1, Abschnitt 5 erfolgen.

(6) Die Auswirkung der Lasteinleitung aus den Verbindungen mit den Füllelementen auf den Widerstand von I-Profil-Bohlen sollte nach EN 1993-1-1 berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Das in D.1 beschriebene Verfahren darf zur Bestimmung des durch die Lasteinleitung aus den Füllelementen reduzierten Gesamtwiderstandes der I-Profil-Bohlen, die als Tragelemente in kombinierten Spundwänden eingesetzt werden, verwendet werden.

(7) Die Wirkung der Lasteinleitung aus den Füllelementen über die Verbindungen auf den Widerstand von Rohren sollte nach EN 1993-1-1 und EN 1993-1-6 berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Das in D.2 beschriebene Verfahren darf zur Bestimmung des durch die Lasteinleitung aus den Füllelementen reduzierten Gesamtwiderstandes der Rohrprofile, die als Tragelemente in kombinierten Spundwänden eingesetzt werden, verwendet werden.

(8) Für die Einleitung von konzentrierten Lasten aus Gurtungen, Ankern usw. ist das Rohrprofil in der Regel entweder entsprechend nachzuweisen oder konstruktiv mit Steifen oder einer Füllung aus Beton oder hochverdichtetem nicht-kohäsivem Material auszustatten, so dass lokales Beulen vermieden wird.

(9) Bei Rohrpfählen, die nach Absatz (8) verfüllt sind, darf der volle Querschnittswiderstand nach EN 1992, EN 1993 und EN 1994 im verfüllten Bereich des Rohrs angesetzt werden.

(10) Zusammengesetzte Profile, die als Tragelemente verwendet werden, sind in der Regel nach 5.4 nachzuweisen, vorausgesetzt, dass die Wirkungen der Lasten aus den Füllelementen berücksichtigt werden.

(11) Wenn die vereinfachte Methode nach 5.4 (2) verwendet wird, sollten die lokalen Wirkungen der Auflagerreaktionen, die nach 5.5.2 (3) bestimmt werden, berücksichtigt werden.

## **6 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit**

### **6.1 Grundlagen**

(1) Die Bedeutungen von Setzungen und Erschütterungen und deren Grenzwerte sind in der Regel in jedem Einzelfall unter Berücksichtigung der jeweiligen lokalen Bedingungen anzugeben.

(2) Die Einhaltung der Grenzwerte ist in der Regel durch einen Gebrauchstauglichkeitsnachweis zu bestätigen.

(3) Auch wenn keine Grenzwerte vorgegeben sind, sollte nachgewiesen werden, dass bei Anwendung eines Modells nach 2.5.3.3 (1) keine plastischen Verformungen auftreten.

(4) Die Bemessung von Spundbohlen oder Tragpfählen für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sollte für geeignete Bemessungssituationen nach EN 1997-1 unter Berücksichtigung einer möglichen Stahldickenverminderung infolge Korrosion durchgeführt werden.

### **6.2 Verformungen von Stützwänden**

(1) Für den Nachweis der Verformungen ist in der Regel EN 1997-1 zu beachten.

(2) Die Verschiebungen infolge Lagerbewegungen (z. B. an Gurtungen, Steifen, Ankern) sollten berücksichtigt werden.

(3) Falls erforderlich, sollten zusätzlich zu den Verformungen infolge der Belastung Anfangs imperfektionen infolge des Einbringens nach den in EN 12063 angegebenen Einbringtoleranzen berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Dies kann notwendig sein, wenn bestimmte lichte Abstände in einer Baugrube gefordert sind.

(4) Wenn die Verformungen einer Spundwand nachgewiesen werden, sollte berücksichtigt werden, dass die Qualität der Bauausführung und deren Überwachung einen erheblichen Einfluss auf das Ausmaß dieser Verformungen haben.

### **6.3 Verformungen von Tragpfählen**

(1) EN 1997-1 sollte bei der Bestimmung der Verformungen von Trag- und Mikropfählen berücksichtigt werden.

### **6.4 Konstruktive Aspekte von Stahlspundwänden**

(1) Bei der Verformungsberechnung von Stützwandkonstruktionen sollten die möglichen zusätzlichen Verschiebungen infolge der lokalen Verformungen an den Anschlussstellen der Anker, Gurtungen und Steifen berücksichtigt werden, wenn sie nicht vernachlässigbar sind.

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

ANMERKUNG Diese Effekte können relevant sein, wenn große horizontale Kräfte in unausgesteifte Verbundwände, siehe Bild 1-7, durch ein H-Profil als Gurtung eingeleitet werden.

(2)P Die effektive Biegesteifigkeit muss berücksichtigt werden.

(3) Die effektive Biegesteifigkeit von Spundwänden aus U-Bohlen darf wie folgt bestimmt werden, wenn der unterschiedliche Grad der Schubkraftübertragung in den Schlössern, die nahe der Wandachse liegen, berücksichtigt werden soll:

$$(EI)_{\text{eff}} = \beta_D (EI) \quad (6.1)$$

Dabei ist

$I$  der Flächenträgheitsmoment der durchgehenden Wand;

$\beta_D$  der Faktor mit einem Wert  $\leq 1,0$ , um die mögliche Verminderung infolge unvollständiger Schubkraftübertragung im Schloss zu berücksichtigen.

ANMERKUNG 1  $\beta_D$  hängt von vielen örtlichen Einflüssen ab, siehe Anmerkung 1 von 5.2.2 (2). Der Wert für  $\beta_D$  darf im Nationalen Anhang angegeben werden.

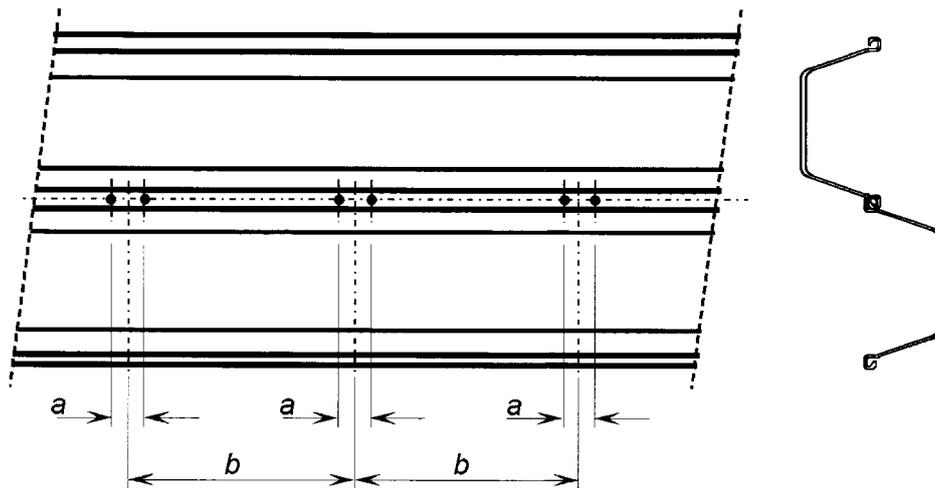
ANMERKUNG 2 Die Übertragbarkeit von Schubkräften in den Schlössern von U-Bohlen kann durch durchgehende oder abschnittsweise Verschweißung oder durch Verpressungen vergrößert werden.

(4)P Verpresspunkte müssen die Übertragung der erforderlichen Schlossschubkräfte ermöglichen. Der repräsentative Wert der Schubkraft  $R_{\text{ser}}$ , die von einem Verpresspunkt im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit übertragen wird, ist:  $R_{\text{ser}} = 75 \text{ kN}$ . Es muss durch Versuche nach EN 10248 nachgewiesen werden, dass die Verpresspunktsteifigkeit nicht geringer als  $15 \text{ kN/mm}$  ist.

ANMERKUNG 1 Diese Steifigkeitsanforderungen entsprechen einer Schubkraft von  $75 \text{ kN}$  bei einer Verschiebung von  $5 \text{ mm}$ .

ANMERKUNG 2 Verpresspunkte können aus Einfach-, Doppel- oder Dreifachverpresspunkten bestehen.

(5) Wenn der Abstand von Einfach- oder Doppelverpresspunkten nicht größer ist als  $0,7 \text{ m}$  (siehe Bild 6-1) und der Abstand von Dreifachverpresspunkten nicht größer ist als  $1,0 \text{ m}$ , kann für jeden Verpresspunkt vorausgesetzt werden, dass gleich große Schubkräfte mit  $V_{\text{ser}} \leq R_{\text{ser}}$  übertragen werden.

**Legende** $a \leq 100 \text{ mm}$  $b \leq 700 \text{ mm}$ **Bild 6-1 — Abstände von Doppelverpresspunkten****7 Anker, Gurtungen, Aussteifungen und Anschlüsse****7.1 Allgemeines**

(1)P Die Schnittgrößen in Ankern, Gurtungen, Aussteifungen und Anschlüssen müssen aus einer Berechnung bestimmt werden, bei der die Boden-Tragwerks-Interaktion berücksichtigt wird.

(2) Wo notwendig, sollten auch die Schnittgrößen infolge Temperaturänderungen oder Sonderlasten berücksichtigt werden, siehe 2.5.2 (4).

(3) Es dürfen vereinfachte Berechnungsmethoden verwendet werden, bei denen in geeigneter Weise die Einwirkungen auf die verschiedenen Elemente des Tragwerks das Verhalten der einzelnen Bauteile berücksichtigen.

(4) Zu den Teilsicherheitsfaktoren  $\gamma_{M2}$  und  $\gamma_{M3,ser}$ , die bei Anschlüssen anzusetzen sind, siehe EN 1993-1-8.

ANMERKUNG Die Teilsicherheitsfaktoren  $\gamma_{Mb}$  und  $\gamma_{Mt,ser}$  dürfen im Nationalen Anhang festgelegt werden. Die Werte  $\gamma_{M2} = 1,25$  und  $\gamma_{Mt,ser} = 1,10$  werden empfohlen.

**7.2 Verankerungen****7.2.1 Allgemeines**

(1)P Die Nachweise der Querschnitte und der Verbindungen zwischen den Stahlteilen von passiven Ankern, einschließlich Zugankern, Ankerköpfen oder Anschlüssen, müssen wie folgt durchgeführt werden.

ANMERKUNG Bemessungsvorschriften für die Stahlteile von vorgespannten Ankern sind in EN 1537 angegeben.

(2) Die Versuchsdurchführung und die Verwendung von Versuchsergebnissen zur Bestimmung des Bemessungswiderstands von passiven Ankern und verpressten Ankern im Hinblick auf Ausreißversagen des

## DIN EN 1993-5:2010-12 EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)

Ankers (Boden-Tragwerks-Verhalten) sollten mit den Grundsätzen in EN 1997-1 und EN 1537 übereinstimmen.

### 7.2.2 Grundlegende Bemessungsbestimmungen

(1)P Für die Ankerbemessung müssen die Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit beachtet werden.

(2) Die Ankerlänge ist in der Regel so festzulegen, dass ein Versagen des Bodens oder der Mantelreibung vor dem Fließen des erforderlichen Mindestquerschnitts des Ankers verhindert wird. Die Ankerlänge sollte nach EN 1997-1 berechnet werden.

(3) Für passive Anker sollte Stahl mit einer Streckgrenze von höchstens 800 N/mm<sup>2</sup> verwendet werden.

(4) Die Längssteifigkeit des Ankers sollte bei der Bemessung einer Stützwand berücksichtigt werden. Sie darf aus vorausgegangen Versuchen oder mit vergleichbaren Erfahrungswerten abgeschätzt werden.

ANMERKUNG Es kann nützlich sein, die Auswirkungen der Ankersteifigkeit auf die Bemessung der Stützwand durch eine Maximum/Minimum-Betrachtung für die Steifigkeit einzugrenzen.

### 7.2.3 Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

(1) Für den Zugwiderstand  $F_{t,Rd}$  der Anker ist in der Regel als der kleinere Wert von  $F_{tt,Rd}$  und  $F_{tg,Rd}$  anzusetzen.

(2) Wenn nicht anders vorgegeben, sollte der Zugwiderstand im Ankergewinde wie folgt bestimmt werden:

$$F_{tt,Rd} = k_t \frac{f_{ua} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (7.1)$$

Dabei ist

$A_s$  die Zugspannungsfläche im Gewinde;

$f_{ua}$  die Zugfestigkeit des Stahlankers;

$\gamma_{M2}$  der Teilsicherheitsbeiwert nach 7.1 (4).

ANMERKUNG 1  $\overline{AC}$   $k_t$  darf im Nationalen Anhang angegeben sein. Der empfohlene Wert für  $k_t$  ist 0,6. Dies berücksichtigt Fälle, in denen eine mögliche Biegung im Anker infolge von Schnittgrößen nicht ausdrücklich zutage tritt. Nur in Fällen, in denen die Stelle, an der der Ankerstab mit der Wand verbunden ist, so bemessen ist, dass Biegemomente hier vermieden werden, kann als empfohlener Wert  $k_t = 0,9$  angesetzt werden.  $\overline{AC}$

ANMERKUNG 2 Konservativ kann die Nettofläche im Gewindebereich anstelle der Zugspannungsfläche verwendet werden.

(3) Der Zugwiderstand  $F_{tg,Rd}$  des Ankerschaftes sollte wie folgt bestimmt werden:

$$F_{tg,Rd} = A_g f_y / \gamma_{M0} \quad (7.2)$$

Dabei ist

$A_g$  die Bruttoquerschnittsfläche des Ankerstabs.

$\overline{AC}$  gestrichener Text  $\overline{AC}$

AC (4) AC Wenn die Anker mit einem toten Mann oder mit anderen Lastverteilungselementen am Ankerende bestückt sind, sollte keine Haftung entlang des Ankerschaftes berücksichtigt werden. Die gesamte Ankerkraft sollte durch das Ankerende übertragen werden.

AC (5) AC Der Bemessungswert des Zugkraftwiderstandes der Ankerplatte  $B_{t,Rd}$  sollte als der kleinste Wert aus dem Zugwiderstand  $F_{tg,Rd}$  nach Absatz (3) und dem Abscherwiderstand des Ankerkopfs und der Mutter  $B_{p,Rd}$  aus EN 1993-1-8, Tabelle 3-4 bestimmt werden.

AC (6) AC Die Bemessung der Lastverteilungselemente sollte nach EN 1993-1-1 durchgeführt werden.

AC (7) AC Bei einem geneigten Anker sollte nachgewiesen werden, dass die Komponente der Ankerkraft, die in Richtung der Längsachse der Spundbohle wirkt, sicher vom Anker auf die Gurtung oder auf den Flansch der Spundbohle und in den Boden übertragen werden kann, siehe EN 1997-1.

#### 7.2.4 Gebrauchstauglichkeitsnachweis

(1)P Für Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit muss der Querschnitt des Ankers so bemessen werden, dass unter den charakteristischen Lastkombinationen Verformungen infolge Fließens des Zugankers vermieden werden.

(2) Der Grundsatz in Absatz (1)P darf als erfüllt angesehen werden, wenn

$$F_{t,ser} \leq \frac{f_y A_s}{\gamma_{Mt,ser}} \quad (7.3)$$

Dabei ist

$A_s$  die Zugspannungsfläche des Gewindestücks oder Bruttoquerschnittsfläche des Ankerstabes, wobei der kleinere Wert gilt;

$F_{t,ser}$  die Normalkraft im Anker unter charakteristischen Lasten;

$\gamma_{Mt,ser}$  der Teilsicherheitsfaktor nach 7.1 (4).

#### 7.2.5 Anforderungen an die Dauerhaftigkeit

(1) Zu Anforderungen an die Dauerhaftigkeit von Ankern, die aus hochfestem Stahl entsprechend 3.7 (1) hergestellt werden, sollte EN 1537 beachtet werden.

(2) Zu Ankern aus anderen Stahlgütern sollte 4.1 beachtet werden.

ANMERKUNG Biegung im Ankerstab am Anschluss zur Spundwand kann einen nachteiligen Effekt auf die Dauerhaftigkeit der Stützwandkonstruktion haben. Dies sollte beachtet werden, insbesondere bei Stützwänden, deren Stabilität ausschließlich auf den Verankerungen beruht.

#### 7.3 Gurtungen und Aussteifungen

(1) Die mechanischen Eigenschaften von Gurtungen und Aussteifungen, die in einer Tragwerksberechnung verwendet werden, sollten mit den Konstruktionsdetails übereinstimmen.

(2) Für den Nachweis des Grenzzustandes der Tragfähigkeit, sollten die Schnittgrößen in den Gurtungen und Aussteifungen für alle maßgeblichen Bemessungssituationen bestimmt werden.

ANMERKUNG Wenn eine Aussteifung versagt, ist es unwahrscheinlich, dass sich dies in Form einer allmählichen Bewegung ankündigt oder dass genügend Zeit für Gegenmaßnahmen bleibt. Versagen eines Ankers könnte zu progressivem Versagen führen. Da die Schadensfolgen bei diesem Versagen sehr schwerwiegend sein können, sind konservative Annahmen für die Bemessung dieser Bauteile und ihrer Anschlüsse angemessen.

(3) Der Querschnittswiderstand der Bauteile sollte nach EN 1993-1-1 bestimmt werden.

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

## 7.4 Verbindungen

### 7.4.1 Allgemeines

(1) Der Widerstand von Anschlüssen ist in der Regel nach EN 1993-1-8 nachzuweisen.

### 7.4.2 Tragpfähle

(1) Wenn nicht anders festgelegt, darf die Verbindung zwischen dem Tragpfahl und dem Pfahlrost auf verschiedenen (konservativen) Wegen für die Bemessung des Stahlpfahls und für die Bemessung des Pfahlrosts berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Der Grad der Einspannung des Pfahls in dem Pfahlrost oder der Gründung bestimmt die lokalen Querkräfte und Momente, für die zu bemessen ist.

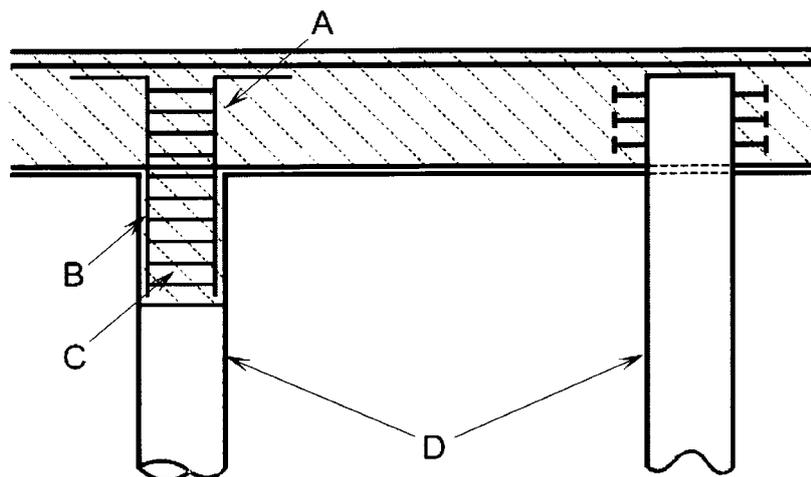
(2) Die statischen Eigenschaften der Verbindungen zwischen den Pfahlköpfen und dem Pfahlrost (gelenkig oder eingespannte Verbindung), welche von ihrer Steifigkeit und der konstruktiven Ausbildung abhängig sind, sollten mit der gewählten Art der Lastübertragung übereinstimmen. Beispiele hierfür werden in Bild 7-1 und Bild 7-2 gezeigt, siehe auch EN 1994.

ANMERKUNG Eine direkte Verbindung eines Stahltragwerks mit Tragpfählen ist ebenfalls möglich, siehe Bild 7-3.

(3) Bei der Bemessung der Verbindungen zwischen Pfahl und Pfahlrost sollten Dauerhaftigkeitsaspekte berücksichtigt werden.

(4) Verbindungen zwischen zwei Pfahlabschnitten sollten nach EN 1993-1-8 bemessen werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang darf Informationen zur Bemessung von Pfahlverbindungsstücken enthalten.

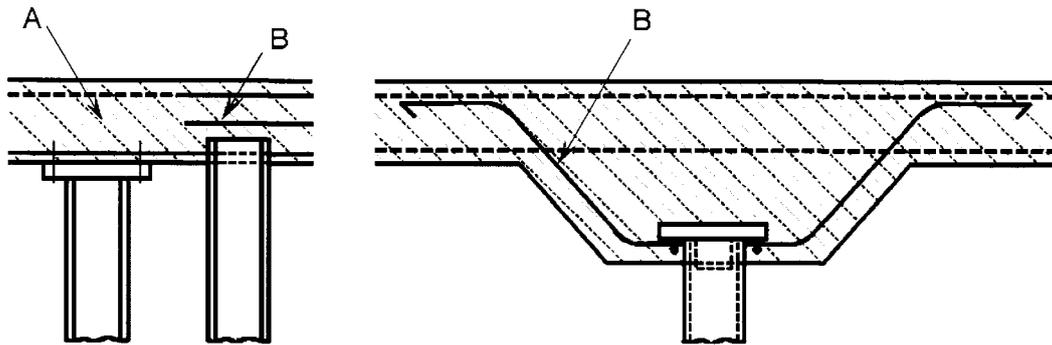


#### Legende

A Betonplatte / Pfahlrost  
 B Bewehrung

C Betonfüllung  
 D Stahlpfahl

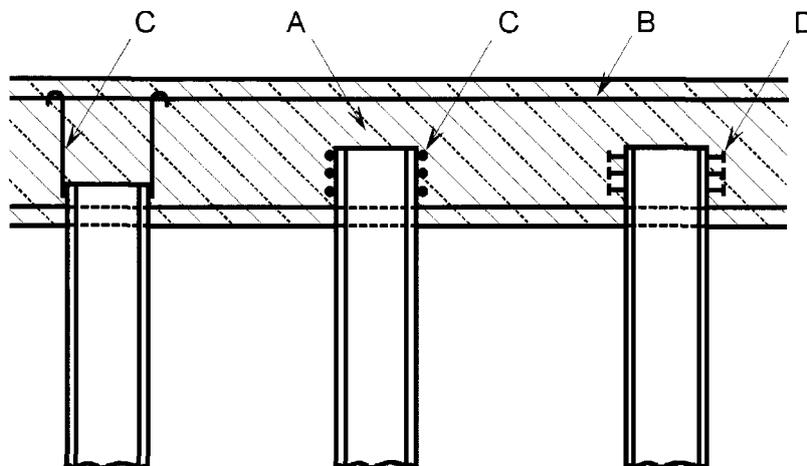
**Bild 7-1 — Rohr- und Kastenpfähle, Beispiele für die Verbindung mit dem Pfahlrost**



**Legende**

- A Pfahlrost
- B Bewehrung entsprechend der Art der Lastübertragung in die Betonplatte angeordnet

**a) Druckbelastung**



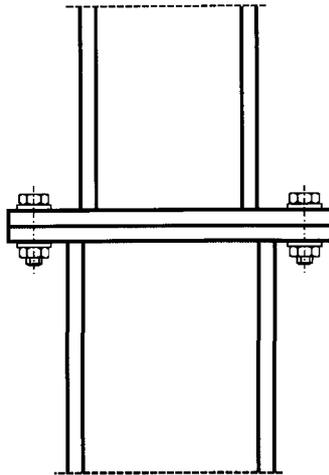
**Legende**

- A Pfahlrost
- B Bewehrung entsprechend der Art der Lastübertragung in die Betonplatte angeordnet
- C am Pfahl angeschweißter Betonrippenstahl
- D Kopfbolzendübel oder an Winkelprofil angeschweiß

**b) Druck- und Zugbelastung**

**Bild 7-2 — Beispiele für Tragpfahlanschlüsse an einen Betonträgerrost**

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**



**Bild 7-3 — Beispiel für eine Verbindung des Tragpfahls an eine Stahlkonstruktion oberhalb der Gründung**

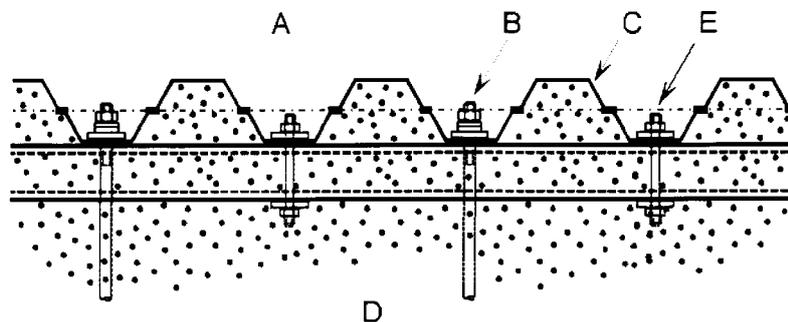
#### 7.4.3 Verankerung

(1)P Es ist der Widerstand der Spundbohle gegen die Einleitung der Ankerkraft in den Flansch mittels Ankerplatte nachzuweisen, wenn der Ankeranschluss über eine Gurtung hinter der Wand (siehe Bild 7-4) oder ohne Einsatz einer Gurtung (siehe Bild 7-5a) erfolgt.

ANMERKUNG Ein mögliches Verfahren für diesen Nachweis ist in Absatz (3) angegeben.

(2)P Es ist der Widerstand der Spundbohle gegen die Einleitung der Anker- oder Aussteifungskraft in den Steg mittels Gurtung (siehe Bild 7-6) oder mittels Ankerplatte (siehe Bild 7-5b) nachzuweisen.

ANMERKUNG Ein mögliches Verfahren für diesen Nachweis ist in Absatz (4) und Absatz (5) angegeben.

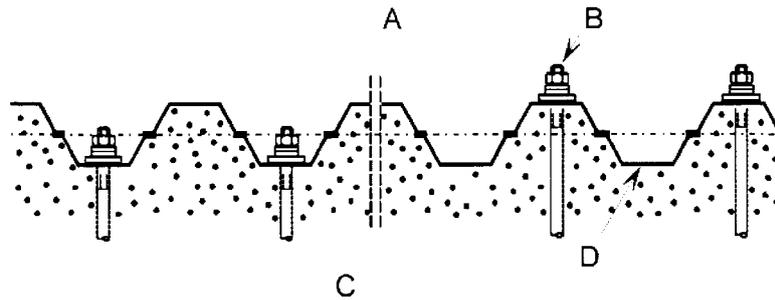


#### Legende

A Aushub  
 B Anker  
 C Spundwand

D Boden  
 E Bolzen

**Bild 7-4 — Beispiel einer Verankerung mit Gurtung hinter der Spundwand**



a) Anker befindet sich im Wellental der Spundwand

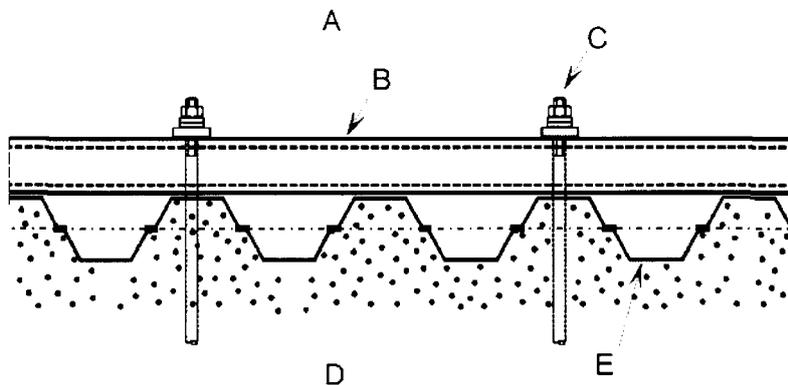
b) Anker befindet sich am Wellenberg der Spundwand

**Legende**

A Aushub  
B Anker

C Boden  
D Spundwand

**Bild 7-5 — Beispiel einer Verankerung ohne Gurtung**



**Legende**

A Aushub  
B Gurtung  
C Anker

D Boden  
E Spundwand

**Bild 7-6 — Beispiel einer Gurtung vor der Spundwand**

(3) Der Widerstand der Spundwand mit einer Gurtung hinter der Wand (siehe Bild 7-4) oder ohne Gurtung (siehe Bild 7-5a) gegen die Ankerkraft, die über die Flansche durch eine Ankerplatte eingeleitet wird, darf wie folgt nachgewiesen werden:

a) Schubwiderstand des Flansches:

$$F_{Ed} \leq R_{Vf,Rd} \tag{7.4}$$

Dabei ist

$F_{Ed}$  der Bemessungswert der lokalen quergerichteten Kraft, die in den Flansch eingeleitet wird;

$R_{Vf,Rd}$  der Bemessungswert des Schubwiderstandes des Flansches unter der Ankerplatte definiert durch

$$R_{Vf,Rd} = 2,0 (b_a + h_a) t_f \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \tag{7.5}$$

Dabei ist

$b_a$  die Ankerplattenbreite;

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

- $f_y$  die Streckgrenze der Spundwand;  
 $h_a$  die Ankerplattenlänge, jedoch  $\leq 1,5 b_a$ ;  
 $t_f$  die Flanschdicke.

b) Zugwiderstand des Steges:

$$F_{Ed} \leq R_{tw,Rd} \quad (7.6)$$

Dabei ist

$R_{tw,Rd}$  der Bemessungswert des Zugwiderstandes von 2 Stegen, definiert durch

$$R_{tw,Rd} = 2,0 h_a t_w f_y / \gamma_{M0} \quad (7.7)$$

mit

$t_w$  Stegdicke;

c) Breite der Ankerplatte:

$$b_a \geq 0,8 b \quad (7.8)$$

Dabei ist

$b_a$  die Breite der Ankerplatte;

$b$  die Flanschbreite, siehe Bild in Tabelle 5-1;

ANMERKUNG Es darf ein kleinerer Wert für  $b$  angesetzt werden, unter der Voraussetzung, dass die Flanschbiegung überprüft wurde.

d) Dicke der Ankerplatte:

Die Ankerplatte sollte für Biegung nachgewiesen werden und eine Mindestdicke von  $2t_f$  haben.

(4) Der Widerstand der Spundbohle gegen den Teil der Anker- oder Steifenkraft, der in die Stege über eine Gurtung (siehe Bild 7-6) eingeleitet wird, darf wie folgt bestimmt werden:

Bei  $F_{Ed} \leq 0,5 R_{c,Rd}$ : kein weiterer Nachweis ist notwendig.

Bei  $F_{Ed} > 0,5 R_{c,Rd}$ : lautet der Nachweis:

$$\frac{F_{Ed}}{R_{c,Rd}} + 0,5 \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (7.9)$$

Dabei ist

$F_{Ed}$  Bemessungswert der lokalen quergerichteten Kraft je Steg, die über die Gurtung eingeleitet wird;

$R_{c,Rd}$  der Widerstand gegen die lokale Kraft.  $R_{c,Rd}$  sollte als der kleinste Wert von  $R_{e,Rd}$  und  $R_{p,Rd}$  für jeden Steg angesetzt werden. Dieser lautet:

$$R_{e,Rd} = \frac{\varepsilon}{4e} (s_S + 4,0 s_{ec}) \sin \alpha (t_w^2 + t_f^2) f_y / \gamma_{M0} \quad (7.10)$$

oder

$$R_{p,Rd} = \chi R_{p0} / \gamma_{M0} \quad (7.11)$$

Dabei ist

$$\chi = 0,06 + \frac{0,47}{\lambda} \leq 1,0 \quad (7.12)$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{R_{p0}}{R_{cr}}} \quad (7.13)$$

$$R_{cr} = 5,42 E \frac{t_w^3}{c} \sin \alpha \quad (7.14)$$

$$R_{p0} = \sqrt{2} \varepsilon f_y t_w \sin \alpha \left( s_s + t_f \sqrt{\frac{2b \sin \alpha}{t_w}} \right) \quad (7.15)$$

$b$  die Flanschbreite, siehe Bild in Tabelle 5-1;

$c$  die Steglänge, siehe Bild 5-1;

$e$  die Exzentrizität der Lasteinleitung in den Steg, gegeben durch

$$r_0 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) - \frac{t_w}{2 \sin \alpha}, \text{ jedoch nicht weniger als 5 mm;} \quad (7.16)$$

$f_y$  die Streckgrenze der Spundbohle;

$r_0$  der Außenradius der Ecke zwischen Flansch und Steg;

$$s_{ec} = 2,0 \pi r_0 \left( \frac{\alpha}{180} \right) \text{ mit } \alpha \text{ in Grad;} \quad (7.17)$$

$s_s$  die Länge der Lasteinleitungsbreite, bestimmt nach EN 1993-1-5, 6.3. Wenn die Gurtung aus zwei Teilen besteht, z. B. bei zwei U-Profilen, ist  $s_s$  die Summe beider Teile zuzüglich des kleinsten Wertes aus dem Abstand zwischen den zwei Teilen oder der Länge  $s_{ec}$ ;

$t_f$  die Flanschdicke;

$t_w$  die Stegdicke;

$\alpha$  der Stegwinkel, siehe Bild 5-1;

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \text{ mit } f_y \text{ in N/mm}^2;$$

$M_{Ed}$  der Bemessungswert des Biegemoments an der Stelle der Anker- oder Aussteifungskraft;

$M_{c,Rd}$  der Bemessungswert des Biege widerstandes der Spundbohle nach 5.2.2 (2).

(5) Wenn eine Ankerplatte für die Einleitung einer Ankerkraft in die Stege nach Bild 7-5 b) verwendet wird, darf der in Absatz (4) angegebene Nachweis verwendet werden, vorausgesetzt, die Ankerplattenbreite ist größer als die Flanschbreite, um eine zusätzliche Exzentrizität  $e$ , wie in Absatz (4) angegeben, zu vermeiden.

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

## **8 Ausführung**

### **8.1 Allgemeines**

- (1) Die Gründungsarbeiten sind in der Regel in der Weise durchzuführen, wie sie für das Projekt festgelegt wurden.
- (2) Wenn zwischen der Ausführung auf der Baustelle und dem, was für das Projekt festgelegt wurde, Unterschiede auftreten, sollten die Auswirkungen untersucht und, falls notwendig, Änderungen vorgenommen werden.
- (3) Die Anforderungen an die Ausführung sollten EN 1997-1 entsprechen.
- (4) Sonderanforderungen sollten im Einzelfall angegeben werden.

### **8.2 Stahlspundwände**

- (1)P Stahlspundwände müssen nach EN 12063 ausgeführt werden.
- (2) Die Toleranzen für die Positionierung und die Vertikalität von Spundwänden sollten EN 12063, Tabelle 2 entsprechen.
- (3) Um die Nennwerte der Widerstands- und Steifigkeitseigenschaften der Spundwand sicherzustellen, sollten die Einbringtoleranzen mit EN 12063, 8.5 übereinstimmen.

### **8.3 Tragpfähle**

- (1)P Die Ausführung von Tragpfählen muss EN 1997-1, Abschnitt 4 entsprechen.
- (2)P Die Ausführung von Tragpfählen muss ebenfalls in Übereinstimmung mit EN 12699 und EN 14199 stehen.
- (3) Die Toleranzen für die Position und die lotrechte Lage von Tragpfählen sollten so sein, wie sie in EN 12699 und EN 14199 angegeben sind.

### **8.4 Verankerungen**

- (1) Die Ausführung von Verankerungen sollte, soweit anwendbar, in Übereinstimmung mit EN 1997-1 und EN 1537 stehen.

### **8.5 Gurtungen, Steifen und Verbindungen**

- (1)P Für die Ausführung von Tragwerkskomponenten muss EN 1090-2 beachtet werden.

## **Anhang A** (normativ)

### **Dünnwandige Stahlspundwände**

#### **A.1 Allgemeines**

##### **A.1.1 Geltungsbereich**

(1) Dieser Anhang dient der Bestimmung des Widerstandes und der Steifigkeit von Stahlspundwänden mit Berücksichtigung der Besonderheiten von kaltgeformten Stahlspundwänden, alle mit Querschnitten der Klasse 4. Zur Bestimmung der Einwirkungen und Schnittgrößen wird auf Abschnitt 2 verwiesen.

(2) Zur Querschnittsklassifizierung wird in der Regel auf 5.2 verwiesen.

(3) Die Bemessungsmethoden werden in diesem Anhang für kaltgeformte Spundbohlen dargestellt, dürfen aber auch für warmgewalzte Klasse-4-Profile angewendet werden.

(4) Die hier dargestellte Bemessung mit Berechnungen setzt voraus, dass die Querschnitte keine Zwischensteifen haben. Diese Einschränkungen brauchen bei versuchsgestützter Bemessung nicht berücksichtigt zu werden, siehe A.7. Bei Profilen, die aus Elementen mit Zwischensteifen bestehen und rechnerisch bemessen werden sollen, sollte EN 1993-1-3 beachtet werden.

(5) Bei dünnwandigen Stahlspundbohlen führt die Bemessung mit Berechnungen nicht immer zu wirtschaftlichen Lösungen. Es ist daher oft sinnvoll, Versuche zur Bestimmung der Widerstände durchzuführen.

ANMERKUNG Anleitungen für die Versuchsdurchführung befinden sich in Anhang B.

(6) Einschränkungen für die Abmessungen oder den Werkstoff gelten nur für die rechnerische Bemessung.

##### **A.1.2 Form von kaltgeformten Stahlspundbohlen**

(1) Kaltgeformte Stahlspundbohlen sind Produkte, die aus warmgewalzten Blechen nach EN 10249 hergestellt werden. Sie bestehen aus geraden und abgerundeten Wandstücken. Über ihre gesamte Länge haben sie innerhalb der spezifizierten Toleranzen einen konstanten Querschnitt und eine Dicke, die nicht weniger als 2 mm beträgt.

(2) Diese Spundbohlen werden ausschließlich durch Kaltverformung (Walzen oder Abkanten) hergestellt.

(3) Die Querschnittsränder einer Spundbohle dürfen aus Schlössern bestehen.

(4) Einige Beispiele von kaltgeformten Bohlenquerschnitten, die in diesem Anhang behandelt werden, sind in Tabelle A.1 angegeben.

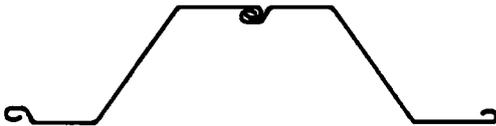
##### **A.1.3 Begriffe**

(1) Es gelten die Begriffe für die Querschnittsabmessungen in EN 1993-1-3, 1.5.3.

(2) Für kaltgeformte Spundbohlen gilt die Achsenvereinbarung in 1.9.

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

**Tabelle A.1 — Beispiele für kaltgeformte Spundbohlen**

	Querschnittsbeispiel
Ω-Profil	
Z-Profil	
Kanaldielenprofil	

## A.2 Grundlagen für Entwurf, Bemessung und Konstruktion

### A.2.1 Grenzzustände der Tragfähigkeit

(1) Soweit nicht anders in diesem Anhang geregelt, gelten die allgemeinen Regelungen in 2.2 und 5.1 auch für kaltgeformte Profile.

### A.2.2 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

(1) Soweit nicht anders in diesem Anhang geregelt, gelten die allgemeinen Regelungen in 2.3, 6.1 und 6.2 auch für kaltgeformte Profile.

(2) Für die Gebrauchstauglichkeitsnachweise ist EN 1993-1-3, Abschnitt 7 zu beachten.

## A.3 Werkstoff- und Querschnitteigenschaften

### A.3.1 Werkstoffeigenschaften

(1) Zu Werkstoffeigenschaften ist für diesen Anhang Abschnitt 3 zu beachten.

(2) Die Regelungen in diesem Anhang gelten für Klasse-4-Stahlspundbohlen nach EN 10248 und EN 10249.

(3) Diese Regelungen dürfen auch auf andere Baustähle mit ähnlichen Festigkeits- und Zähigkeits-eigenschaften angewendet werden, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- der Stahl erfüllt die Anforderungen an die chemische Zusammensetzung, mechanischen Prüfungen und andere Prüfverfahren nach Umfang und Methode wie in EN 10248 und EN 10249 beschrieben;
- es wird ein Mindestwert der Duktilität gefordert, ausgedrückt durch Grenzwerte von
  - $f_u / f_y$ ;
  - die Bruchverformung bezogen auf die Länge  $5,65 \sqrt{A_0}$  (wobei  $A_0$  die Ausgangsquerschnittsfläche ist);
  - die Grenzdehnung  $\epsilon_u$ , wobei sich  $\epsilon_u$  auf die Zugfestigkeit  $f_u$  bezieht;

ANMERKUNG Die Grenzwerte dürfen im Nationalen Anhang angegeben sein. Folgende Werte werden empfohlen:

- $f_u / f_y \geq 1,1$ ;
- die Bruchdehnung  $\geq 15$  %;
- $\epsilon_u \geq 15 \epsilon_y$ ;

wobei sich  $\epsilon_y$  auf die Streckgrenze  $f_y$  bezieht.

- die Stahllieferung erfolgt:
  - entweder nach einer anderen anerkannten Norm für Baustahl, oder
  - mit mechanischen Eigenschaften und einer chemischen Zusammensetzung, die einer der Stahlgüten in Tabelle 3-1 oder Tabelle 3-2 entsprechen.

(4) Der Nennwert der Streckgrenze  $f_{yb}$  des Grundmaterials in Tabelle 3-1 und Tabelle 3-2 sollte als charakteristischer Wert für die Bemessung angesetzt werden. Bei anderen Stählen sollte der charakteristische Wert anhand von Zugversuchen entsprechend EN 10002-1 bestimmt werden.

(5) Es darf angenommen werden, dass die Stahleigenschaften unter Druck dieselben sind wie unter Zug.

(6) Für die in diesem Anhang erfassten Stähle, sollten die weiteren Werkstoffeigenschaften für die Bemessung wie folgt angenommen werden:

- Elastizitätsmodul:  $E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$ ;
- Schubmodul:  $G = E / [2(1 + \nu)] \text{ N/mm}^2$ ;
- Querkontraktionszahl:  $\nu = 0,3$ ;
- Temperaturexpansionskoeffizient:  $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$ ;
- Dichte:  $\rho = 7\,850 \text{ kg/m}^3$ .

(7) Die Verfestigung infolge Kaltverformung darf anhand von Versuchen nach A.7 berücksichtigt werden.

(8) Wenn in diesem Anhang oder in der EN 1993-1-3 die Streckgrenze mit dem Symbol  $f_y$  bezeichnet wird, ist entweder die Streckgrenze des Grundwerkstoffes  $f_{yb}$  nach Tabelle 3-2 oder die Streckgrenze nach Tabelle 3-1 zu verwenden.

ANMERKUNG Hier besteht ein Unterschied zu den in EN 1993-1-3 verwendeten Vereinbarungen.

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

(9) Die Regelungen für den rechnerischen Nachweis in diesem Anhang sind nur anwendbar, wenn die Nennwerte der Erzeugungsdicke in den folgenden Grenzen liegen:

$$2,0 \text{ mm} \leq t \leq 15,0 \text{ mm.}$$

(10) Für dickere oder dünnere Klasse-4-Querschnitte von Spundwänden sollte die Tragfähigkeit nach A.7 Versuchsgestützte Bemessung bestimmt werden.

### A.3.2 Querschnitseigenschaften

(1) Querschnitseigenschaften sollten, unter gebührender Berücksichtigung der Empfindlichkeit des Gesamtquerschnittes gegenüber Näherungsberechnungen, siehe EN 1993-1-3, 5.1, und deren Einfluss auf die vorhergesagte Festigkeit von Bauteilen, berechnet werden.

(2) Die Effekte des lokalen Beulens sollten durch die Verwendung von effektiven Querschnittswerten nach A.4 berücksichtigt werden

(3) Die Eigenschaften des Bruttoquerschnitts sollten mit den angegebenen Nennabmessungen bestimmt werden. Bei der Berechnung der Bruttoquerschnitseigenschaften brauchen kleine Löcher nicht angerechnet zu werden, große Öffnungen sollten jedoch berücksichtigt werden.

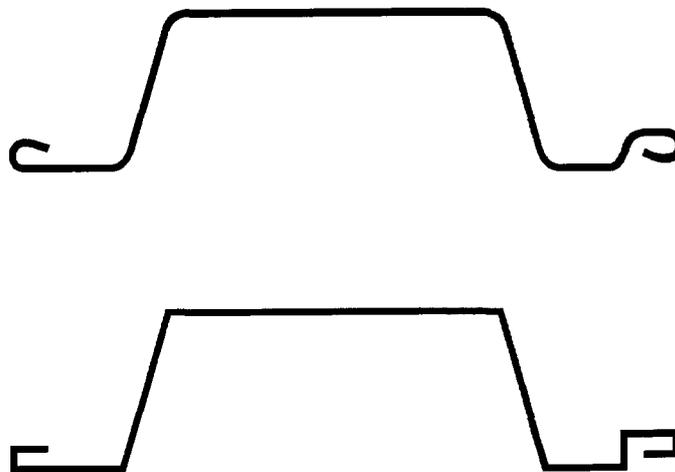
(4) Die Nettofläche eines Bohlenquerschnittes oder eines Teilquerschnittes sollte aus dem Bruttoquerschnitt durch Abzug aller Löcher und Öffnungen berechnet werden.

(5) Der Einfluss von ausgerundeten Ecken auf die Querschnitseigenschaften sollte nach EN 1993-1-3, 5.1(4) berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Ein Beispiel für einen idealisierten Spundbohlenquerschnitt mit ausgerundeten Ecken ist in Bild A.1 angegeben.

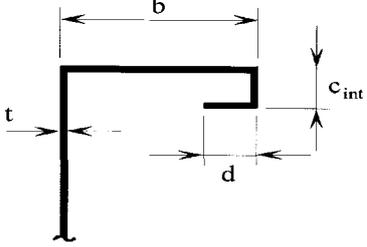
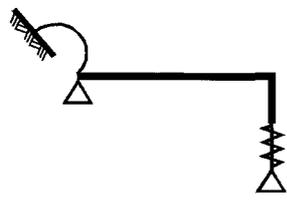
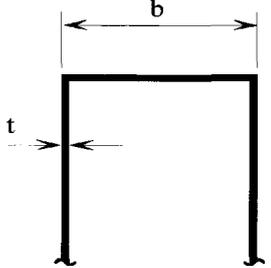
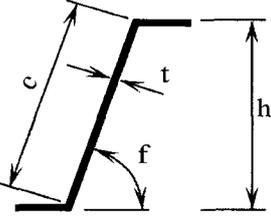
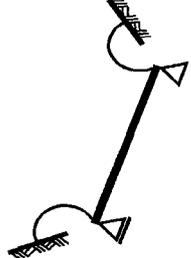
(6) Für den rechnerischen Nachweis sollte das Breiten-zu-Dicken-Verhältnis die Werte der Tabelle A.2 nicht überschreiten.

(7) Die Verwendung von Breiten-zu-Dicken-Verhältnissen, die diese Werte überschreiten, ist nicht ausgeschlossen. Dann sollten jedoch die Tragfähigkeit der Bohle und ihr Gebrauchstauglichkeitsverhalten durch Versuche nach A.7 nachgewiesen werden.



**Bild A.1 — Beispiel eines idealisierten Querschnitts**

Tabelle A.2 — Maximale Breiten-zu-Dicken-Verhältnisse; Modellierung des statischen Verhaltens

Teil des Querschnitts	Modellierung des statischen Verhaltens
	<div style="text-align: center;"> <math>b/t \leq 90</math> </div> 
	<div style="text-align: center;"> <math>b/t \leq 200</math> </div> 
	<div style="text-align: center;"> <math>45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ</math>  <math>c/t \leq 200</math> </div> 

#### A.4 Lokales Beulen

(1) Wenn nicht anders in diesem Anhang geregelt, sollten die Effekte des lokalen Beulens auf den Widerstand und die Steifigkeit von Klasse-4-Stahlspundbohlenquerschnitten nach EN 1993-1-3, 5.5 berücksichtigt werden.

(2) Unausgesteifte flache Elemente von Spundbohlenquerschnitten werden in EN 1993 1-3, 5.5.2 behandelt.

(3) Flache Elemente mit Schlössern, die als Eckaussteifung wirken, sollten nach EN 1993-1-3, 5.5.3.2 berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Bild A.2 zeigt ein Beispiel für die Idealisierung der Schlossgeometrie, die als Eckaussteifung wirkt.

DIN EN 1993-5:2010-12  
EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)

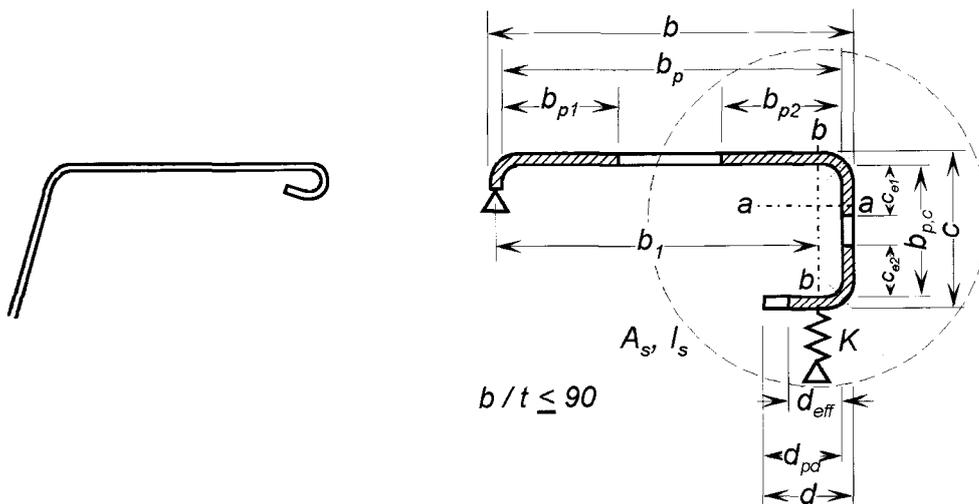


Bild A.2 — Schloss, das als Eckaussteifung betrachtet wird

- (4) Fläche druckbeanspruchte Elemente mit Schlössern, die als Eckaussteifung wirken, sollten nach dem Grundsatz in EN 1993-1-3, 5.5.3.1 (1) bemessen werden.
- (5) Die Federsteifigkeit des Schlosses, das als Eckaussteifung wirkt, sollte nach EN 1993-1-3, Gleichung (5.10) bestimmt werden.
- (6) EN 1993-1-3, Gleichung (5.9) darf für Spundbohlen, nämlich für Z-Bohlen nach Bild A.3 und Bild A.4, angewendet werden, indem für die Plattensteifigkeit  $(E t^3) / 12(1 - \nu^2)$  angesetzt wird. Die Steifigkeit der Drehfeder, die den Steg abbildet, siehe Bild A.4, darf bestimmt werden mit:

$$EI_w \theta = \frac{1}{2} \times 1 \times 1 \times s_w \quad (\text{A.1})$$

$$C_\theta = \frac{1}{\theta} = \frac{2EI_w}{c} \quad (\text{A.2})$$

$$I_w = \frac{t^3}{12(1 - \nu^2)} \quad (\text{A.3})$$

Das tatsächliche Biegemoment, das in der Drehfeder infolge der Einheitslast wirkt, ist  $u \times b_p$  und die dazugehörige Verdrehung ist:

$$\theta = \frac{u b_p}{C_\theta} = \frac{u b_p c}{2EI_w} \quad (\text{A.4})$$

Somit lautet EN 1993-1-3, Gleichung (5.10):

$$\delta = \frac{2u b_p^2 (1 - \nu^2)}{E t^3} (3c + 2b_p) \quad (\text{A.5})$$

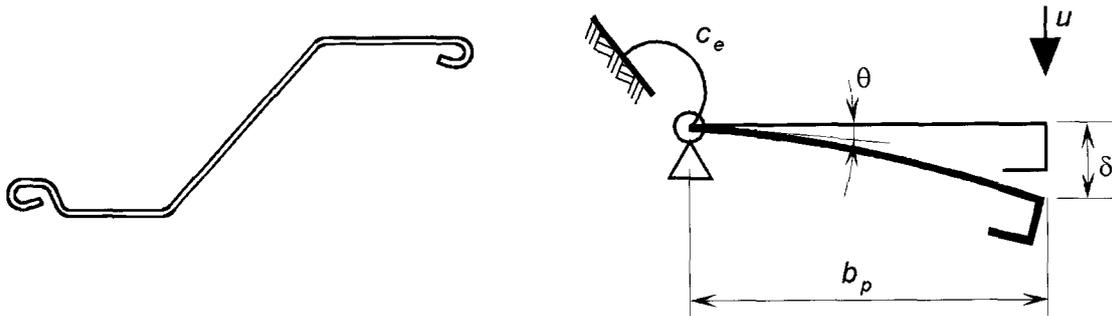


Bild A.3 — Bestimmung der Federsteifigkeit des Flansches

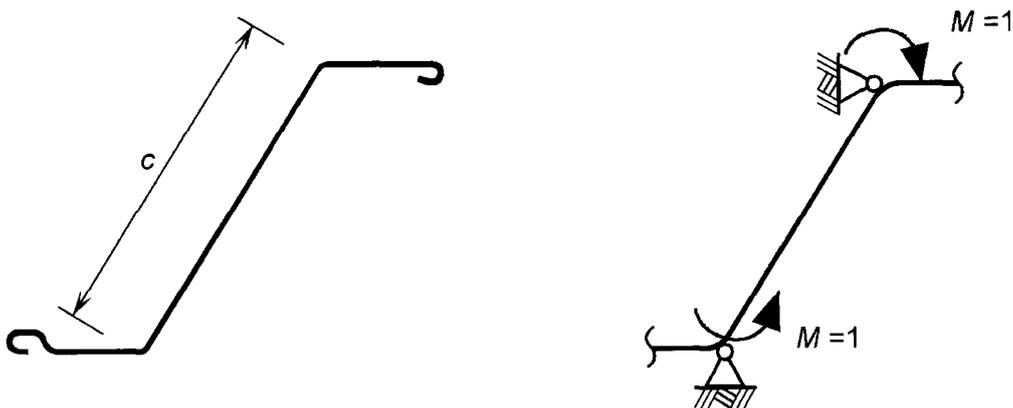


Bild A.4 — Bestimmung der Federsteifigkeit des Steges

## A.5 Querschnittswiderstand

### A.5.1 Allgemeines

(1)P Die Bemessungswerte der Schnittgrößen in jedem Querschnitt dürfen den Bemessungswert des zugehörigen Widerstandes nicht überschreiten.

(2) Der Bemessungswert des Widerstandes des Querschnitts sollte entweder mit den in diesem Anhang beschriebenen Berechnungsmethoden, oder durch versuchsgestützte Bemessung nach A.7 bestimmt werden.

(3) Die Regelungen in A.5 sollten nur bei einachsiger Biegung mit  $M_2 = 0$  verwendet werden.

(4) Es darf angenommen werden, dass eine der Hauptachsen der Spundbohle parallel zur Systemachse der Stützwand verläuft.

(5) Beim rechnerischen Nachweis sollte der Querschnittswiderstand nachgewiesen werden für:

- das Biegemoment unter Berücksichtigung der lokalen Querbiegung;
- lokale quer einwirkende Kräfte;
- die Kombination von Biegemoment und Querkraft;

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

- die Kombination von Biegemoment und Normalkraft;
- die Kombination von Biegemoment und lokaler quer einwirkender Kraft.

(6) Für alle diese Querschnittswiderstände darf die versuchsgestützte Bemessung anstatt des rechnerischen Nachweises angewendet werden.

ANMERKUNG Die versuchsgestützte Bemessung ist besonders vorteilhaft bei Querschnitten mit relativ hohem  $b_p/t$ -Verhältnis, zum Beispiel in Verbindung mit unelastischem Verhalten oder Stegkrüppeln.

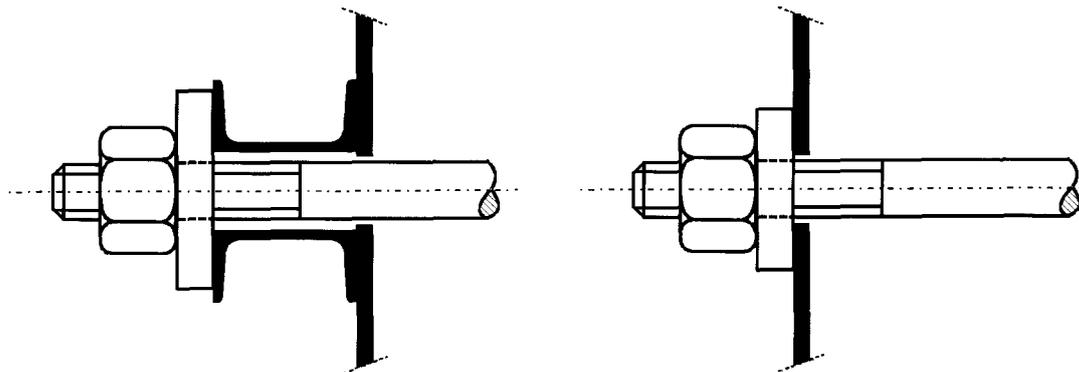
(7) Beim rechnerischen Nachweis sollte lokales Beulen anhand von effektiven Querschnittswerten nach A.4 berücksichtigt werden.

(8) Die in diesem Abschnitt gegebenen Regelungen gehen nicht auf globales Stabilitätsversagen von Spundbohlen ein. Für Spundbohlen, bei denen Stabilitätsversagen infolge von Druckkräften auftreten kann, wird in der Regel auf EN 1993-1-3, 6.2 verwiesen.

(9) Die in 5.2.3 (1) angegebenen Kriterien sollten eingehalten werden. Größere Normalkräfte, die zu Gesamtknicken führen können, sollten bei Klasse-4-Querschnitten vermieden werden.

(10) Gurtungen sollten vor oder hinter der Spundwand verwendet werden, um Kräfte von Ankern oder Steifen (siehe Bild A.5a)) mit einer Umverteilung der Kräfte einzuleiten. Wenn Ankerplatten verwendet werden, um die Last aus einem Zuganker direkt in die Spundbohle nach Bild A.5b) einzuleiten, sollten Versuche nach 2.6 durchgeführt werden, wenn die Dicke der Spundwandprofile  $\leq 6$  mm ist.

(11) Bei iterativen Berechnungen sollte eine genügende Anzahl von Iterationen durchgeführt werden, um die erforderliche Genauigkeit zu erreichen.



a) mit Gurtung

b) mit Ankerplatte

**Bild A.5 — Einleitung von Ankerkräften**

### A.5.2 Biegemoment

(1) Wenn nicht anders in diesem Anhang geregelt, sollte der Momentenwiderstand von Klasse-4-Querschnitten nach EN 1993-1-3, 6.1.4 bestimmt werden.

(2) Die Einschränkung der mitwirkenden Breiten zur Berücksichtigung der Schubverzerrung darf bei Stahlspundwandbohlen vernachlässigt werden.

(3) Bei Stützwänden aus Klasse-4-Querschnitten sollte keine plastische Momentenumlagerung angesetzt werden.

(4) Wenn der Momentenwiderstand des Profils bei positiven und negativen Biegemomenten unterschiedlich ist, sollte dies bei der Bemessung berücksichtigt werden.

### A.5.3 Querkräfte

- (1) Wenn nicht anders in diesem Anhang geregelt, sollte der Querkraftwiderstand des Steges nach EN 1993-1-3, 6.1.5 bestimmt werden.
- (2) Die Schubbeulfestigkeit  $f_{bv}$  sollte für Stege ohne Aussteifung am Auflager mit EN 1993-1-3, Tabelle 6-1 bestimmt werden.

### A.5.4 Lokale Einleitung querverrichteter Kräfte

#### A.5.4.1 Allgemeines

- (1) Wenn sich die Gurtung auf der Aushubseite, siehe Bild 7-6, befindet, sollte der Nachweis nach A.5.4.2 durchgeführt werden.
- (2) Wenn sich die Gurtung auf der Landseite, siehe Bild 7-4, befindet, sollte der Nachweis nach A.5.4.3 durchgeführt werden.

#### A.5.4.2 Stege mit querverrichteten Druckkräften

- (1) Um Stauchen, Krüppeln oder Beulen des Steges infolge der Auflagerreaktionen aus der Gurtung zu vermeiden, sollte für die querverrichtete Kraft  $F_{Ed}$  gelten:

$$F_{Ed} \leq R_{w,Rd}$$

Dabei ist

$R_{w,Rd}$  der Widerstand des Steges gegen lokale querverrichtete Kräfte.

- (2) Wenn nicht anders in diesem Anhang geregelt, sollte für einen unausgesteiften Steg der Widerstand  $R_{w,Rd}$  gegen lokal querverrichtete Kräfte aus EN 1993-1-3, 6.1.7.3 entnommen werden.

ANMERKUNG (2) gilt auch für Z-Bohlen, indem eine Doppelbohle aus zwei Z-Bohlen betrachtet wird.

- (3) Für Gurtungen, die als Auflager wirken, gilt:

- der Wert der effektiven Auflagerlänge  $l_a$  in EN 1993-1-3, Gleichung (6.18) sollte nach EN 1993-1-3, 6.1.7.3 (4) bestimmt werden;
- der Wert des Koeffizienten  $\alpha$  in EN 1993-1-3, Gleichung (6.18) sollte wie folgt angenommen werden:
  - für Kategorie 1:  $\alpha = 0,075$ ;
  - für Kategorie 2:  $\alpha = 0,15$ .

ANMERKUNG Die Kategorie 1 gilt, wenn der Abstand zwischen Gurtung und dem Bohlenende  $\leq 1,5 h_w$  ist, wobei  $h_w$  die Höhe des Profils ist. Sonst gilt Kategorie 2, siehe EN 1993-1-3, Bild 6-9.

#### A.5.4.3 Stege mit querverrichteten Zugkräften

- (1) Für Stege mit querverrichteten Zugkräften sollte der Nachweis nach 7.4.3 (3) geführt werden.

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

### A.5.5 Kombination aus Querkraft und Biegemoment

(1) Für die Kombinationen aus Querkraft und Biegemoment sollte der Nachweis nach EN 1993-1-3, Gleichung (6.27) durchgeführt werden.

### A.5.6 Kombination aus Biegemoment und lokalen querverrichteten Kräften

(1) Für die Kombination von Biegemoment und Lasteinleitung für lokale querverrichtete Kräfte sollte der Nachweis nach EN 1993-1-3, 6.1.11 durchgeführt werden.

### A.5.7 Kombination aus Biegemoment und Normalkraft

(1) Die Kombination von Biegemoment und Zugkraft sollte ohne Berücksichtigung der Biegung um die z-z-Achse nach EN 1993-1-3, 6.1.8 nachgewiesen werden.

(2) Der Nachweis für die Kombination von Biegemoment und Druckkraft sollte ohne Berücksichtigung der Biegung um die z-z-Achse nach EN 1993-1-3, 6.1.9 durchgeführt werden.

### A.5.8 Lokale Querbiegung

(1) Bei Wasserdruckbelastung, die 1 m Wasserspiegelunterschied überschreitet, sind in der Regel die Effekte des Wasserdrucks auf die Plattenquerbiegung bei Ermittlung des globalen Biege widerstand zu berücksichtigen.

(2) Vereinfachend kann dieser Nachweis mit dem folgenden Verfahren durchgeführt werden:

- die Querschnittsnachweise brauchen nur an den Stellen mit dem maximalen Moment durchgeführt zu werden, bei denen die Wasserdruckbelastung mehr als 1 m beträgt;
- die Effekte der Wasserdruckbelastung sollten durch eine reduzierte Plattendicke  $t_{red} = \rho_P t$  mit  $\rho_P$  nach Tabelle A.3 berücksichtigt werden;
- bei der Bestimmung von  $\rho_P$  nach Tabelle A-3 sollte die wirkende Wasserdruckbelastung an den Stellen des maximalen Momentes berücksichtigt werden.

**Tabelle A.3 — Abminderungsfaktor  $\rho_P$  für Plattendicken bei Wasserdruckbelastung**

w	$(b/t_{min}) \varepsilon = 40,0$	$(b/t_{min}) \varepsilon = 60,0$	$(b/t_{min}) \varepsilon = 80,0$	$(b/t_{min}) \varepsilon = 100,0$
1,0	0,99	0,98	0,96	0,94
2,5	0,98	0,94	0,88	0,78
5,0	0,95	0,86	0,67	0,00
7,5	0,92	0,75	0,00	0,00
10,0	0,88	0,58	0,00	0,00

**Erläuterung:**

$b$  Flanschbreite, jedoch sollte  $b$  nicht kleiner angesetzt werden als  $c/\sqrt{2}$ , wobei  $c$  die Steglänge ist;

$t_{min}$  kleinster Wert der Dicken von Flansch oder Steg;

$w$  Höhe des Wasserdruckunterschieds in m;

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}, \text{ mit } f_y \text{ in N/mm}^2$$

**ANMERKUNG** Diese Werte gelten für Z-Bohlen und sind konservativ für  $\Omega$ - und U-Bohlen anwendbar. Eine Erhöhung von  $\rho_P$  ist möglich (z. B. wenn die Schlösser verschweißt sind), jedoch sind dann zusätzliche Untersuchungen notwendig.

## A.6 Rechnerischer Nachweis

- (1) Das folgende Verfahren darf für die Bemessung von Stützwänden aus Spundbohlen mit Klasse-4-Querschnitten angewendet werden.
- (2) Die Schnittgrößen in der Bohle im Grenzzustand der Tragfähigkeit dürfen unter Verwendung eines elastischen Balkenmodells und eines geeigneten Modells für den Boden nach EN 1997-1 bestimmt werden.
- (3) Falls erforderlich, sollten Schätzwerte als Eingangsdaten für das Balkenmodell gewählt werden.
- (4) Bei Druckkräften sollte nachgewiesen werden, ob Knicken vernachlässigt werden kann.
- (5) Um einen rechnerischen Nachweis möglich zu machen, sollte vorab nachgewiesen werden, dass die dafür notwendigen Kriterien nach diesem Anhang von der geplanten Stahlspundbohle erfüllt werden.
- (6) Der gewählte Bohlenquerschnitt sollte unter Verwendung von Querschnittswiderständen nach Herstellerangaben nach A.5 nachgewiesen werden, falls erforderlich mit Berücksichtigung der Effekte aus Korrosion.

ANMERKUNG Die Querschnittswiderstände, die vom Hersteller unter Berücksichtigung der Stahlgüte und einer reduzierten Dicke infolge Korrosion angegeben werden sollten, sind:  $M_{c,RK}$ ,  $N_{RK}$ ,  $V_{b,RK}$ ,  $R_{w,RK}$ .

- (7) Falls erforderlich, sollte die effektive Steifigkeit des Querschnitts im Grenzzustand der Tragfähigkeit mit dem Balkenmodell iterativ bestimmt werden.

ANMERKUNG Die Steifigkeitsdaten des Querschnitts im Grenzzustand der Tragfähigkeit dürfen durch den Hersteller in Querschnittswerttabellen bereitgestellt werden.

- (8) Wenn Gebrauchstauglichkeitsnachweise gefordert sind, darf ein elastisches Balkenmodell kombiniert mit einem passenden Bodenmodell in Übereinstimmung mit EN 1997-1 verwendet werden.
- (9) Zur Bestimmung der Querschnittssteifigkeitsdaten im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit wird auf EN 1993-1-3, 7.1 verwiesen

## A.7 Versuchsgestützte Bemessung

### A.7.1 Grundlagen

- (1) Das folgende Verfahren sollte verwendet werden, um die Grundsätze für die versuchsgestützte Bemessung nach EN 1990, Abschnitt 5 auf die speziellen Anforderungen von kaltgeformten Stahlspundbohlen anzuwenden.
- (2) Obwohl die nachfolgenden Regelungen für kaltgeformte Profile entwickelt wurden, dürfen sie auch für warmgewalzte Profile angewendet werden.
- (3) Versuche dürfen unter den nachfolgenden Umständen durchgeführt werden:
  - a) wenn die Eigenschaften des Stahls unbekannt sind;
  - b) falls die tatsächlichen Eigenschaften des kaltgeformten Profils berücksichtigt werden sollen;
  - c) wenn ausreichende analytische Verfahren zur rechnerischen Bemessung eines Spundbohlenprofils nicht zur Verfügung stehen;
  - d) wenn realistische Daten für die Bemessung nicht anders beschafft werden können;
  - e) wenn das Verhalten einer bestehenden Konstruktion überprüft werden muss;

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

- f) wenn eine Serie von ähnlichen Konstruktionen oder Komponenten auf der Grundlage eines Prototyps gebaut werden soll;
  - g) wenn die Übereinstimmungsbestätigung für die Herstellung gefordert ist;
  - h) zur Bestätigung der Gültigkeit und Eignung eines Berechnungsverfahrens;
  - i) zur Erstellung von Tabellen für die Widerstände auf der Grundlage von Versuchen oder der Kombination von Versuchen und Berechnungen;
  - j) wenn Erfahrungsbeiwerte berücksichtigt werden sollen, die in den Berechnungsmodellen nicht vorgesehen sind, aber das Verhalten der Konstruktion verändern.
- (4) Versuche als Grundlage für Tabellen für die Tragfähigkeit sollten nach A.7.3 ausgeführt werden.

ANMERKUNG Informationen zu Verfahren mit dünnwandigen Stahlspondwänden sind in Anhang B zu finden.

- (5) Zugversuche für Stahl sollten nach EN 10002-1 durchgeführt werden. Versuche an anderen Stahleigenschaften sollten in Übereinstimmung mit den entsprechenden Europäischen Normen durchgeführt werden.

### **A.7.2 Bedingungen**

- (1) Falls nicht anders in diesem Anhang geregelt, sollten die in EN 1993-1-3, A.3.1 angegebenen Regelungen angewendet werden.
- (2) Bis zum Erreichen der Gebrauchslast darf beim Versuch entlastet und wiederbelastet werden. Zu diesem Zweck kann die Gebrauchslast mit 30 % der Grenztragfähigkeit abgeschätzt werden. Oberhalb der Gebrauchslast sollte die Last in jedem Schritt konstant gehalten werden, bis die zeitabhängige Verformung infolge plastischen Verhaltens auf vernachlässigbare Werte abgeklungen ist.

### **A.7.3 Querschnittswerte auf der Grundlage von Versuchen**

- (1) Der Querschnittswiderstand und die effektive Steifigkeit einer kaltgeformten Stahlspondbohle dürfen nach EN 1993-1-3, A.4.2 bestimmt werden.

## Anhang B (informativ)

### Versuche mit dünnwandigen Spundbohlen

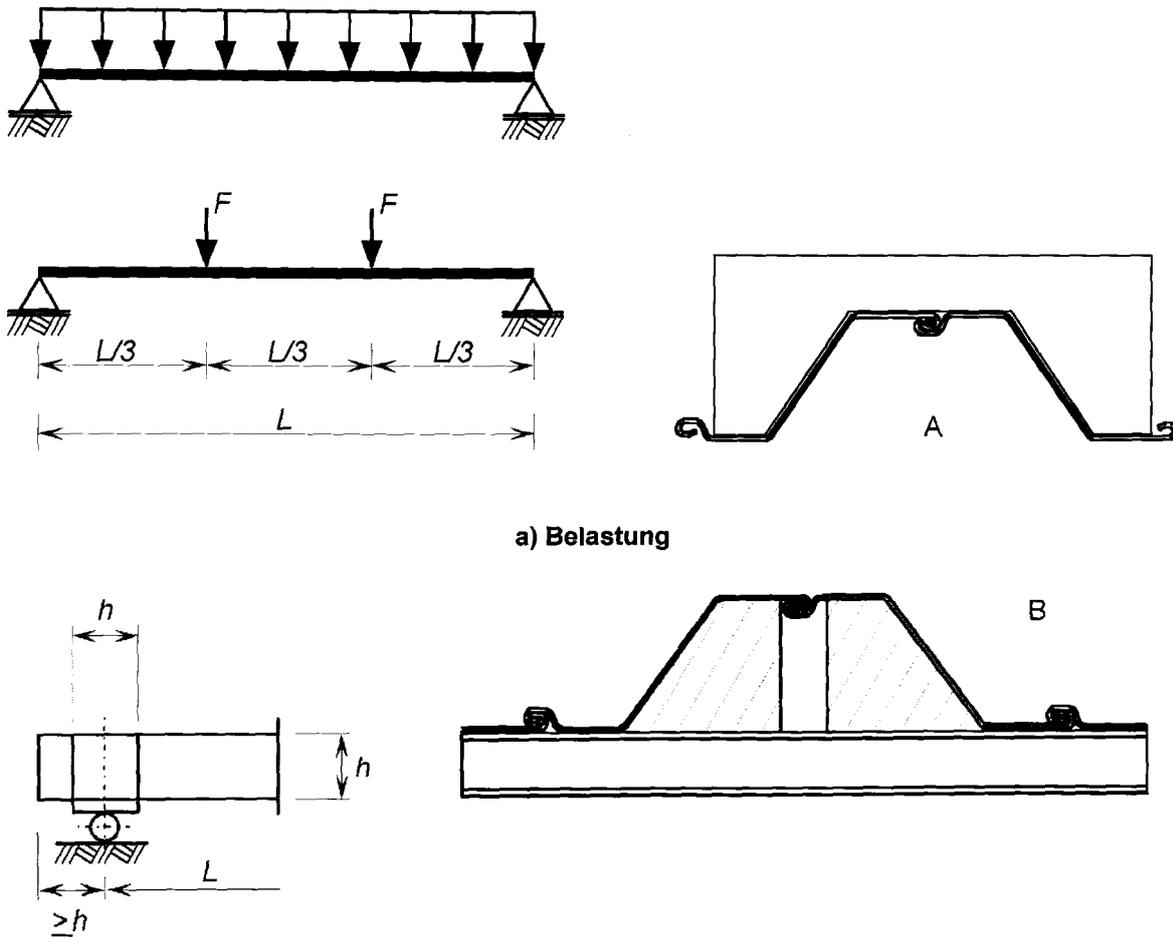
#### B.1 Allgemeines

- (1) Um eine gleichmäßig verteilte Belastung zu erreichen, darf die Belastung über Luftkissen oder Balkensysteme aufgebracht werden. Um Querschnittsverformungen an den Lasteinleitungsstellen oder an den Auflagern zu vermeiden, dürfen querlaufende Zugbänder und/oder Aussteifungen (z. B. mit Holzbalken oder Stahlplatten) verwendet werden.
- (2) Für Versuche an Z-Bohlen sollte mindestens eine Doppelbohle verwendet werden.
- (3) Bei  $\Omega$ -Bohlen sollte mindestens eine Bohle verwendet werden.
- (4) Die Genauigkeit der Messungen sollte sich nach der Größenordnung der Messwerte richten und im Bereich von  $\pm 1$  % der zu bestimmenden Werte liegen.
- (5) Die Querschnittsvermessung eines Versuchskörpers sollte die folgenden geometrischen Eigenschaften erfassen:
  - die Gesamtabmessungen (Breite, Höhe und Länge) auf  $\pm 1,0$  mm;
  - die Breite der flachen Querschnittsteile auf  $\pm 1,0$  mm;
  - Biegeradien auf  $\pm 1,0$  mm;
  - die Neigung zwischen zwei Blechen (Winkel zwischen zwei Oberflächen) auf  $\pm 2^\circ$ ;
  - die Werkstoffdicke auf  $\pm 0,1$  mm.
- (6) Es sollte sichergestellt sein, dass die Wirkungsrichtung der Belastung während des Versuchs gleich bleibt.

#### B.2 Versuche mit Einfeldträgern

- (1) Der in Bild B.1 gezeigte Versuchsaufbau sollte verwendet werden, um den Momentenwiderstand (wenn die Querkraft vernachlässigbar ist) und die effektive Biegesteifigkeit zu ermitteln.
- (2) In diesem Versuch sollten mindestens zwei Lasteinleitungspunkte, wie in Bild B.1 dargestellt, vorgesehen werden.
- (3) Die Spannweite sollte so gewählt werden, dass die Versuchsergebnisse den Momentenwiderstand der Spundbohle wiedergeben. Die Durchbiegungen sollten in der Feldmitte auf beiden Seiten des Profils (ohne Berücksichtigung der Auflagerverformung) gemessen werden.
- (4) Die auf den Prüfkörper aufgebrachte maximale Last zum Zeitpunkt des Versagens oder kurz davor sollte für die Ermittlung des Biegemomentenwiderstandes aufgezeichnet werden. Die Biegesteifigkeit darf aus der Lastverformungskurve ermittelt werden.

DIN EN 1993-5:2010-12  
EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)



a) Belastung

b) Vermeidung von Querschnittsverformungen

**Legende**

- A am Lasteinleitungspunkt  
B am Auflager

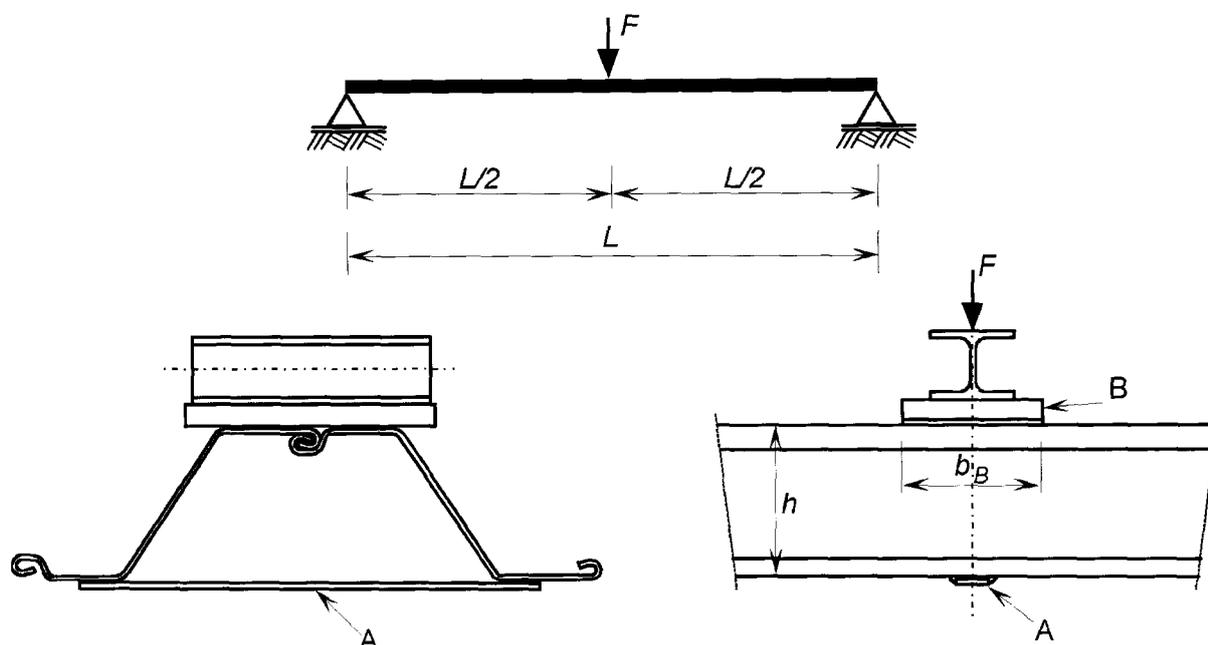
ANMERKUNG Bei unsymmetrischen Querschnitten kann es notwendig sein, auch mit umgekehrter Lastrichtung zu prüfen.

**Bild B.1 — Versuchsaufbau zur Bestimmung des Momentenwiderstandes****B.3 Versuche am Zwischenlager**

- (1) Der in Bild B.2 gezeigte Versuchsaufbau darf verwendet werden, um an Zwischenauflagern von Spundbohlen den Querschnittswiderstand für die Kombination von Biegemoment und Querkraft als auch die Interaktion zwischen Moment und Lagerreaktion für eine vorgegebene Lagerbreite (Gurtung) zu ermitteln.
- (2) Um den abfallenden (instabilen) Ast der Lastverformungskurve ausreichend zu erfassen, sollte der Versuch nach Erreichen der Maximallast über eine geeignete Dauer fortgesetzt werden.
- (3) Die Spannweite  $L$  im Versuch sollte so gewählt werden, dass sie dem Bohlenabschnitt zwischen den Momentennullpunkten auf beidseits des Auflagers entspricht.
- (4) Die Lasteinleitungsbreite  $b_B$  sollte der Breite der verwendeten Gurtung entsprechen.

(5) Die Verformungen des Prüfkörpers sollten auf beiden Seiten gemessen werden (ohne Berücksichtigung der Auflagerverformung).

(6) Die auf den Prüfkörper aufgebrachte maximale Last zum Zeitpunkt des Versagens oder kurz davor sollte als Grenzlaster aufgezeichnet werden. Diese liefert das Stützmoment und die Lagerkraft für die verwendete Lagerbreite. Um Informationen zur Interaktion zwischen Moment und Lagerkraft zu erhalten, sollten Versuche mit verschiedenen Spannweiten durchgeführt werden.



#### Legende

- A Zugband  
B Platte

**Bild B.2 — Lasteinleitung für die Bestimmung des Momenten- und Querkraftwiderstandes an einer Zwischenstütze (Gurtung)**

### B.4 Versuche mit Zweifeldträgern

(1) Alternativ zu B.3 dürfen auch Versuche an Zweifeldträgern durchgeführt werden, um den Grenzwiderstand von kaltgeformten Spundbohlen zu bestimmen. Die Belastung sollte vorzugsweise gleichmäßig verteilt (z. B. durch Luftkissen) aufgebracht werden.

(2) Diese Belastung darf durch eine beliebige Anzahl von Punktlasten ersetzt werden, wenn diese Lastverteilung die Gleichlast ausreichend wiedergibt (siehe Bild B.3).

DIN EN 1993-5:2010-12  
EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)

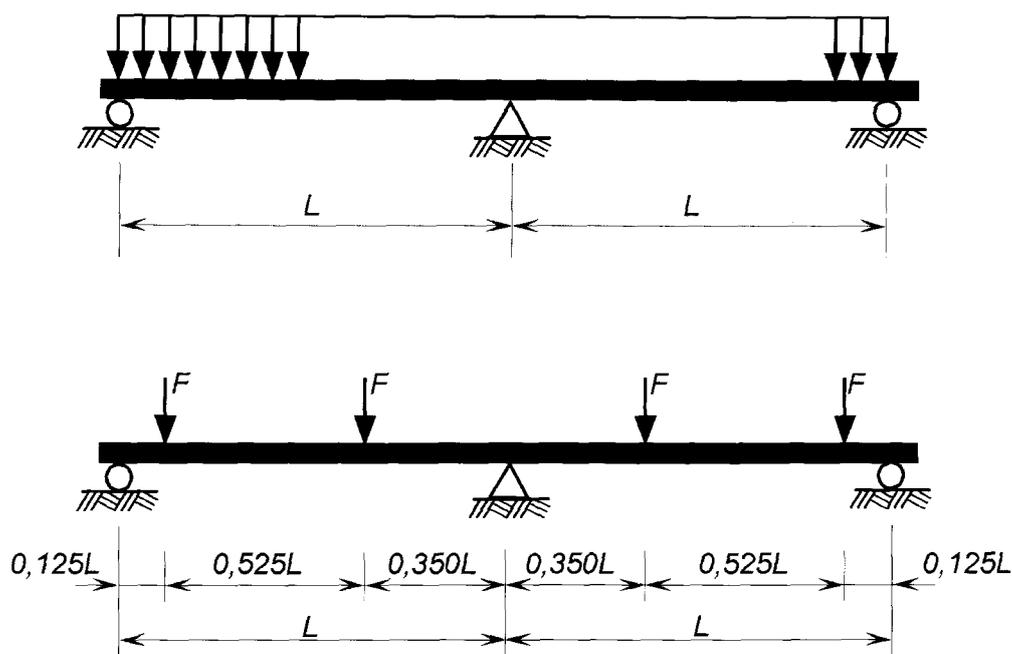


Bild B.3 — Versuchsaufbau bei Zweifeldträgern

## B.5 Auswertung der Versuchsergebnisse

### B.5.1 Allgemeines

(1) Als Versagen eines Versuchskörpers gilt der Punkt, bei dem die aufgebrauchte Versuchslast ihren Maximalwert erreicht hat oder bei dem die Verformungen die festgelegten Grenzwerte überschreiten, siehe EN 1993-1-3, A.6.1.

### B.5.2 Anpassung von Versuchsergebnissen

(1) Die Anpassung der Versuchsergebnisse sollte nach EN 1993-1-3, A.6.2 erfolgen.

### B.5.3 Charakteristische Werte

(1) Die charakteristischen Werte  $R_k$  dürfen aus den Versuchsergebnissen nach EN 1993-1-3, A.6.3 bestimmt werden.

### B.5.4 Bemessungswerte

(1) Der Bemessungswert  $R_d$  des Widerstandes sollte aus dem dazugehörigen charakteristischen Wert  $R_k$  abgeleitet werden, unter Verwendung von:

$$R_d = R_k / \gamma_M / \eta_{sys} \quad (\text{B.1})$$

Dabei ist

$\gamma_M$  der Teilsicherheitsbeiwert des Widerstands nach 5.1.1 (4);

$\eta_{sys}$  der Faktor zur Erfassung des Unterschieds zwischen Test- und Einsatzbedingungen.

ANMERKUNG 1 Der Wert  $\eta_{sys}$  darf im Nationalen Anhang angegeben werden. Für die genau definierten standardisierten Versuchsverfahren in B.2, B.3 und B.4 wird ein Wert von  $\eta_{sys} = 1,0$  empfohlen.

ANMERKUNG 2 Der Wert für  $\gamma_M$  kann durch statistische Auswertung einer Versuchsreihe mit mindestens vier Versuchen bestimmt werden. Hierzu sollte EN 1990, Anhang D beachtet werden.

## **Anhang C** **(informativ)**

### **Anleitung zur Bemessung von Stahlspundwänden**

#### **C.1 Bemessung von Spundbohlenquerschnitten für den Grenzzustand der Tragfähigkeit**

##### **C.1.1 Allgemeines**

- (1) Die Bemessungswerte der Schnittgrößen sollten den Bemessungswert des Querschnittswiderstandes nicht überschreiten.
- (2) Die Bemessungswerte sollten nach 2.5 unter Berücksichtigung eines sorgfältig gewählten Bemessungsmodells für das Tragwerk bestimmt werden.
- (3) Falls erforderlich, sollte nach Abschnitt 4 die Verminderung der Querschnittswiderstände infolge Dickenverlust durch Korrosion berücksichtigt werden.
- (4) Bei U-Bohlen sollte eine mögliche verminderte Schubkraftübertragung im Schloss nach 5.2.2 (2) berücksichtigt werden.
- (5) Wenn die Spundbohle Querbiegung infolge unterschiedlichen Wasserdrucks erfährt, sollten die Effekte des Wasserdrucks nach 5.2.4 berücksichtigt werden.
- (6) Der Widerstand des Querschnitts gegenüber der Einleitung einer Ankerkraft in den Flansch der Spundbohle über eine Ankerplatte sowie einer Anker- oder Steifenkraft in den Steg einer Bohle über die Gurtung sollte nach 7.4.3 bestimmt werden.
- (7) Wenn die Querschnittseigenschaften, die für die Bestimmung der Schnittgrößen gewählt wurden, nicht den Kriterien in den Absätzen (1) bis (4) genügen, sollte ein anderes Profil (oder eine andere Stahlgüte) gewählt und die Berechnung wiederholt werden.
- (8) Plastische Tragfähigkeiten dürfen für Klasse-1- und Klasse-2-Querschnitte angesetzt werden.
- (9) Wenn keine Momentenumlagerung und daher auch keine plastische Rotation für Klasse-1-oder Klasse-2-Querschnitte angesetzt wird, darf die Bestimmung der Schnittgrößen für die Querschnittsnachweise mit einem elastischen Balkenmodell durchgeführt werden.
- (10) Wenn die Momentenumlagerung und daher auch die plastische Rotation bei der Bemessung ausgenutzt wird, sollten die folgenden Bemessungsannahmen erfüllt sein:
  - es sollten nur Klasse-1- und Klasse-2-Querschnitte in Kombination mit einem Rotationsnachweis, wie in dem folgenden Abschnitt angegeben, verwendet werden;
  - der Querschnittsnachweis sollte unter Verwendung eines Balkenmodells durchgeführt werden, die plastische Rotation ermöglicht (z. B. anhand des Fließzonenverfahrens oder Fließgelenkverfahrens).

**C.1.2 Nachweis von Klasse-1- und Klasse-2-Querschnitten**

(1) Die Klassifizierung von Querschnitten darf nach den  $b/t_f$ -Verhältnissen nach einem der nachfolgenden Verfahren durchgeführt werden:

- Klassifizierung nach Tabelle 5-1:  $b/t_f$ -Verhältnis für den vollen plastischen Momentenwiderstand.
- Klassifizierung nach Tabelle C.1, in der das  $b/t_f$ -Verhältnis für 85 % bis 100 % des vollen plastischen Momentenwiderstandes in 5 %-Schritten angegeben ist.

(2) Wenn die Klassifizierung für einen Klasse-1- oder Klasse-2-Querschnitt mit einem reduziertem Niveau des vollen plastischen Momentenwiderstandes abhängig vom Abminderungsfaktor  $\rho_C = 0,85$  bis  $0,95$  erfolgt, dann sollte der Bemessungswert des Querschnittswiderstandes mit der reduzierten Fließgrenze  $f_{y,red} = \rho_C f_y$  bestimmt werden.

**Tabelle C.1 — Klassifizierung von Querschnitten für Biegung auf einem reduziertem  $M_{pl,Rd}$ -Niveau**

Profilart	$M_{pl,Rd}$	100 %	95 %	90 %	85 %
	Abminderungsfaktor $\rho_C$	1,0	0,95	0,90	0,85
U-Bohle	Klasse 1 oder 2	$\frac{b/t_f}{\varepsilon} \leq 37$	$\frac{b/t_f}{\varepsilon} \leq 40$	$\frac{b/t_f}{\varepsilon} \leq 46$	$\frac{b/t_f}{\varepsilon} \leq 49$
Z-Bohle	Klasse 1 oder 2	$\frac{b/t_f}{\varepsilon} \leq 45$	$\frac{b/t_f}{\varepsilon} \leq 50$	$\frac{b/t_f}{\varepsilon} \leq 60$	$\frac{b/t_f}{\varepsilon} \leq 66$

(3) Eine plastische Bemessung mit Momentenumlagerung darf für Klasse-1- und Klasse-2-Querschnitte durchgeführt werden, vorausgesetzt, dass gezeigt werden kann:

$$\phi_{Cd} \geq \phi_{Ed} \quad (C.1)$$

Dabei ist

- $\phi_{Cd}$  der Bemessungswert der plastischen Rotationskapazität, die vom Querschnitt bereitgestellt wird, siehe Bild C.1 und Bild C.2;
- $\phi_{Ed}$  der maximale Bemessungswert der Rotationsanforderung, die für den jeweiligen Bemessungsfall bestimmt wird.

(4) Die plastische Rotationskapazität  $\phi_{Cd}$ , die in Bild C.1 für verschiedene  $M_{pl,Rd}$ -Niveaus gegeben ist, hängt vom  $b/t_f \varepsilon$ -Verhältnis des Querschnitts ab. Diese Diagramme basieren auf Biegeversuchen mit Stahlpundwänden, siehe Bild C.2.

DIN EN 1993-5:2010-12  
EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)

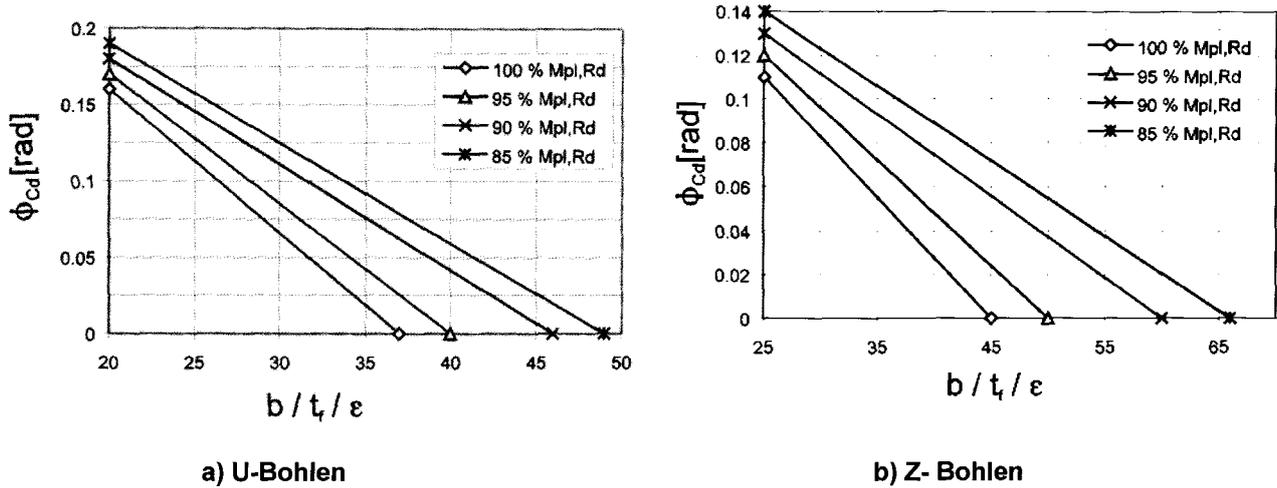


Bild C.1 — Plastische Rotationskapazität  $\phi_{Cd}$  von Querschnitten abhängig von verschiedenen  $M_{pl,Rd}$ -Niveaus

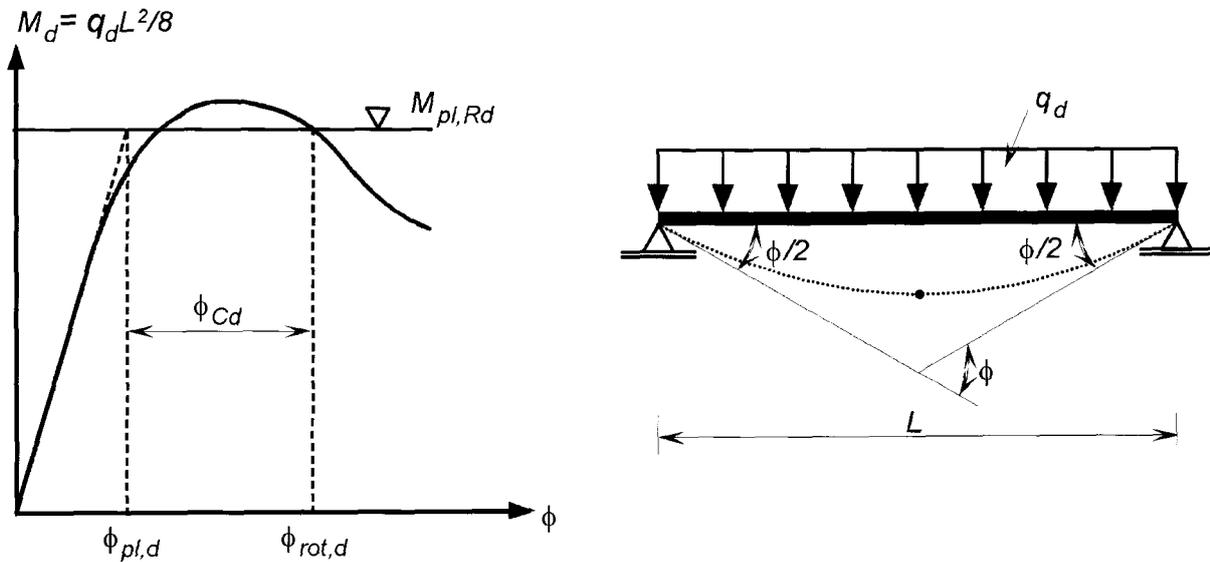


Bild C.2 — Definition der plastischen Rotationskapazität als Winkel  $\phi_{Cd}$

(5) Der Bemessungswert  $\phi_{Ed}$  der plastischen Rotationsanforderung darf für den jeweiligen Bemessungsfall mit einem der folgenden Verfahren bestimmt werden:

a) mit dem Fließgelenkmodell:

$\phi_{Ed}$  ist der maximale Bemessungswinkel in einem der Fließgelenke;

b) alternativ mit dem Fließgelenkmodell und dem Fließzonenmodell:

$$\phi_{Ed} = \phi_{rot,Ed} - \phi_{pl,Ed} \tag{C.2}$$

Dabei ist

$\phi_{\text{rot,Ed}}$  der Gesamtwert des Rotationswinkels im Grenzzustand der Tragfähigkeit, gemessen zwischen den Momentennullpunkten (siehe Bild C.3);

$\phi_{\text{pl,Ed}}$  der elastische Rotationswinkel, zugehörig zu dem plastischen Momentenwiderstand  $M_{\text{pl}}$ .

ANMERKUNG Vereinfacht darf  $\phi_{\text{pl,Ed}}$  wie folgt bestimmt werden:

$$\phi_{\text{pl,Ed}} = \frac{2}{3} \frac{M_{\text{pl,Rd}} L}{\beta_{\text{D}} EI} \quad (\text{C.3})$$

Dabei ist

$L$  der Abstand zwischen den Momentennullpunkten im Grenzzustand der Tragfähigkeit, siehe Bild C.3;

$EI$  die elastische Biegesteifigkeit der Spundbohle;

$\beta_{\text{D}}$  der Faktor nach 6.4 (3).

c) mit dem Fließgelenk- oder dem Fließzonenmodell werden die Rotationswinkel aus den berechneten Wandverformungen, wie in Bild C.4 gezeigt, bestimmt:

$$\phi_{\text{Ed}} = \phi_{\text{rot,Ed}} - \phi_{\text{pl,Ed}} \quad (\text{C.4})$$

Dabei ist

$$\phi_{\text{rot,Ed}} = \frac{w_2 - w_1}{L_1} + \frac{w_2 - w_3}{L_2} \quad (\text{C.5})$$

$$\phi_{\text{pl,Ed}} = \frac{5}{12} \frac{M_{\text{pl,Rd}} L}{\beta_{\text{D}} EI} \quad (\text{C.6})$$

ANMERKUNG Wenn das verwendete Berechnungsprogramm nach der Berechnung eine „Entlastung“ der Spundbohle zulässt, kann  $\phi_{\text{Ed}}$  aus den verbleibenden plastischen Verformungen direkt bestimmt werden.

## C.2 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

(1) Bei U-Bohlen sollte eine mögliche Verminderung der Schubkraftübertragung im Schloss nach 6.4 berücksichtigt werden.

DIN EN 1993-5:2010-12  
EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)

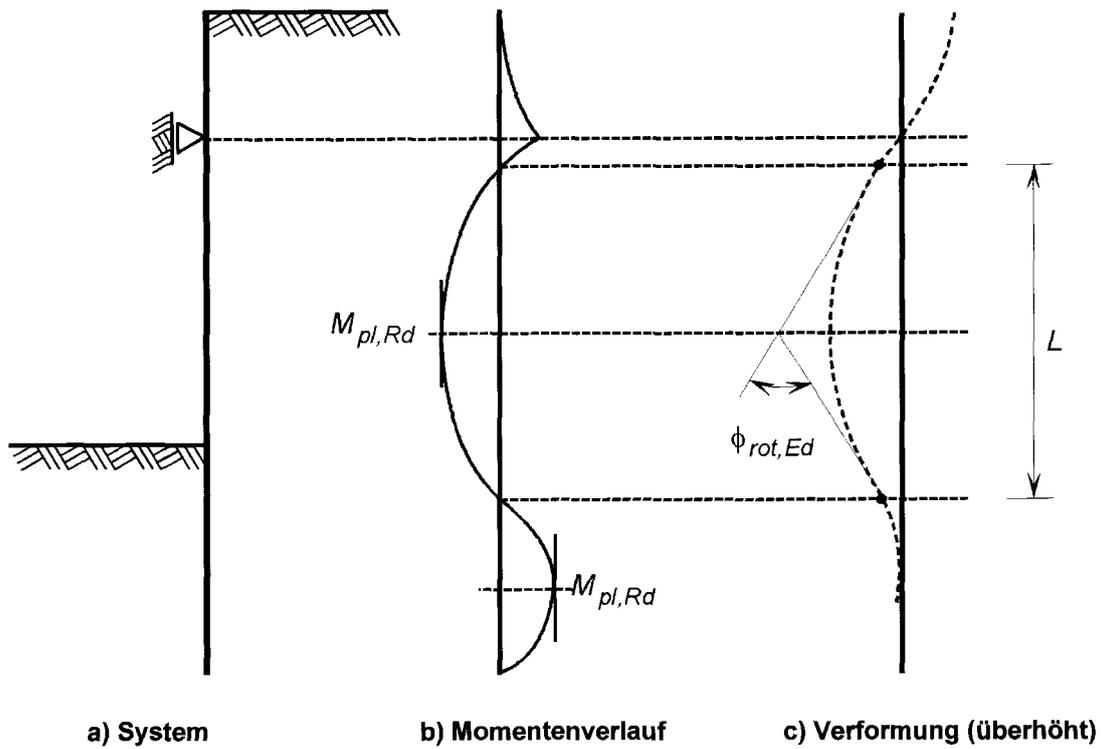


Bild C.3 — Beispiel für die Bestimmung des gesamten Rotationswinkels  $\phi_{rot,Ed}$

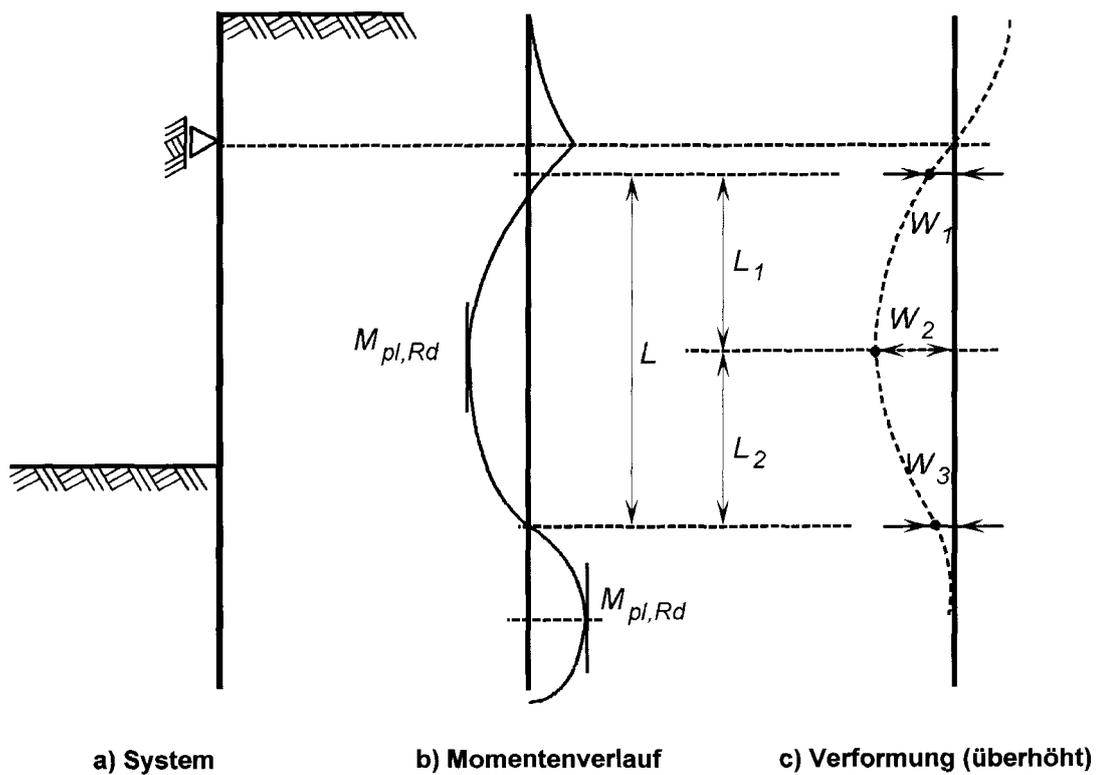


Bild C.4 — Bezeichnungen für die Bestimmung des gesamten Rotationswinkels  $\phi_{rot,Ed}$  aus den Wandverformungen

## Anhang D (informativ)

### Tragelemente bei kombinierten Spundwänden

#### D.1 I-Profile als Tragelemente

##### D.1.1 Allgemeines

(1) I-Profile, die als Tragelemente in kombinierten Wänden eingesetzt werden, siehe Bild 1-5, und Klasse-1-, Klasse-2- oder Klasse-3-Querschnitten nach EN 1993-1-1, Tabelle 5-2 entsprechen, dürfen nach D.1.2 nachgewiesen werden.

ANMERKUNG Klasse-4-Querschnitte sollten nach EN 1993-1-3 und nach EN 1993-1-7 nachgewiesen werden.

(2) Wenn das Kriterium (5.1) in EN 1993-1-1 nicht erfüllt ist, sollten die Schnittgrößen mit einem Balkenmodell nach Theorie II. Ordnung bestimmt werden. Bei der Bestimmung der Knicklänge sollte 5.2.3 beachtet werden.

(3) Falls erforderlich, sollten lokale Plattenbiegespannungen infolge der Lasteinleitung aus Anschlüssen der Füllelemente nach 5.5.4 berücksichtigt werden, siehe Bild D.1.

##### D.1.2 Nachweismethode

(1) Wenn keine genauere Bemessungsmethode verwendet wird, erlaubt die nachfolgende vereinfachte Methode den Nachweis von I-Profilen unter Berücksichtigung der Interaktion zwischen Biegemomenten, Normalkräften und lokaler Plattenbiegung in Flanschen infolge der Lasteinleitung aus den Füllelementen.

ANMERKUNG Die Verwendung einer genaueren Berechnungsmethode, die für Werkstoff und Geometrie ein nicht lineares Verhalten berücksichtigt, kann zu einer wirtschaftlicheren Bemessung führen. Dieser Ansatz wird auch zur Behandlung von hohen Wasserdruckbelastungen über 10 m Höhe empfohlen.

(2) Für Wasserdrücke (oder äquivalente Erddrücke in sehr weichen Böden) bis zu 10 m Höhe darf die Interaktion zwischen den Schnittgrößen und der lokalen Plattenbiegung wie folgt berücksichtigt werden:

— Die Querschnittsnachweise der Tragelemente sollten nach EN 1993-1-1, 6.2.9.2 und 6.2.10 mit einer verminderten Fließgrenze durchgeführt werden:

— für  $h = 10 \text{ m}$  :  $f_{y,red} = 0,9 f_y$

— für  $h \leq 4 \text{ m}$  :  $f_{y,red} = 1,0 f_y$

— für  $4 \text{ m} < h < 10 \text{ m}$  : lineare Interpolation

— die lokale Plattenbiegung der Flansche wird nach Absatz (3) nachgewiesen.

(3) Die lokale Flanschbiegung sollte am Beginn der Ausrundung zwischen Flansch und Steg nachgewiesen werden. Für die Einleitung der Füllbohlenbelastung (siehe Bild D.1) ist nachzuweisen:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} + \left( \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \right)^2 \leq 1 \quad (\text{D.1})$$

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

Dabei ist

$M_{Ed}$  und  $N_{Ed}$  die Bemessungswerte der Schnittgrößen für die Plattenbiegung aus

$$M_{Ed} = m_{Ed} + w_{z,Ed} d \quad \text{und} \quad N_{Ed} = w_{y,Ed} \tag{D.2}$$

$M_{Rd}$  und  $N_{Rd}$  die Bemessungswerte des Widerstandes für die Plattenbiegung:

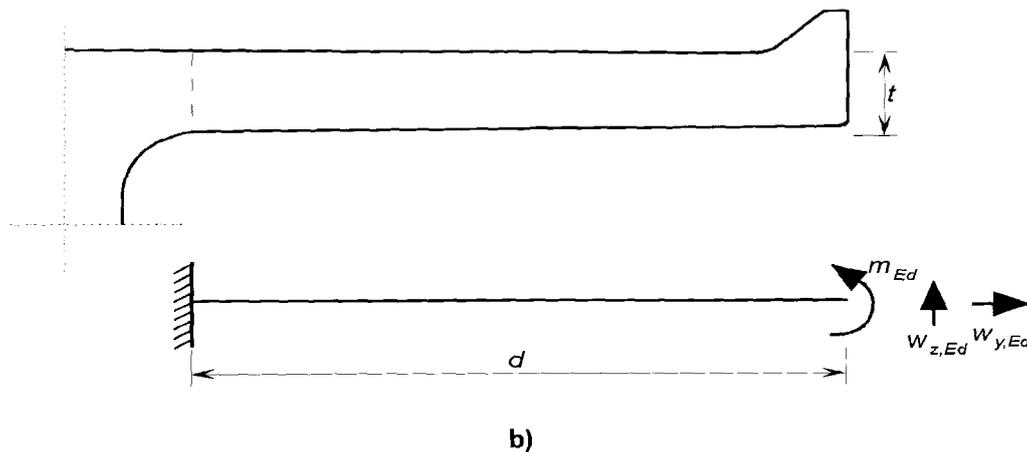
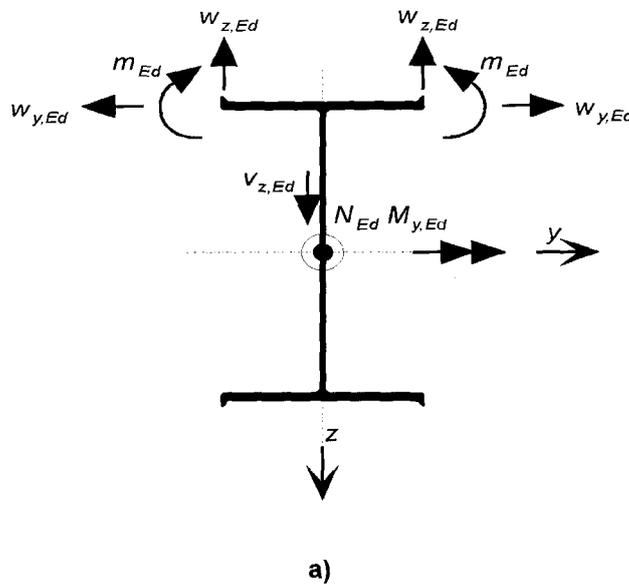
$$M_{Rd} = 0,2875 t^2 f_y / \gamma_{M0} \quad \text{und} \quad N_{Rd} = t f_y / \gamma_{M0}$$

$t$  die Flanschdicke am Anfang der Ausrundung.

ANMERKUNG 1  $M_{Ed}$ ,  $N_{Ed}$ ,  $M_{Rd}$  und  $N_{Rd}$  sind je laufenden Meter anzusetzen.

ANMERKUNG 2 Die Querkraftinteraktion darf vernachlässigt werden.

- (4) Für den Schubbeulnachweis im Steg ist EN 1993-1-5 zu beachten.
- (5) Für den Knicknachweis des Gesamtsystems ist in der Regel EN 1993-1-1, 6.3.3 zu beachten.



**Bild D.1 — I-Profil mit Biegung und Plattenbiegung**

## D.2 Rohrpfähle als Tragelemente

### D.2.1 Allgemeines

(1) Rohrpfähle, die in kombinierten Spundwänden als Tragelemente eingesetzt werden und Klasse-4-Querschnitten nach EN 1993-1-1, Tabelle 5-2 entsprechen, dürfen wie folgt nachgewiesen werden.

(2) Wenn das Kriterium (5.1) in EN 1993-1-1 nicht erfüllt ist, sollten die Schnittgrößen mit einem Balkenmodell nach Theorie II. Ordnung bestimmt werden. Bei der Bestimmung der Knicklänge sollte 5.2.3 beachtet werden.

ANMERKUNG Bei der Berechnung von  $F_{cr}$  sollten die Effekte der Ovalisation auf das Flächenträgheitsmoment berücksichtigt werden. Siehe 5.2.3 für die Bestimmung der Knicklänge.

(3) Falls nach 5.5.4 erforderlich, können die lokalen Schalenbiegespannungen und Schalenverformungen infolge der Lasteinleitung aus Anschlüssen der Füllelemente nach Tabelle D.1 abgeschätzt werden.

ANMERKUNG 1 Die vertikalen Lagerreaktionen in Bild 5-9 dürfen für die Bestimmung der lokalen Schalenbiegespannungen vernachlässigt werden.

ANMERKUNG 2 Als Vereinfachung darf die horizontale Kraft  $w_{y,Ed}$  nur als Zugkraft angesetzt werden.

(4) Die Wirkung der Ovalisation der Röhre infolge lokaler Schalenbiegung auf das Flächenträgheitsmoment bezogen auf die Wandachse, siehe Bild D.2, darf mit dem folgenden Abminderungsfaktor abgeschätzt werden:

$$\beta_{o,l} = 1 - 1,5 (e / r) \quad (D.3)$$

ANMERKUNG Die Wirkung der Ovalisierung auf das Widerstandsmoment darf vernachlässigt werden.

(5) Die Ovalisierung  $e$  infolge lokaler Schalenbiegung, siehe Bild D.2 und Tabelle D.1, darf wie folgt abgeschätzt werden:

$$e = 0,068 \cdot 4 w_{y,Ed} \frac{r^3}{EI} \text{ jedoch } e \leq 0,1 r \quad (D.4)$$

Dabei ist

$EI$  die Biegesteifigkeit des Rohres, gegeben durch:

$$EI = E t^3 / 12;$$

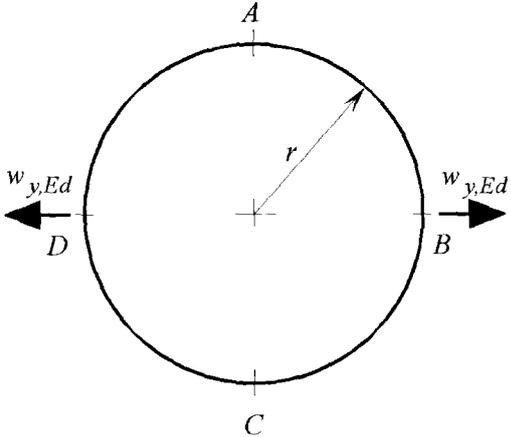
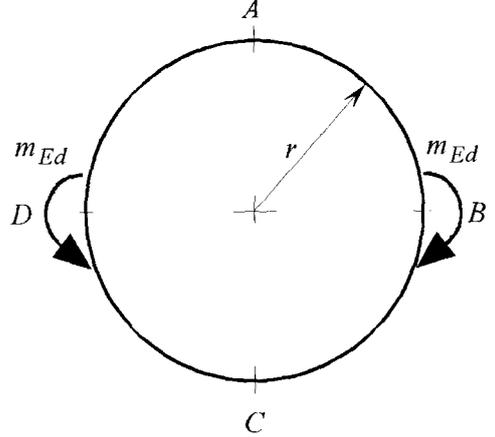
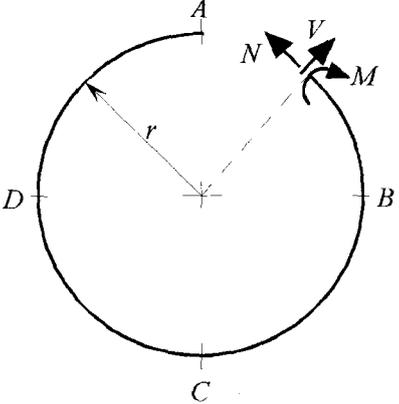
$r$  der Radius der Mittellinie der Rohrwandung;

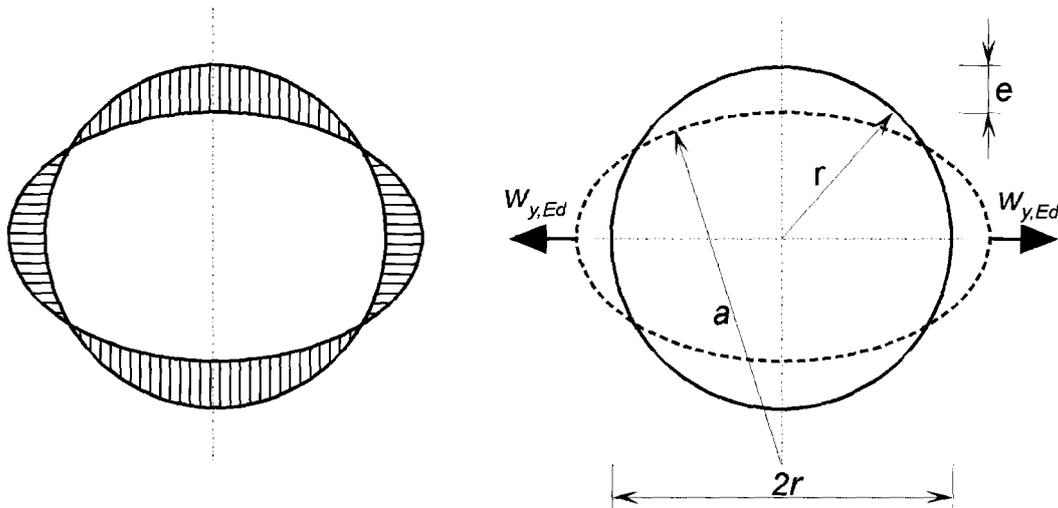
$w_{y,Ed}$  die Lagerkraft je Längeneinheit nach 5.2.2 (3), siehe Bild 5-9.

(6) Der Krümmungsradius  $a$  an der Ovalisierung, siehe Bild D.2, darf wie folgt angenommen werden:

$$a = \frac{r}{1 - \frac{3e}{r}} \quad (D.5)$$

Tabelle D.1 — Lokale Schalenbiegung infolge der Anschlusskräfte aus den Füllelementen

	
$M_A = 0,182 w_{y,Ed} r$ $N_A = 0,5 w_{y,Ed}$ $V_A = 0$ $M_B = -0,318 w_{y,Ed} r$ $N_B = 0$ $V_B = \pm 0,5 w_{y,Ed}$ $\Delta D_{BD} = 0,1488 w_{y,Ed} r^3 / EI$ $\Delta D_{AC} = -0,1368 w_{y,Ed} r^3 / EI$	$M_A = 0,137 m_{Ed}$ $N_A = 0,637 m_{Ed} / r$ $V_A = 0$ $M_B = \pm 0,5 m_{Ed}$ $N_B = 0$ $V_B = -0,637 m_{Ed} / r$ $\Delta D_{BD} = 0$ $\Delta D_{AC} = 0$
<p>Dabei ist</p> <p><math>M, N</math> und <math>V</math> die Schnittgrößen aus der Schalenbiegung nach den im Bild angegebenen Definitionen</p> <p><math>w_{y,Ed}</math> und <math>m_{Ed}</math> die Anschlusskräfte eingeleitet aus den Füllelementen</p> <p><math>\Delta D_{BD}</math> und <math>\Delta D_{AC}</math> die Durchmesseränderungen infolge der aufgetragenen Kräfte (Ovalisation)</p> <p><math>r</math> der Radius der Mittellinie der Rohrwandung</p> <p><math>EI</math> die Schalenbiegesteifigkeit des Rohres</p>	<p>Definition der Schnittgrößen bei Schalenbiegung:</p> 

**Legende**

- $a$  Krümmungsradius an der Ovalisation  
 $e$  Ovalisation infolge lokaler Schalenbiegung  
 $r$  Radius der Mittellinie der Rohrwandung  
 $t$  Wanddicke des Rohrs  
 $w_{y,Ed}$  Kraft, eingeleitet aus dem Füllelement

Bild D.2 — Rohrfahl: geometrische Daten und lokale Schalenbiegung

**D.2.2 Nachweismethode**

(1) Das nachfolgende Verfahren darf für den Nachweis der Rohrfähle unter Berücksichtigung des Schalenbeulens, der Interaktion zwischen Biegemomenten, Normalkräften, lokaler Schalenbiegung und Knicken verwendet werden.

ANMERKUNG Alternativ darf der Nachweis auch nach EN 1993-1-6, 8.6 oder 8.7 mit einem Modell, das für diese Art der Berechnung geeignet ist und die Effekte aus der Bodensteifigkeit berücksichtigt, durchgeführt werden.

(2) Der Beulnachweis sollte wie für zylindrische Schalen, jedoch mit einem Radius entsprechend dem Radius der Krümmung  $a$  an der Ovalisation durchgeführt werden.

(3) Für den Beulnachweis wird auf EN 1993-1-6, 8.5 verwiesen.

(4) Vorausgesetzt, dass die Lasteinleitungspunkte durch eine Betonfüllung oder entsprechend bemessene Steifen ausgesteift sind, darf Schubbeulen an den Punkten der Lasteinleitung vernachlässigt werden.

(5) Wenn der Rohrfahl über eine gewisse Höhe mit dichtem Sand oder steifem Ton gefüllt ist, dürfen in diesem Rohrteil die Umfangsdruckspannungen infolge externen Erd- und Wasserdrucks für den Beulnachweis vernachlässigt werden.

ANMERKUNG Informationen zu der erforderlichen Dichte oder Steifigkeit dürfen auf der Grundlage von örtlichen Erfahrungen im Nationalen Anhang angegeben werden.

(6) Die kritische Beulspannung sollte bestimmt werden:

— für Axialspannungen nach EN 1993-1-6, D.1.2.1 mit  $C_x = 1,0$  auch für lange Zylinder;

— für Schubspannungen nach EN 1993-1-6, D.1.4.1;

— für Umfangsdruckspannungen nach EN 1993-1-6, D.1.3.1 unter Verwendung der Randbedingungen in Fall 3 in Tabelle D.3 oder D.4.

**DIN EN 1993-5:2010-12**  
**EN 1993-5:2007 + AC:2009 (D)**

(7) Die Beulparameter sollten nach EN 1993-1-6, D.1.2.2, D.1.4.2 und D.1.3.2 bestimmt werden. Dabei darf für neue Rohre Qualität B angesetzt werden.

(8) Die Bemessungswerte der Spannungen sollten mit der Membrantheorie nach EN 1993-1-6, Anhang A berechnet werden.

(9) Für den Nachweis der Beulfestigkeit wird in der Regel auf EN 1993-1-6, 8.5.3 verwiesen.

ANMERKUNG 1 Wenn die Umfangsdruckspannungen für den Beulnachweis berücksichtigt werden müssen, sollte eine ungleichmäßige Manteldruckverteilung durch eine gleichmäßige mit dem Höchstwert ersetzt werden.

ANMERKUNG 2 Schub darf vernachlässigt werden, wenn die Interaktion nach EN 1993-1-6, 8.5.3 (3) geprüft wurde.

(10) Die allgemeinen Querschnittsnachweise sollten nach EN 1993-1-1, 6.2.1 mit dem in EN 1993-1-6, 6.2 angegebenen Verfahren durchgeführt werden. Bei diesem Nachweis sollten die Spannungen infolge globaler Biegung und infolge lokaler Schalenbiegung nach Tabelle D.1 berücksichtigt werden. Der Effekt der Ovalisierung darf vernachlässigt werden und die vollen elastischen Querschnitseigenschaften dürfen in diesem Nachweis verwendet werden. Bei der Bestimmung der kritischen Punkte für die Überprüfung des Fließkriteriums sollten sowohl der maßgebende Querschnitt als auch die maßgebenden Punkte (Punkte A, B, C und D in Tabelle D.1) auf diesem Querschnitt betrachtet werden.

(11) Für den Nachweis gegen Biegeknicken ist EN 1993-1-1, 6.3.3 zu beachten. Dabei sollten die voll-elastischen Querschnitseigenschaften unter Berücksichtigung der Ovalisierung nach D.2.1 (4) verwendet werden.

(12) Dieser Nachweis ist erbracht, wenn das folgende Interaktionskriterium erfüllt wird:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk}} + 1,5 \frac{M_{Ed}}{M_{Rk}} \leq 1,0 \quad (D.6)$$

$\gamma_{M1} \quad \gamma_{M1}$

Dabei ist

$N_{Ed}$  und  $M_{Ed}$  die Bemessungswerte der Druckkräfte und Biegemomente im maßgebenden Querschnitt;

$N_{Rk}$  und  $M_{Rk}$  die charakteristischen Widerstände nach Absatz (11);

$\chi$  der Abminderungsfaktor infolge Biegeknickens aus EN 1993-1-1, 6.3.1.2, dem die Knicklänge nach 5.2.3 zugrunde liegt.

ANMERKUNG Die Schlankheit sollte nach EN 1993-1-1, 6.3.1.3 unter Beachtung von D.2.1 (2) bestimmt werden.