

## AZ<sup>®</sup>-Stahlspundwände

### Exzentrische Verankerung

Bemessung gemäß "Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung" 2017



Deutsches Institut für Bautechnik **DIBt**

Zulassungsstelle für Bauprodukte und Bauteile  
Bauteiltechnischer Prüfbericht  
Eine vom Bund mit dem 1. Oktober  
generell gültigen Anordn. des öffentlichen Rechts  
Möglichkeit der DETA, der DETA und der DETA

Datum: 12.04.2017  
Querschnittsnummer: 135-1-14.4-15/17

Zulassungsnummer:  
**Z-14.4-605**  
Geltungsbeginn:  
vom 12. April 2017  
bis 1. Juli 2020

Zulassungsinhaber:  
**ARCELORMITAL Commercial RPS S. r. l.**  
66, rue de Luxembourg  
4009 ESCH-SUR-ALZETTE  
LUXEMBURG

Zulassungsgegenstand:  
**Exzentrische Rückverankerung von Spundwänden aus AZ-Bohlen**

Der oben genannte Zulassungsgegenstand wird hiermit allgemein bauaufsichtlich zugelassen. Diese allgemeine bauaufsichtliche Zulassung umfasst zehn Seiten und sechs Anlagen. Diese allgemeine bauaufsichtliche Zulassung ersetzt die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-14.4-505 vom 18. Oktober 2016. Der Gegenstand ist erstmals am 9. Juli 2009 allgemein bauaufsichtlich zugelassen worden.

**DIBt**

DIBt | Schadowstraße 96 | D-10245 Berlin | Tel.: +49 30 91976-0 | Fax: +49 30 91976-2012 | Email: info@dib.de | www.dib.de

Deutsches Institut für Bautechnik **DIBt**

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung  
Nr. Z-14.4-605  
Seite 4 von 10 | 12. April 2017

**3 Bestimmungen für die Konstruktion und die Bemessung der exzentrischen Lastenverteilung**

**3.1 Allgemeines**  
Es gelten die Regelungen in DIN EN 1992-1-1, sofern im Folgenden nichts anderes festgelegt wird.  
Die exzentrische Verankerung ist grundsätzlich nach Anlage 3 auszuführen.  
Ergänzend zu den Werkstoffeigenschaften nach DIN EN 1992-5, Abschnitt 3 gelten für die Normwerte der Streckgrenze  $f_{yk}$  und die Zugfestigkeit  $f_{tk}$  für die Stahlgüte S490GP die im Entwurf der DIN EN 10385-1 angegebenen Mindestwerte.  
Bei geneigter Verankerung ist für die vertikale Komponente der Verankerungskraft der Nachweis der lokalen Lastenverteilung zu führen. Ansonsten ist Abschnitt 3.2.1.2 zu beachten. Die vertikale Komponente der Verankerungskraft und die daraus resultierende Normalkraft- und Biegemomentenverteilung auf die Spundwand sind beim Nachweis der Spundwand zu berücksichtigen.

**3.2 Tragwerksverhaltensweise**

**3.2.1 Nachweis der Querschnittstragfähigkeit**

**3.2.1.1 Allgemeines**  
Beim Nachweis der Querschnittstragfähigkeit sind die Effekte der Plattenquertreibung auf die Gesamtrigfähigkeit der Spundwand wie nachfolgend beschrieben zu berücksichtigen.

**3.2.1.2 Nachweis für Beanspruchungen aus Normalkraft**  
Sind keine zusätzlichen Maßnahmen zur Übertragung von Längskräften in den Stößen getroffen, darf beim Normalkraftnachweis die vertikale Komponente der Verankerung nur auf einen Z-spundstielanschnitt pro Doppelpunktbolze angesetzt werden.

**3.2.1.3 Nachweis für Beanspruchungen aus Biegung und Querkraft**  
(1) Die Beanspruchungen aus Biegung und Querkraft sind die Nachweise einseitig über die zu berücksichtigenden Interaktionen nach DIN EN 1992-5 mit den Widerstandswerten für  $M_{Ed}$  und  $F_{Ed}$  nach (2) und (3) zu führen.  
(2) Die Bemessungswerte der Biegemomentenverteilung  $M_{Ed}$  ist in Abhängigkeit von der Querschnittsklasse wie folgt zu berechnen:  
Querschnittsklassen 1 und 2:  $M_{Ed} = \beta_{yk} \cdot F_{yk} \cdot l \cdot z$  (3-1)  
Querschnittsklasse 3:  $M_{Ed} = \beta_{yk} \cdot F_{yk} \cdot l \cdot z$  (3-2)  
Querschnittsklasse 4:  $M_{Ed} = \beta_{yk} \cdot F_{yk} \cdot l \cdot z$  (3-3)  
mit:  
 $\beta_{yk}$  Abminderungsfaktor der exzentrischen Lastenverteilung, siehe Abschnitt 3.2.1.3.4)  
 $F_{yk}$  elastisches Widerstandsmoment der Spundwand  
 $F_{yk}$  plastisches Widerstandsmoment der Spundwand  
 $F_{yk}$  effektives Widerstandsmoment der Spundwand für Querschnittsklasse 4, siehe DIN EN 1992-5 Anhang A  
 $z$  Teilsicherheitsbeiwert = 1,0  
 $l$  Stielgrenze der AZ-Spundbohle

**3.2.1.3.1** DIN EN 1992-5-1-2: Eindeutige Bemessung und Konstruktion von Bauteilen – Teil 2: Platte und Spundwand in Verbindung mit dem Nationalen Anhang (DIN EN 1992-5-1-2:2010-11)

210870-17 1.14.4-1017

Deutsches Institut für Bautechnik **DIBt**

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung  
Nr. Z-14.4-605 vom 12. April 2017

a) nicht zulässige Ausführung

b) richtige Ausführung

Exzentrische Rückverankerung von Spundwänden aus AZ-Bohlen

Ausführung der exzentrischen Verankerung

Anlage 3

1.14.4-1017

Deutsches Institut für Bautechnik **DIBt**

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung  
Nr. Z-14.4-605 vom 12. April 2017

statisches System und Belastung

Momentenverlauf

Boden	$k_s$ (MN/m³)
Torf	2
Ton	
Schluff	5
Kies	
Lehm	10
Sand locker	40
Sand mitteldicht	80
Sand dicht	150
Kies	100

Exzentrische Rückverankerung von Spundwänden aus AZ-Bohlen

Ersatzsystem und Bodenstärigkeiten zur Bestimmung von  $c_{yk}$

Anlage 6

1.14.4-1017

# Inhalt

1. Einleitung	5
2. Durchgeführte Untersuchungen	6
3. Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung	8
4. Bemessungskonzept und Bemessungstabellen	9
5. Berechnungsbeispiel	27
6. Literatur	34

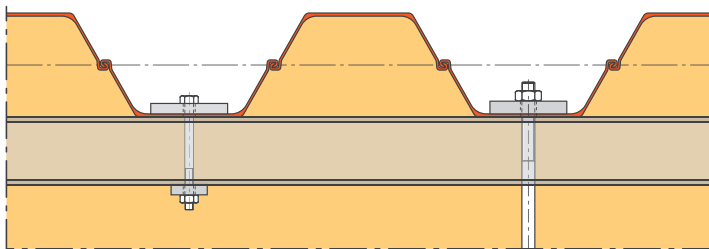


# 1. Einleitung

Die Z-Bohlen der AZ-Reihe aus dem ArcelorMittal Lieferprogramm zeichnen sich gegenüber den Profilen der Wettbewerber und gegenüber den U-Profilen insbesondere durch folgende Merkmale aus:

- Kombination der günstigen Z-Form mit dem bewährten Larssen-Schloss; somit wirtschaftliches Profil, gekennzeichnet durch hohes W/G-Verhältnis,
- günstige Lage der Schlösser an der Außenseite, so dass die Schubkraftübertragung keine Rolle spielt und eine Verpressung zum Erreichen der vollen Tragfähigkeit nicht erforderlich ist.

In der Praxis werden für Spundwände mit einer rückwärtigen Verankerung aus konstruktiven Gründen

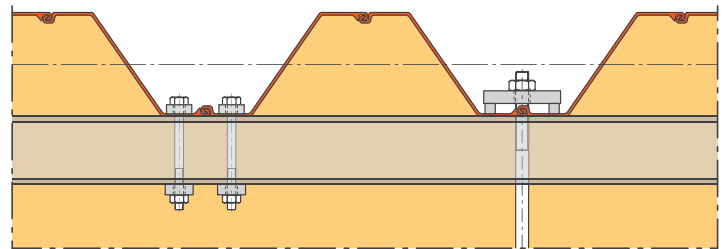


Verankerung von U-Bohlen

häufig U-Bohlen vorgezogen, da hier sowohl die Bolzen für einen Gurtanschluss als auch die Anker zentrisch durch die Flanschmitte der U-Bohlen geführt werden können.

Im Fall von Z-Bohlen wird wegen des Mittelschlusses der Gurtanschluss allg. konservativ mit doppelten Bolzen ausgeführt, was zu höheren Materialkosten und einer aufwendigeren Montage führt.

Für einen mittigen Ankeranschluss muss der Anker durch das Schloss durchgeführt werden, wodurch eine Ankerplatte mit angeschweißten Leisten benötigt wird. Falls Grundwasser hinter der Wand ansteht, kann die Schlossdurchdringung zu Undichtigkeiten der Wand führen.



Traditionelle Verankerung von Z-Bohlen

## Wirtschaftliche Verankerung von AZ<sup>®</sup>-Bohlen

Um die Vorteile der AZ-Bohlen vollends zur Geltung zu bringen und eine insgesamt wirtschaftliche Lösung anbieten zu können, hat ArcelorMittal eine kostengünstige Alternative entwickelt:

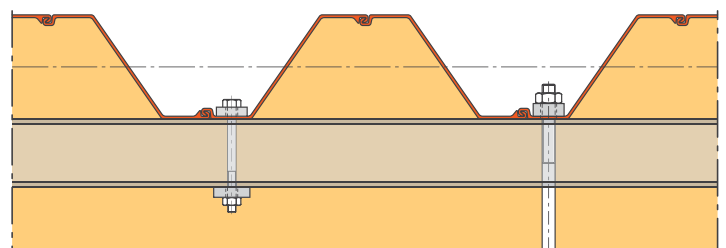
### die exzentrische Verankerung.

Das Prinzip dieser Lösung, welche die hervorragenden statischen Eigenschaften der AZ-Bohlen mit den einfachen konstruktiven Verankerungsmöglichkeiten der U-Bohlen kombiniert, ist, dass die Bolzen oder Anker einfach seitlich des Mittelschlusses durch die Mitte einer Flanschkante geführt werden, wodurch die problembehaftete Durchdringung des Schlosses sowie die mit Leisten versehene Ankerplatte hinfällig werden.

Der Vorteil der exzentrischen Lasteinleitung bei Z-Bohlen besteht darin, das günstigere Tragverhalten der Z-Bohle auszunutzen ohne eine Bohrung durch das Spundwandschloß.

Die wirtschaftlichen Vorteile liegen auf der Hand:

- Durch den exzentrischen Gurtanschluss der AZ-Bohlen werden die Material- und Montagekosten reduziert,
- Durch die exzentrische Verankerung wird nur eine einfache Ankerplatte benötigt und wegen der einfachen Bohrung durch den Flansch kann die Dichtigkeit der Ankerdurchführung problemlos gewährleistet werden.



Wirtschaftliche Verankerung von AZ-Bohlen

## 2. Durchgeführte Untersuchungen

Da der Fall der exzentrischen Rückverankerung bei AZ-Bohlen zurzeit normativ nicht geregelt ist, hat ArcelorMittal in enger Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Stahlbau der RWTH Aachen ein umfangreiches Forschungsprojekt mit dem Ziel durchgeführt, das Tragverhalten der Bohlen bei exzentrischer Rückverankerung zu analysieren und Regeln zu deren Bemessung zu entwickeln.

Im Einzelnen war die Studie folgendermaßen gegliedert:

- Experimentelle Untersuchungen an Z-Bohlen bei exzentrischer Lasteinleitung,
- Entwicklung eines FE-Modells, das an den Versuchen kalibriert wurde,

### Experimentelle Untersuchungen

Die Versuche an den Z-Profilen wurden am Institut für Eisenhüttenkunde der RWTH Aachen durchgeführt.

In den Versuchen wurde die Ankerlast durch einen Druckzylinder auf eine exzentrisch angeordnete Ankerplatte aufgebracht. Aus versuchstechnischen Gründen konnte nur eine Doppelbohle untersucht werden. Zur Wahrung der Kontinuität wurde diese mittels Zugstangen verstrebt.



AZ18-Doppelbohle in der Versuchseinrichtung



AZ26-Doppelbohle nach dem Versuch

- Analyse des Tragverhaltens eines Bohlenpaares innerhalb der Spundwand bei exzentrischer Lasteinleitung,
- Entwicklung eines Bemessungskonzeptes.

Die Ergebnisse der Studie liegen in Form eines Abschlussberichtes [1] vor und sind hier in einer praxisgerechten Form zusammengefasst.

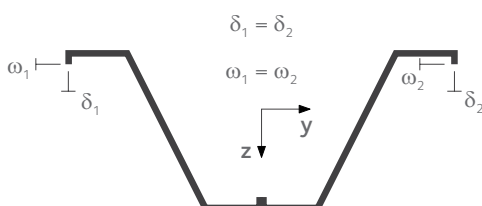


Die Bilder der AZ18-Bohlen nach dem Versuch belegen das duktile Verhalten dieser Lösung.

### Begleitende/ergänzende FE-Simulationen und Modellkalibrierungen

Anhand der Versuchsergebnisse wurde ein FE-Modell kalibriert. Mit diesem Modell wurden anschließend Parameterstudien durchgeführt. Diese FE-Untersuchungen wurden vom Institut für Stahlbau der RWTH durchgeführt.

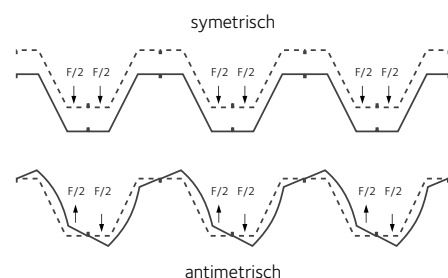
Dabei wurden Randbedingungen einer kontinuierlichen Wand, denen im Versuch nur teilweise Rechnung getragen



Randbedingungen einer AZ-Doppelbohle

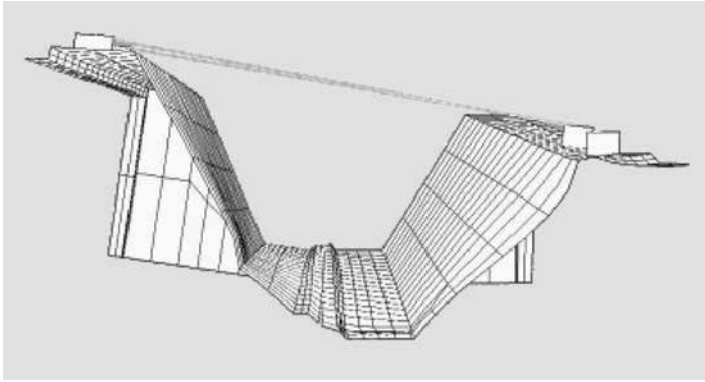
werden konnte, genauer berücksichtigt.

Prinzipiell kann die lokale exzentrische Last mit einem einfachen Modell in einen symmetrischen und einen antisymmetrischen Lastenteil aufgeteilt werden.

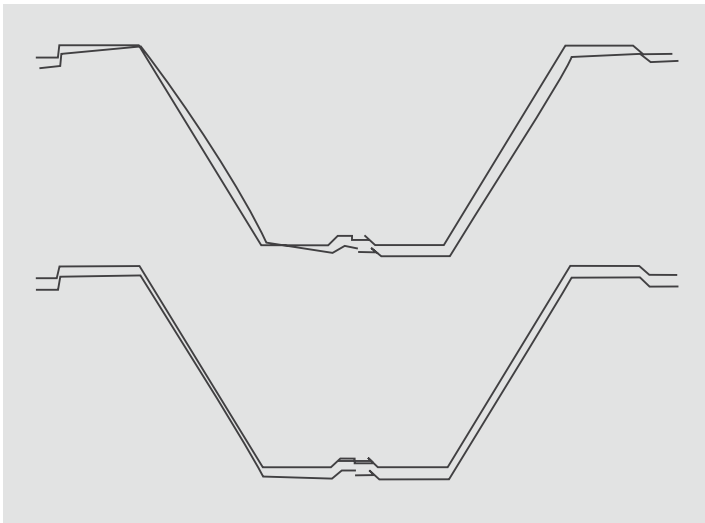


Symmetrischer und antisymmetrischer Lastanteil

Die entsprechende (qualitative) Verformungsfigur wird durch die FE-Untersuchungen bestätigt.

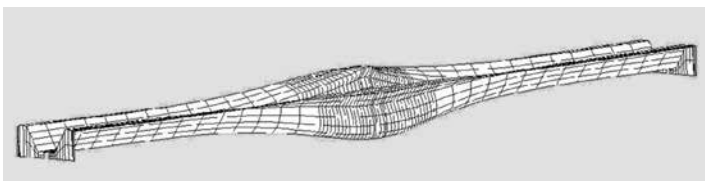


Verformung bei exzentrischer Lasteinleitung



Verformung bei verschiedenen Parametern

Die Größe der Verdrehung wird durch verschiedene Parameter wie z.B. die Spannweite und die Steifigkeit des hinter der Wand anstehenden Bodens beeinflusst.



Verdrehung durch antimetrischen Lastenteil (stark überhöht)

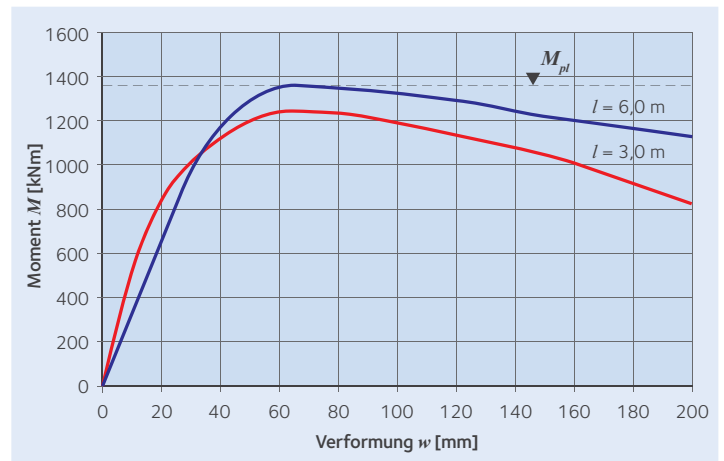
## Entwicklung eines Bemessungskonzeptes

Die Auswertung der Versuchsergebnisse sowie der begleitenden FE-Simulationen ermöglichte es ein Bemessungskonzept zu entwickeln, unter Berücksichtigung der Randbedingungen sowie der Zwängungen, denen die Doppel-Z-Bohle durch die exzentrische lokale Lasteinleitung unterworfen wird. Dieses Bemessungskonzept steht im Einklang zur EN 1993-5 und beinhaltet sowohl die lokalen Nachweise als auch die Überprüfung der globalen Tragfähigkeit.

Mittels Parameterstudien wurden folgende Punkte unter den wirklichen Randbedingungen einer exzentrischen Lasteinleitung als mögliche Grenzzustände untersucht:

1. Momententragfähigkeit des Querschnitts an der Stelle der exzentrischen Lasteinleitung,
2. Tragfähigkeit des Schlosses unter Zugkräften,
3. Schubkrafttragfähigkeit des Flansches und Zugkrafttragfähigkeit des Steges bei lokaler Einleitung der Ankerkraft.

So wurde das Tragverhalten des Querschnitts, das zu einer reduzierten Momententragfähigkeit führt, unter verschiedenen durch die Randbedingungen vorgegebenen Exzentrizitätsfaktoren untersucht.



Untersuchung der Momententragfähigkeit

Ebenfalls wurden weitergehende mechanische Versuche und FE-Simulationen zum Verhalten des Schlosses bei horizontalen Zugkräften durchgeführt.



Untersuchung der Schlosszugfestigkeit



Neben den zuvor beschriebenen Untersuchungen werden für die im folgenden Konzept vorgeschlagenen Nachweise der Ankerplatten die Ergebnisse der zweiten Studie „Ankerplattenabmessungen für Spundwandbauwerke“ [2], welche ebenfalls vom Lehrstuhl für Stahlbau der RWTH durchgeführt wurde, herangezogen.

# 3. Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-14.4-505 des DIBt

Für das entwickelte Bemessungskonzept wurde eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung beim Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) beantragt und unter der Zulassungsnummer Z-14.4-505 erteilt.

Nachfolgend Auszüge aus dem Zulassungstext bezüglich Zulassungsgegenstand und Anwendungsbereich sowie Bestimmungen für die Bauprodukte, Konstruktion und Bemessung.

## 1. Zulassungsgegenstand und Anwendungsbereich

Zulassungsgegenstand ist die exzentrische Verankerung von Spundwänden mit und ohne Gurtung entsprechend Anlage 1. Die exzentrische Verankerung darf zur Verankerung von Z-förmigen Spundbohlen der AZ-Profilreihen der Firma ArcelorMittal nach DIN EN 10248-1<sup>1</sup> angewendet werden. Hierzu sind Ankerplatten, Anker oder Zugstangen und ggf. zusätzliche Gurtbolzen zu verwenden. Die Lasteinleitung in die AZ-Spundbohlen erfolgt stets über Ankerplatten. Planmäßige Winkelabweichungen in der horizontalen Ebene zwischen der Längsachse der Verankerung und der Richtung senkrecht zur Spundwand sind nicht vorgesehen.

Alle Nachweise gelten nur für die in den Anlagen 2.1. bis 2.3 angeführten AZ-Profile sowie deren auf- und abgewalzte Varianten. Insbesondere die Nachweise für die Effekte der lokalen Lasteinleitung gelten nur für die Schlossausführung der AZ-Profile (mit Larssen-Schloss) und sind nicht auf andere Profilreihen übertragbar.

Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung regelt die Anwendung der exzentrischen Verankerung von Spundwänden unter statischer oder quasi-statischer Beanspruchung nach DIN EN 1991-1-1:2010-12<sup>2</sup> in Verbindung mit dem nationalen Anhang entsprechend den Empfehlungen des Arbeitskreises "Baugruben", EAB 2012, 5. Auflage 2012 und den Empfehlungen des Arbeitsausschusses "Ufereinfassungen" Häfen und Wasserstraßen, EAU 2012, 11. Auflage 2012.

## 2. Bestimmungen für die Bauprodukte

### 2.1. AZ-Spundbohlen

Für die Abmessungen der AZ-Spundbohlen gelten die Angaben in den Anlagen 2.1 bis 2.3. Die AZ-Spundbohlen werden aus den Stahlsorten S240GP, S270GP, S320GP, S355GP, S390GP, S430GP nach DIN EN 10248-1 hergestellt. Daneben darf Stahl der Sorte S460GP nach dem Entwurf der DIN EN 10248-1<sup>3</sup> verwendet werden.

### 2.2. Ankerplatten und Gurtbolzen

Die Ankerplatten und Gurtbolzen werden aus den Stahlsorten S235JR, S275JR und S355J0 nach DIN EN 10025-2<sup>4</sup>, S420N und S460N nach DIN EN 10025-3<sup>5</sup> und S420M und S460M nach DIN EN 10025-4<sup>6</sup> hergestellt.

### 2.3. Anker, Zugstangen und Gurtung

Anker, Zugstangen und Gurtung sind nicht Bestandteil der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung. Es sind die Technischen Baubestimmungen oder ggf. allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen zu beachten.

## 3. Bestimmungen für die Konstruktion und die Bemessung der exzentrischen Lasteinleitung

### 3.1. Allgemeines

Es gelten die Regelungen in DIN EN 1993-5<sup>7</sup>, sofern im Folgenden nichts anderes festgelegt wird.

Die exzentrische Verankerung ist grundsätzlich nach Anlage 3 auszuführen.

Ergänzend zu den Werkstoffeigenschaften nach DIN EN 1993-5, Abschnitt 3 gelten für die Nennwerte der Streckgrenze  $f_y$  und die Zugfestigkeit  $f_u$  für die Stahlsorte S460GP die im Entwurf der DIN EN 10248-1 angegebenen Mindestwerte.

Bei geneigter Verankerung ist für die vertikale Komponente der Verankerungskraft der Nachweis der lokalen Lasteinleitung zu führen. Ansonsten ist Abschnitt 3.2.1.2 zu beachten.

Die vertikale Komponente der Verankerungskraft und die daraus resultierende Normalkraft- und Biegebeanspruchung auf die Spundwand sind beim Nachweis der Spundwand zu berücksichtigen.



## 4. Bemessungskonzept und Bemessungstabellen

### 4.1 Hinweise

Das nachfolgend beschriebene Bemessungskonzept ist konform zur bauaufsichtlichen Zulassung Nr. Z-14.4-505 des DIBt (siehe Anlage) und führt die erforderlichen Nachweise in praktischer Reihenfolge an mit einer benutzerfreundlichen Darstellung und zusätzlichen Bemessungshilfen und Tabellen.

Die exzentrische Verankerung ist ebenfalls für geneigte Anker anwendbar, jedoch betreffen die vorliegenden Bemessungsregeln nur die Horizontalkomponente der Ankerlast.

Im Falle von geneigten Ankern ist folgendes zu beachten:

- Zur Einleitung der Vertikalkomponente der Ankerlast in die Spundwand sind entsprechende konstruktive Vorkehrungen zu treffen,
- Sind keine zusätzlichen Maßnahmen zur Übertragung von Längskräften in den Schlössern vorgesehen, darf beim Normkraftnachweis die vertikale Komponente der Ankerlast nur auf einem Z-Profil pro Doppelbohle angesetzt werden. Für den Stabilitätsnachweis darf aber die Biegesteifigkeit der ganzen Spundwand angesetzt werden.

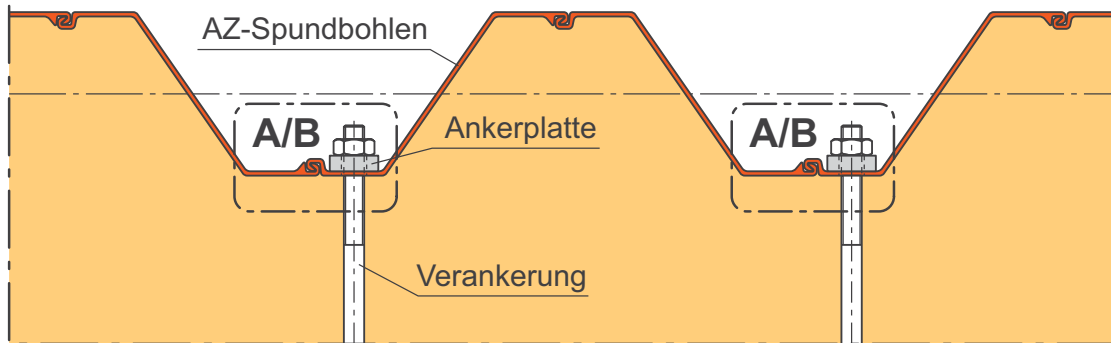
### 4.2 Vorgehensweise

- Wahl des Systems mit/ohne Gurtung, Anordnung der Anker
- Bestimmung der Ankerplattenabmessungen und Nachweis der Platten
- Bestimmung der Exzentrizitätsfaktoren an jeder Ankerstelle
- Nachweis der Spundwand gegen lokale Lasteinleitung
- Bestimmung der Abminderungsfaktoren an jeder Ankerstelle
- Nachweise der Spundwand im Anker- und Feldbereich

## 4.3 Anwendung - System

### 4.3.1 Verankerung ohne Gurtung

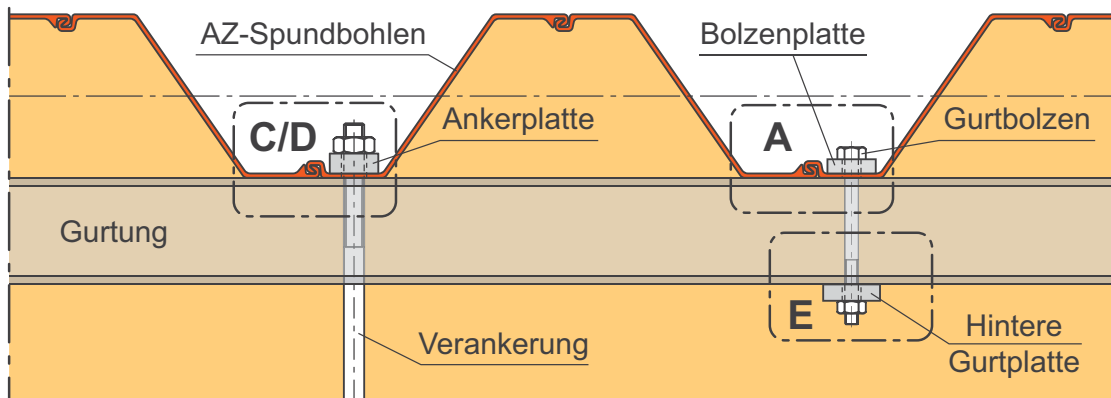
Die Doppelbohlen sind in jedem Wellental zu verankern.



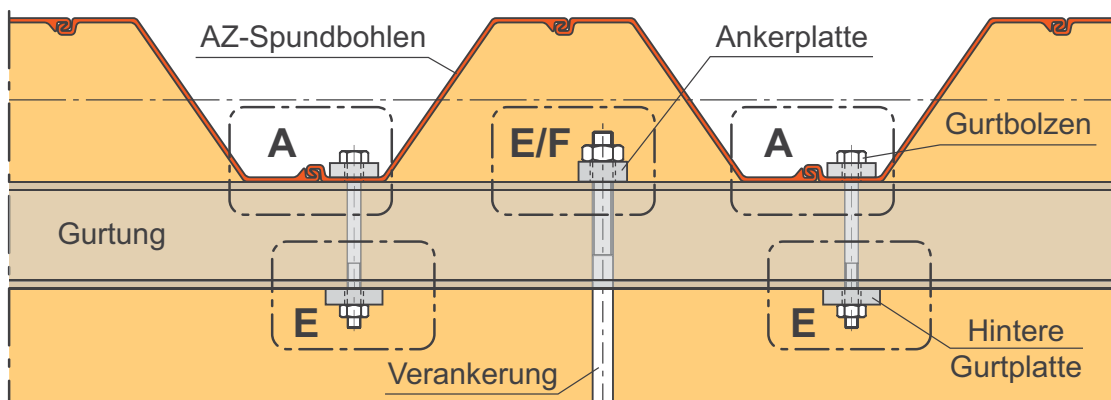
### 4.3.2 Verankerung mit Gurtung

Die Doppelbohlen sind mit Bolzen an die Gurtung angeschlossen. Dabei wird die Gurtung

- zusammen mit jeder n-ten Doppelbohle vor der AZ<sup>®</sup>-Spundwand exzentrisch verankert



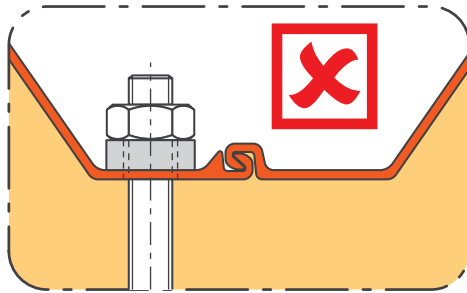
- oder konventionell hinter der AZ<sup>®</sup>- Spundwand verankert



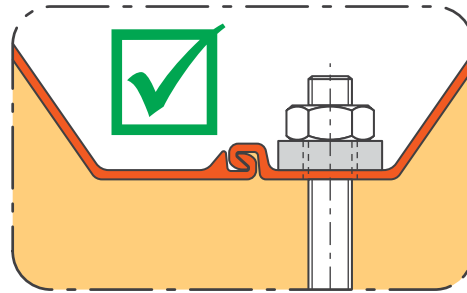
## 4.4 Ankerplatten & Gelenkscheiben

### 4.4.1 Anordnung und Abmessungen der Ankerplatten

Wichtig: In allen Fällen sind die Ankerplatten und vorderen Bolzenplatten an dem Flansch mit dem gebogenen Schloss anzubringen!



Falsch

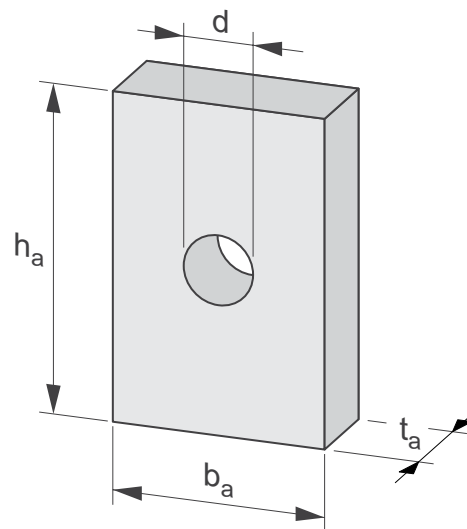
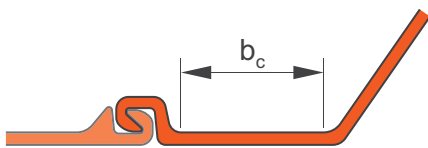


Richtig



Richtige Anordnung der Ankerplatte

Vorgeschlagene Ankerplattenabmessungen: gemäß Tabelle 2.



Ankerplatte

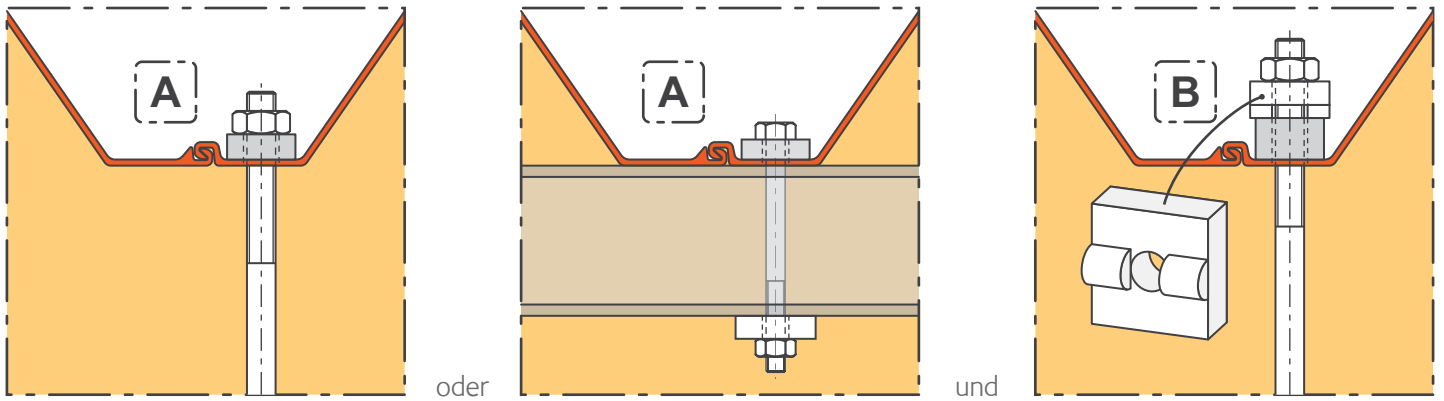
### 4.4.2 Nachweis der Ankerplatten

Für die Ankerplatte ist ein Biegenachweis zu führen; dabei ist je nach Anwendung Fall **A** bis **F** zu unterscheiden.

Bei geneigten Ankern sind zur Einleitung der Vertikalkomponente in die Spundwand entsprechende

konstruktive Vorkehrungen zu treffen und zusätzliche Nachweise zu führen. Werden bei größeren Neigungen sogenannte „Ankerstühle“ vorgesehen, muss die Anwendbarkeit von Fall zu Fall untersucht werden.

4.4.2.1 Nachweis der Ankerplatte ohne Gurtung, bzw. vordere Bolzenplatte für Gurtanschluss: Fall **A** und **B**.



Plattenbreite  $b_a$ :  $0,90 \cdot b_c \leq b_a \leq b_c$

Plattenhöhe  $h_a$ :  $h_a \leq 2,5 \cdot b_a$

Plattendicke  $t_a$ :  $t_a = \begin{cases} \geq 40 \text{ mm} & (*) \\ \geq 2 \cdot t_f \\ \geq d_A / 3 \end{cases}$

$b_c$  Flanschbreite des AZ®-Profils (zwischen Ausrundungsradien), gemäß Tabelle 1

$t_f$  Flanschdicke des AZ®-Profils, gemäß Tabelle 1

$d_A$  Nenndurchmesser des Bolzens / Ankers

Bemessung der Ankerplatte:

$$F_{Ed} \leq F_{M, V, Rd} = \frac{4}{3} (b_a - d) \cdot X \cdot \left[ \sqrt{1 + 3 \left( \frac{t_a}{X} \right)^2} - 1 \right] \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (**)$$

**A** mit Mutter  $X = h_a - d'$

**B** mit Gelenkscheibe  $X = h_a$

Nachweis der lokalen Lasteinleitung:

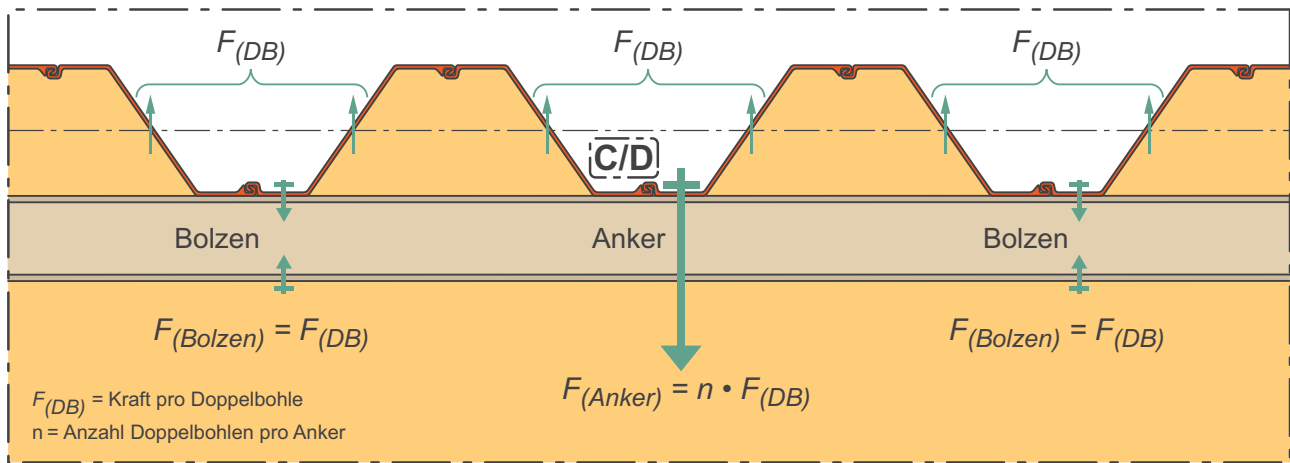
für **A**:  $F_{Ed} \leq F_{Rd, l} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} (d_{SG}^2 - d^2) \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \leq \frac{1}{\sqrt{3}} \pi \cdot d \cdot t_a \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

für **B**: Die Stahlsorte der Ankerplatte muss mindestens die Festigkeitsklasse der Stahlsorte der Gelenkplatte haben.

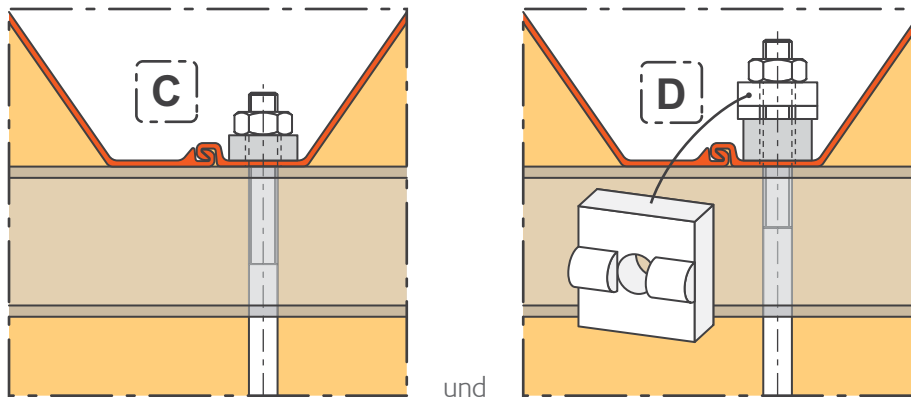
(\*) gemäß [1] empfohlene Plattenstärke  $t_a \geq 40$  mm für eine optimale Lasteinleitung

(\*\*) Entspricht Formel (3 - 13 und 3 - 15) aus der Zulassung.

#### 4.4.2.2 Nachweis der Ankerplatte mit Gurtung: Fall **C** und **D**



Maßgebende Bolzen- Ankerkräfte für Nachweis der Ankerplatten



Plattenbreite  $b_a$ :  $0,90 \cdot b_c \leq b_a \leq b_c$

Plattenhöhe  $h_a$ :  $h_a \leq 2,5 \cdot b_a$

Plattendicke  $t_a$ :  $t_a = \begin{cases} \geq 40 \text{ mm} & (*) \\ \geq 2 \cdot t_f \\ \geq d_A / 3 \end{cases}$

Bemessung der Ankerplatte:

$$F_{Ed} \leq F_{M, V, Rd} = \frac{4}{3} (b_a - d) \cdot \frac{n}{2n-1} \cdot X \cdot \sqrt{1 + 3 \left( \frac{t_a}{X} \right)^2 - 1} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (***)$$

**C** mit Mutter  $X = \frac{h_a - d' + 2(n-1)(s - d')}{2n-1}$   
**D** mit Gelenkscheibe  $X = \frac{h_a + 2(n-1)s}{2n-1}$

Nachweis der lokalen Lasteinleitung:

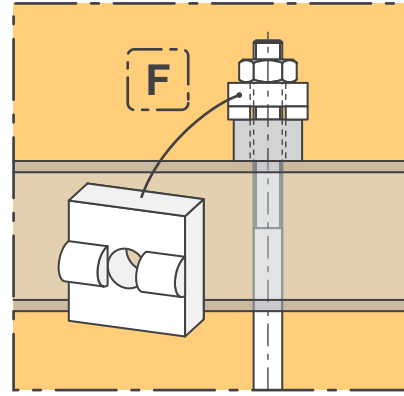
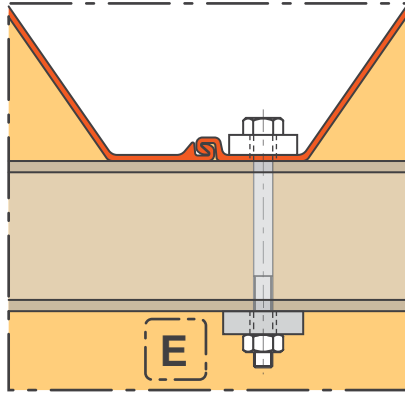
für **C**:  $F_{Ed} \leq F_{Rd,l} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} (d_{SG}^2 - d^2) \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \leq \frac{1}{\sqrt{3}} \pi d t_a \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

für **D**: Die Stahlsorte der Ankerplatte muss mindestens die Festigkeitsklasse der Stahlsorte der Gelenkplatte haben.

(\*) gemäß [1] empfohlene Plattenstärke  $t_a \geq 40 \text{ mm}$  für eine optimale Lasteinleitung

(\*\*\*) Die Bemessungsformel ist nicht Gegenstand der Zulassung und ist aus [2] hergeleitet.

4.4.2.3 Nachweis der vorderen Ankerplatte bzw. hinteren Gurtplatte: Fall **E** und **F**.



Plattenbreite  $b_a$ :  $b_a \leq 1,5 \cdot h_a$

Plattendicke  $t_a$ :  $t_a \geq d_A / 3$

Bemessung der Ankerplatte:

$$F_{Ed} \leq F_{M, V, Rd} = \frac{2}{3} (b_a - d) \cdot X \cdot \left[ \sqrt{1 + 3 \left( \frac{t_a}{X} \right)^2} - 1 \right] \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (***)$$

- |          |                   |              |
|----------|-------------------|--------------|
| <b>E</b> | mit Mutter        | $X = s - d'$ |
| <b>F</b> | mit Gelenkscheibe | $X = s$      |

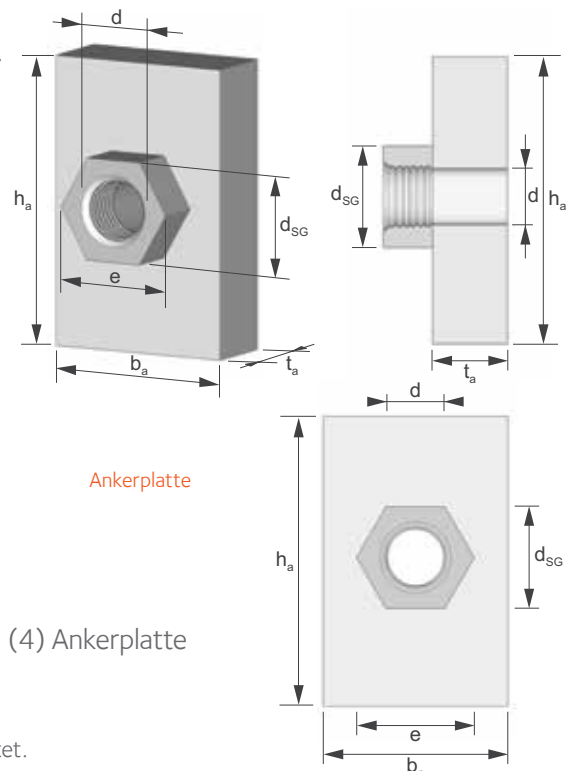
Nachweis der lokalen Lasteinleitung:

für **E**: 
$$F_{Ed} \leq F_{Rd, l} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} (d_{SG}^2 - d^2) \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \leq \frac{1}{\sqrt{3}} \pi d_{SG} t_a \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

für **F**: Die Stahlsorte der Ankerplatte muss mindestens die Festigkeitsklasse der Stahlsorte der Gelenkplatte haben.

mit:

- |                         |  |
|-------------------------|--|
| $F_{Ed}$                | Horizontalkomponente der Ankerlast                               |
| $b_a, h_a, t_a$         | Plattenbreite, -höhe und -dicke                                  |
| $f_y$                   | Streckgrenze der Stahlsorte der Platte                           |
| $d' = (d_{SG} + d) / 2$ | Belastungsringdurchmesser, gemäß Tabelle 6                       |
| $d_{SG}$                | Schlüsselweite der Mutter  |
| $d$                     | Lochdurchmesser der Ankerplatte                                  |
| $n$                     | Anzahl der zu verankernden Doppelbohlen                          |
| $s$                     | Spreizung der ][ Gurtung   |
| $e$                     | Eckmaß der Mutter  |
| $\gamma_{M0}$           | Teilsicherheitsbeiwert gemäß EN1993-5 Abs. 5.1.1 (4) Ankerplatte |



(\*\*\*) Diese Bemessungsformel ist nicht Gegenstand der Zulassung und ist aus [2] hergeleitet.

### 4.4.3 Nachweis der Gelenkscheibe (\*)

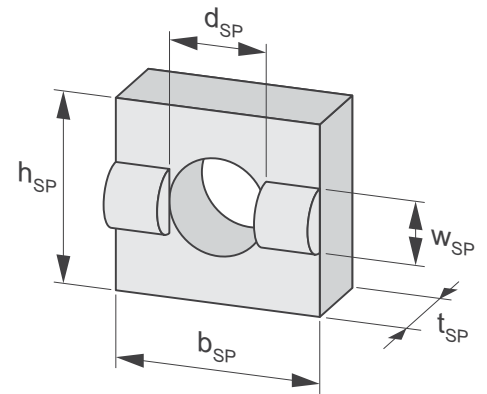
#### Erforderliche Nachweise

- Nachweis der lokalen Lasteinleitung:

$$F_{Ed} \leq F_{Rd,l} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} (d_{SG}^2 - d_{SP}^2) \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \leq \frac{1}{\sqrt{3}} \pi d_{SG} t_{SP} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

- Bemessung der Halbrundung:

$$F_{Ed} \leq F_{loc,Rd} = w_{SP} (c - d_{loc}) \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad d_{loc} = \max \left\{ \begin{array}{l} d \\ d_{SP} \end{array} \right.$$



Gelenkscheibe nach [3]

mit:

$e$  Eckmaß der Mutter

$d$  Lochdurchmesser der Ankerplatte

$c$  Lasteinleitungslänge über Gelenkplatte einschließlich Lochdurchmesser

$$b_a \geq b_{SP}: \quad c = b_{SP} \quad (\text{Abb.1})$$

$$b_a < b_{SP}: \quad c = b_a \quad (\text{Abb.2})$$

Plattenbreite  $b_{SP}$ :  $b_{SP} \leq d_{SG} + 2t_{SP} \geq e$

Plattenhöhe  $h_{SP}$ :  $h_{SP} \leq d_{SG} + 2t_{SP} \geq e$

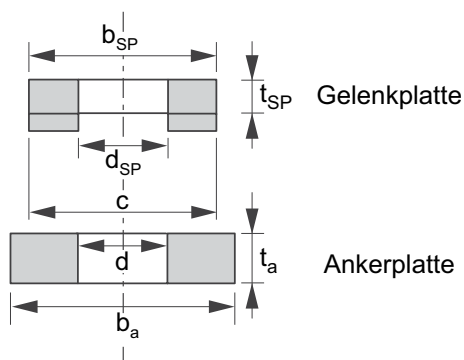
Plattendicke  $t_{SP}$ :  $t_{SP} \geq d_A / 2$

$w_{SP}$  Durchmesser der Halbrundung

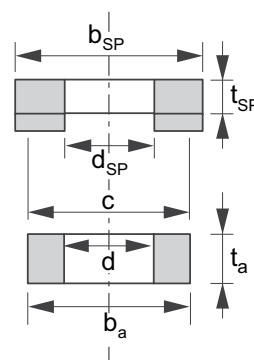
$d_{SP}$  Lochdurchmesser der Gelenkscheibe

$f_y$  Streckgrenze der Stahlsorte der Gelenkscheibe

(Abb.1)



(Abb.2)



(\*) Diese Nachweise sind nicht Gegenstand der Zulassung und sind aus [2] hergeleitet.

## 4.5 Stahlspundwand

### 4.5.1 Exzentrizitätsfaktor $\alpha_{ec}$

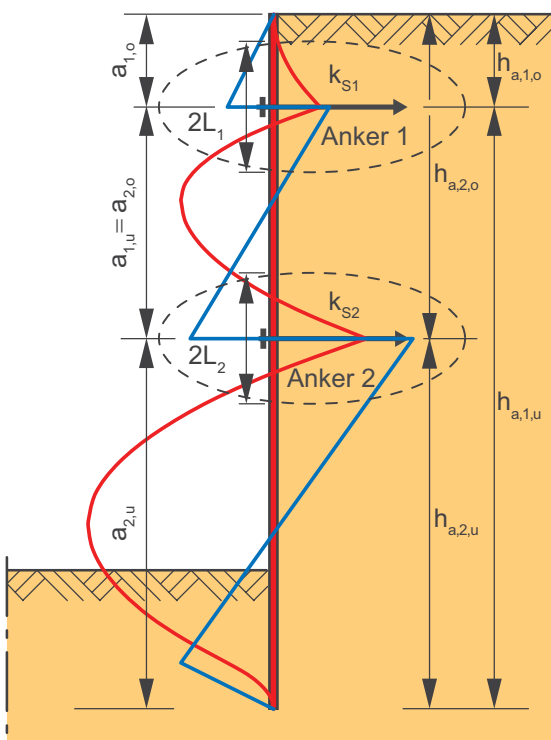
Die Effekte der Plattenquerbiegung infolge exzentrischer Verankerung auf die Gesamttragfähigkeit der Spundwand sind beim Nachweis der Querschnittstragfähigkeit und der Stabilität zu berücksichtigen. Zusätzlich muss der Nachweis der lokalen Lastenleitung geführt werden.

Berücksichtigt werden diese Effekte mit dem Exzentrizitätsfaktor  $\alpha_{ec}$ . Für Querschnitts- und Stabilitätsnachweis wird die Widerstandsseite mit dem Faktor  $\beta_{ec}$  reduziert.

Bei mehrfacher Verankerung sind die Faktoren  $\alpha_{ec,i}$  und  $\beta_{ec,i}$  für jede Ankerlage getrennt zu bestimmen.

Exzentrizitätsfaktor  $\alpha_{ec,i}$  für die Ankerstelle „i“:

$$\alpha_{ec,i} = \frac{1}{1 + \frac{C_{sym,i}}{\zeta_{ec,i} C_{ant}}}$$



Maßgebende Ankerlagen

mit:  $C_{sym,i} = k_{s,i} \cdot \frac{L_i + 3h_{a,i}}{2}$  (\*) für  $\frac{h_{a,i}}{L_i} < 1,0$

bzw.  $C_{sym,i} = k_{s,i} \cdot 2L_i$  (\*\*) für  $\frac{h_{a,i}}{L_i} \geq 1,0$

$$L_i = \sqrt[4]{4 \frac{EI}{k_{s,i}}}$$

$$a_i = \min \begin{pmatrix} a_{i,o} \\ a_{i,u} \end{pmatrix} \quad h_{a,i} = \min \begin{pmatrix} h_{a,i,o} \\ h_{a,i,u} \end{pmatrix}$$

$h_{a,i,o}$ ,  $h_{a,i,u}$ ,  $a_{i,o}$ ,  $a_{i,u}$  siehe Zeichnung „Maßgebende Ankerlage“

$k_{s,i}$  = Steifemodul des Bodens an der Ankerstelle „i“  
(über die Länge  $2L_i$  gemittelt)

Anhaltswerte für  $k_s$ : siehe Tabelle 3

und:  $\zeta_{ec,i} = 0,3 + \frac{7a_i}{3L_{ec}}$  für  $\frac{a_i}{L_{ec}} < 0,3$

$\zeta_{ec,i} = 1,0$  für  $\frac{a_i}{L_{ec}} \geq 0,3$

mit:  $L_{ec}$  = profilabhängige Referenzlänge (siehe Seite 16)

$C_{ant}$  = profilabhängige Verdrehungssteifigkeit [MN/m<sup>2</sup>]

$EI$  = Biegesteifigkeit der Spundwand [MNm<sup>2</sup>/m]

gemäß Tabelle 1

Anmerkungen:  $k_s$  sollte immer nach oben abgeschätzt werden

$$\alpha_{ec,i} \leq 0,70 \quad (***)$$

Die obigen Formeln für  $\alpha_{ec}$  sind in Tabelle 4 ausgewertet. Hierbei wurde die Ankerlage nicht berücksichtigt; es wurde auf der sicheren Seite der kleinste Faktor tabelliert.

Die Bestimmung von  $\alpha_{ec}$  bei ausschließlich hydrostatischer Belastung ist nicht Bestandteil dieser Broschüre und kann in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-14.4-505, Anhang A nachgelesen werden.

(\*) Entspricht Formel (A - 2) aus der Zulassung

(\*\*) Entspricht Formel (A - 3) aus der Zulassung

(\*\*\*) Abweichend vom Zulassungstext:  $\alpha_{ec}$  wurde auf der sicheren Seite begrenzt.



## 4.5.2 Abminderungsfaktor $\beta_{ec,0,i}$ für die jeweilige Ankerlage ( $\beta_{ec,0,1}$ , $\beta_{ec,0,2}$ , usw.)

Abminderungsfaktor für die Ankerstelle „i“:

$$\beta_{ec,0,i} = \sqrt{1 - \frac{(1 - \alpha_{ec,i})}{\zeta_{ec,i}} \frac{F'_{Ed,i}}{F_{ec}}}$$

mit:  $\alpha_{ec,i}$  Exzentrizitätsfaktor an der Ankerstelle

$F'_{Ed,i}$  Horizontalkomponente der vorhandenen Ankerlast pro Meter Wand

$F_{ec}$  Referenzlast für Querbiegung der AZ®-Bohle (gemäß Tabelle 1 für S 355 GP)

Mit  $\beta_{ec,0,i}$  wird dann, je nach Lage eines Bemessungspunktes,  $\beta_{ec,i}$  bestimmt (siehe Abs. 4.5.4 und 4.5.5).

Für andere Stahlgüten kann die Referenzlast ermittelt werden mit:  $F_{ec} = F_{ec,355} \cdot f_y / 355$

Hinweis: Für Stützwände mit einer Kombination von exzentrischer Verankerung mit mittiger Verankerung oder Stützung durch Riegel, ist an den Stellen der mittigen Verankerung oder der Riegelstützung ein Faktor  $\beta_{ec} = 1,0$  anzusetzen.

## 4.5.3 Nachweis der AZ®-Spundwand gegen lokale Lasteinleitung

Der maßgebende Widerstand der Spundwand gegen die lokale Lasteinleitung ist an jeder exzentrischen Verankerungsstelle nachzuweisen:

$$F_{Ed,i} \leq R_{Rd,ec,AZ,i} = \min \begin{pmatrix} F_{L,Rd,i} \\ R_{tw,Rd,i} \\ R_{Vf,Rd,i} \end{pmatrix} \quad \text{mit:}$$

$F_{L,Rd,i} = \frac{K_L (h_a + 2b_a) f_y}{(1 - \alpha_{ec,i}) \gamma_{M0}}$	Schlosszugkraft
$R_{tw,Rd,i} = \frac{t_w h_a f_y (1 + \alpha_{ec,i})}{\gamma_{M0}}$	Zugkraft im Steg
$R_{Vf,Rd,i} = \frac{t_f (h_a + b_a) f_y (1 + \alpha_{ec,i})}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$	Durchstanzen des Flansches

wobei:

$F_{Ed,i} = F'_{Ed,i} \cdot B$  = aufzunehmende Ankerlast pro Doppelbohle

$F'_{Ed,i}$  = aufzunehmende Ankerlast (Horizontalkomponente), pro laufendem Meter

$B$  = Profilbreite (Doppelbohle), gemäß Tabelle 1

$t_f, t_w$  = Flansch- und Stegdicke, gemäß Tabelle 1

$K_L$  = Schlosskennwert, gemäß Tabelle 1

$f_y$  = Streckgrenze der AZ Bohlen

$b_a, h_a$  = Plattenbreite und -höhe

$\alpha_{ec,i}$  = Exzentrizitätsfaktor an der jeweiligen Ankerstelle

Die obige Formel für  $F_{L,Rd,i}$  und insbesondere der profilabhängige Kennwert  $K_L$  sind aus Formel (3-12) aus dem Zulassungstext hergeleitet.

Die obigen Formeln sind in der Tabelle 5 ausgewertet für Spundwandprofile in Stahlgüte S 355 GP und  $\gamma_{M0} = 1,0$ .

Für andere Stahlgüten kann der Widerstand ermittelt werden mit  $R_{Rd,ec,AZ} = R_{Rd,ec,AZ,355} \cdot f_y / 355$

## 4.5.4 Nachweise der Spundwand an der Verankerungsstelle

### 4.5.4.1 Nachweis für Beanspruchungen aus Biegung und Querkraft

Nachweis:  $M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$  mit:  $M_{c,Rd} = \beta_{ec,i} W_{pl,Net} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$  (\*) für Klasse 1-2

$M_{c,Rd} = \beta_{ec,i} W_{el,Net} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$  (\*) für Klasse 3

und:  $V_{Ed} \leq V_{pl,Rd} = \beta_{ec,i} \frac{A_V}{\sqrt{3}} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

sowie für:  $\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} > 0,50$   $M_{Ed} \leq M_{V,Rd} = \beta_{ec,i} (W_{pl,Net} - \rho \cdot W_{web}) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$  mit:  $\rho = \left(2 \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1\right)^2$

aber:  $M_{V,Rd} \leq M_{c,Rd}$

mit:

$b$  Breite einer Spundwandeinzelbohle

$M_{Ed}$  Biegemoment an der zu untersuchenden Stelle

$V_{Ed}$  Querkraft an der zu untersuchenden Stelle

$W_{pl,Net}, W_{el,Net}$  reduziertes plastisches bzw. elastisches Widerstandsmoment der AZ-Bohle

$A_V$  Schubfläche der AZ-Bohle, gemäß Tabelle 1

$W_{web}$  Widerstandsmoment des Steges, gemäß Tabelle 1

$$\left( = \frac{A_V^2}{4t_w \sin \alpha} \cdot b \right)$$

$t_w$  Stegdicke der AZ-Bohle, gemäß Tabelle 1

$\alpha$  Stegwinkel der AZ-Bohle, gemäß Tabelle 1

$f_y$  Streckgrenze der AZ-Bohle

$\beta_{ec,i}$  Abminderungsfaktor an der Ankerstelle; für den Nachweis direkt an der Ankerstelle:  $\beta_{ec,i} = \beta_{ec,0,i}$

Reduzierung der Widerstandsmomente infolge Lochschwächung:

$$W_{pl,Net} = W_{pl} \cdot r_{W,pl}$$

$$r_{W,pl} = 1,0 - 0,8 \cdot d$$

$$W_{el,Net} = W_{el} \cdot r_{W,el}$$

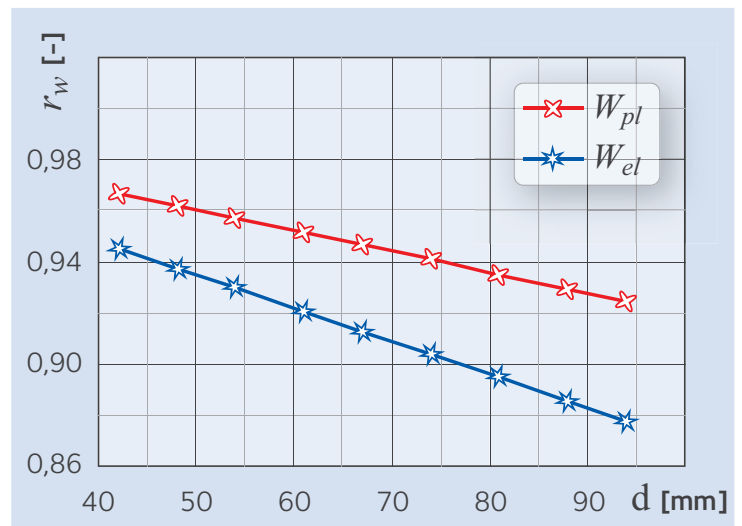
$$r_{W,el} = 1,0 - 1,3 \cdot d$$

mit:

$W_{pl}, W_{el}$  plastisches bzw. elastisches Widerstandsmoment der AZ-Bohle [cm<sup>3</sup>/m], gemäß Tabelle 1

$r_w$  dimensionsloser Faktor zur Berücksichtigung der Querschnittsschwächung an der Ankerstelle

$d$  Lochdurchmesser in der AZ-Bohle [m], (d entspricht dem Lochdurchmesser in der Ankerplatte gemäß Tabelle 6)



(\*) Hinweis: Die Reduzierung auf  $W_{pl,Net}$  bzw.  $W_{el,Net}$  (infolge Lochschwächung) ist nicht im Zulassungstext enthalten, sollte aber sicherheitshalber berücksichtigt werden.

#### 4.5.4.2 Nachweis für Beanspruchungen aus Normalkraft, Biegung und Querkraft

ist:  $N_{Ed} > 0,1 \cdot N_{pl,Rd}$  dann:  $M_{Ed} \leq M_{N,Rd} \leq M_{c,Rd}$

mit:  $M_{N,Rd} = 1,11 \cdot M_{c,Rd} \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}\right)$  für Klasse 1-2

$M_{N,Rd} = M_{c,Rd} \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}\right)$  für Klasse 3

ist:  $V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$  dann:  $M_{Ed} \leq M_{N,Rd} \leq M_{c,Rd}$

ist:  $V_{Ed} > 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$  dann:  $M_{Ed} \leq M_{N,Rd} \cdot \frac{f_{y,red}}{f_y} \leq M_{c,Rd}$

mit:  $f_{y,red} = (1-\rho) \cdot f_y$

mit:

$N_{pl,Rd}$  Bemessungswert des plastischen Querschnittwiderstandes  $\left(N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}\right)$

$N_{Ed}$  Normalkraft an der zu untersuchenden Stelle

Es ist zu beachten, dass die Normalkraft aus der vertikalen Komponente der Verankerung nur auf einen Z-Spundbohlenquerschnitt pro Doppelbohle angesetzt werden darf, solange keine zusätzlichen Maßnahmen zur Übertragung der Längskräfte in den Schlössern vorgesehen sind. Um die verschiedenen Normalkraftkomponenten zu berücksichtigen und die Spundwandbohle pro Meter zu bemessen schlagen wir folgende Vorgehensweise vor:

$$N_{Ed} = \frac{2 \cdot N_{Ed, Anker}}{B} + N'_{Ed,Q}$$

mit:

$N_{Ed, Anker}$  Normalkraft aus der vertikalen Komponente der Verankerung [kN]

$B$  Breite einer Doppelbohle nach Tabelle 1

$N'_{Ed,Q}$  Normalkraft aus anderen Lasten als der Ankerkraft an der zu untersuchenden Stelle [kN/m]

### 4.5.5 Nachweis der Spundwand im Feldbereich

Es sind die gleichen Nachweise wie an der Verankerungsstelle (siehe 4.5.4) zu führen, nur mit geänderten Abminderungsfaktor  $\beta_{ec,i}$ :

$$\beta_{ec,i} = \beta_{ec,F}$$

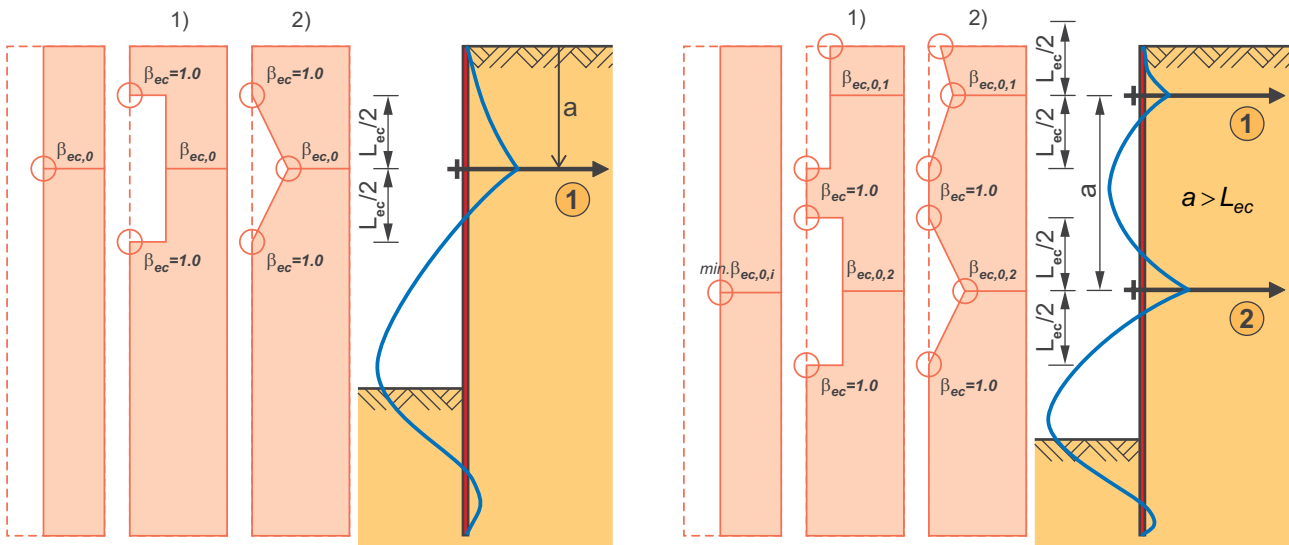
#### Hinweise

Soweit keine andere Querschnittsschwächung im Feldbereich vorliegt, können hier die Bruttoquerschnittswerte angesetzt werden.

Vereinfachend (und auf der sicheren Seite liegend) kann als Faktor  $\beta_{ec,F}$  für den Nachweis im Feldbereich (oberhalb/unterhalb/zwischen Ankerlagen) der kleinste der für die angrenzenden Ankerstellen geltenden  $\beta_{ec,i}$ -Werte angesetzt werden  $\beta_{ec,F} = \min \beta_{ec,i}$  (Bei nur einer Ankerlage oder  $a > L_{ec}$ :  $\min \beta_{ec,i} = \min \beta_{ec,0,i}$ )

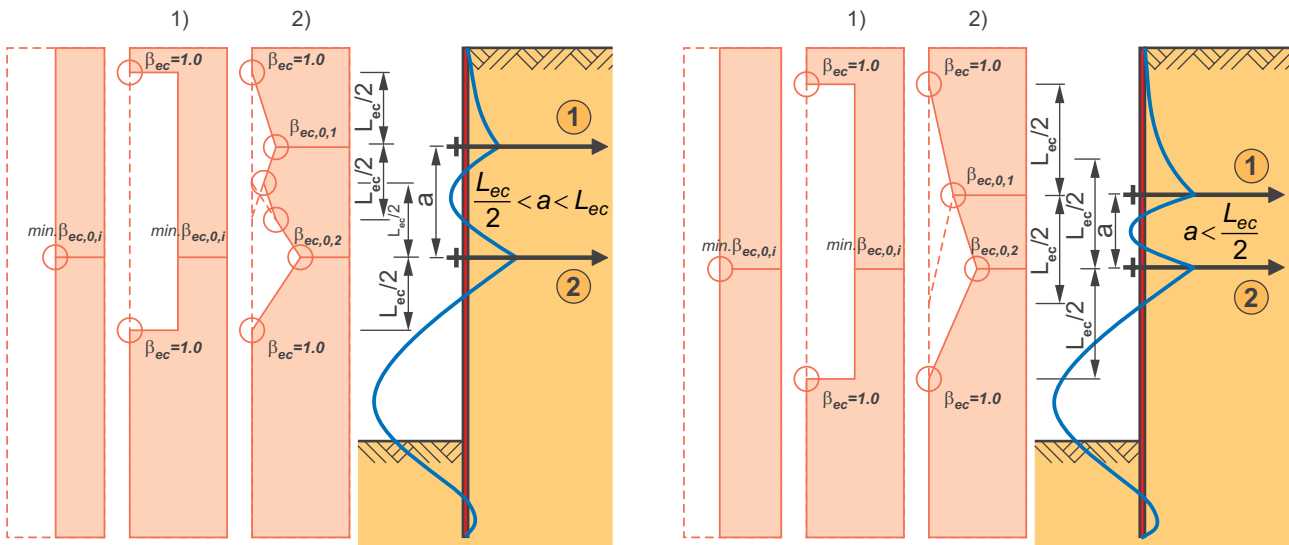
Günstigere Werte können wie folgt bestimmt werden:

- 1) Abminderungsfaktor  $\beta_{ec,F} = \beta_{ec,0,i}$  ist konstant jedoch nur über die profilspezifische Einflusslänge  $L_{ec}$
- 2) Lineare Interpolation im Bereich der Einflusslänge  $L_{ec}$ , mit  $\beta_{ec,0,i} \leq \beta_{ec,F} \leq 1,0$ .



Liegen die Anker so nahe aneinander dass die Einflussbereiche  $L_{ec}$  sich überschneiden so kann

- 1) für den ganzen Bereich der Einflusslänge  $L_{ec}$  der kleinste Wert angesetzt werden,
- 2) gemäß folgender Prinzipskizzen im Bereich der Einflusslängen  $L_{ec}$  linear interpoliert werden.



### 4.5.6 Stabilitätsnachweis

Bei der Bestimmung der Beanspruchbarkeit bei Stabilitätsversagen darf die Biegesteifigkeit der gesamten Spundwand angesetzt werden auch wenn die vertikale Komponente der Ankerlast nur in jeder zweiten Spundbohle eingeleitet wird.

Beim Knicknachweis gemäß dem Ersatzstabverfahren nach DIN EN 1993-5 ist die Abminderung der Bemessungswerte für die Widerstände  $M_{c,Rd}$  und  $V_{pl,Rd}$  entsprechend Abschnitt 4.5.4 und 4.5.5 zu berücksichtigen.



Tabelle 2 – Vorgeschlagene Ankerplattenabmessungen

AZ Serie	Ankerplattenbreite		Vorgeschlagene Abmessung	
	min $b_a$	max $b_a$	$b_a$	$h_a$ (*)
AZ 20-800	157	174	170	365
AZ 25-800	159	176	170	290
AZ 30-750	155	172	170	270
AZ 13-770	133	147	140	350
AZ 13-700	135	149	145	350
AZ 18-700	132	146	140	300
AZ 26-700	126	140	135	230
AZ 38-700N	148	164	160	240
AZ 44-700N	150	166	160	215
AZ 50-700	153	170	165	215
AZ 18	133	147	140	280
AZ 26	119	132	130	325
AZ 48	133	147	145	360

mit:  $t_a = 50$  mm

(\*)  $h_a \leq 2,5 \cdot b_a$

Tabelle 4 – Exzentrizitätsfaktor  $\alpha_{ec}$

Eingangsparameter ist die Bodensteifigkeit  $k_s$  an der Ankerstelle,  $k_s$  sollte immer nach oben abgeschätzt werden

$\alpha_{ec} \leq 0,70$  (siehe Seite 16)

Profil	$k_s$ [MN/m <sup>3</sup> ]					
	5	10	40	80	100	150
AZ 18-800	0,41	0,28	0,10	0,06	0,05	0,03
AZ 20-800	0,47	0,34	0,13	0,07	0,06	0,04
AZ 22-800	0,53	0,40	0,16	0,09	0,08	0,06
AZ 23-800	0,45	0,33	0,13	0,07	0,06	0,04
AZ 25-800	0,51	0,38	0,16	0,09	0,08	0,06
AZ 27-800	0,56	0,43	0,20	0,12	0,10	0,07
AZ 28-750	0,53	0,40	0,17	0,10	0,08	0,06
AZ 30-750	0,58	0,45	0,21	0,12	0,10	0,07
AZ 32-750	0,63	0,50	0,25	0,15	0,13	0,09
AZ 12-770	0,41	0,29	0,13	0,08	0,06	0,04
AZ 13-770	0,44	0,32	0,14	0,09	0,07	0,05
AZ 14-770	0,48	0,35	0,16	0,10	0,09	0,06
AZ 14-770-10/10	0,50	0,38	0,18	0,11	0,10	0,07
AZ 12-700	0,58	0,45	0,19	0,11	0,09	0,07
AZ 13-700	0,64	0,52	0,24	0,14	0,12	0,09
AZ 13-700-10/10	0,67	0,55	0,27	0,16	0,14	0,10
AZ 14-700	0,69	0,57	0,29	0,18	0,15	0,11
AZ 17-700	0,45	0,33	0,15	0,09	0,07	0,05
AZ 18-700	0,48	0,36	0,16	0,10	0,08	0,06
AZ 19-700	0,52	0,39	0,19	0,12	0,10	0,07
AZ 20-700	0,54	0,42	0,20	0,13	0,11	0,08
AZ 24-700	0,63	0,50	0,26	0,16	0,14	0,10
AZ 26-700	0,67	0,55	0,30	0,20	0,17	0,12
AZ 28-700	0,70	0,59	0,34	0,23	0,20	0,15
AZ 36-700N	0,65	0,52	0,26	0,16	0,13	0,10
AZ 38-700N	0,68	0,56	0,31	0,19	0,16	0,12
AZ 40-700N	0,70	0,60	0,35	0,22	0,19	0,14
AZ 42-700N	0,70	0,64	0,39	0,26	0,22	0,16
AZ 44-700N	0,70	0,68	0,42	0,29	0,25	0,19
AZ 46-700N	0,70	0,70	0,46	0,33	0,28	0,21
AZ 48-700	0,70	0,67	0,42	0,29	0,25	0,18
AZ 50-700	0,70	0,70	0,46	0,32	0,28	0,21
AZ 52-700	0,70	0,70	0,49	0,36	0,31	0,24
AZ 18	0,64	0,51	0,25	0,15	0,13	0,09
AZ 18-10/10	0,67	0,55	0,28	0,17	0,14	0,10
AZ 26	0,70	0,67	0,41	0,27	0,23	0,17
AZ 46	0,70	0,70	0,53	0,38	0,33	0,25
AZ 48	0,70	0,70	0,57	0,41	0,36	0,28
AZ 50	0,70	0,70	0,61	0,45	0,40	0,32

Tabelle 3 – Steifemoduli  $k_s$

Boden	$k_s$ [MN/m <sup>3</sup> ]
Torf	2
Ton, Schluff, Klei	5
Lehm	10
Sand locker	40
Sand mitteldicht	80
Sand dicht	150
Kies	100

Anmerkungen:  $k_s$  sollte immer nach oben abgeschätzt werden.

## Tabelle 5 – Widerstand der Spundwand gegen lokale Lasteinleitung

Eingangsparameter: Gewählte Plattengröße und systembedingter Exzentrizitätsfaktor  
 $\gamma_{M0} = 1,0$ ; Stahlgüte der Bohle S 355 GP

Profil	Platte $b_a \times h_a$ [mm x mm]	$R_{Rd,ec,AZ,355}$ [kN/DB] <sup>(*)</sup>							
		$\alpha_{ec}$ [-]							
		0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
AZ 18-800	170 x 220	409	455	511	584	682	818	1023	1129
	170 x 240	424	471	530	605	706	847	1059	1214
	170 x 260	438	487	548	626	730	877	1096	1274
	170 x 280	453	503	566	647	755	906	1132	1333
	170 x 300	467	519	584	668	779	935	1169	1392
AZ 20-800	170 x 220	410	456	512	586	683	820	1025	1261
	170 x 240	425	472	531	607	708	849	1062	1357
	170 x 260	439	488	549	628	732	879	1098	1423
	170 x 280	454	504	567	648	756	908	1135	1490
	170 x 300	469	521	586	669	781	937	1171	1556
AZ 22-800	170 x 220	411	457	514	587	685	822	1027	1370
	170 x 240	426	473	532	608	709	851	1064	1419
	170 x 260	440	489	550	629	734	880	1101	1467
	170 x 280	455	505	569	650	758	910	1137	1516
	170 x 300	470	522	587	671	783	939	1174	1565
AZ 23-800	170 x 220	556	618	695	795	927	1054	1125	1195
	170 x 240	576	640	720	823	960	1150	1227	1304
	170 x 260	596	662	745	851	993	1192	1329	1412
	170 x 280	616	684	770	880	1026	1232	1431	1521
	170 x 300	636	706	795	908	1060	1271	1534	1629
AZ 25-800	170 x 220	557	619	697	796	929	1115	1250	1328
	170 x 240	577	641	722	825	962	1155	1363	1448
	170 x 260	597	664	747	853	995	1194	1477	1569
	170 x 280	617	686	771	882	1029	1234	1543	1690
	170 x 300	637	708	796	910	1062	1274	1593	1811
AZ 27-800	170 x 220	559	621	698	798	931	1117	1375	1460
	170 x 240	579	643	723	826	964	1157	1446	1593
	170 x 260	598	665	748	855	997	1197	1496	1726
	170 x 280	618	687	773	883	1031	1237	1546	1859
	170 x 300	638	709	798	912	1064	1277	1596	1992
AZ 28-750	170 x 220	643	715	804	919	1072	1172	1250	1328
	170 x 240	666	740	833	952	1110	1278	1363	1448
	170 x 260	689	766	861	984	1148	1378	1477	1569
	170 x 280	712	791	890	1017	1187	1424	1590	1690
	170 x 300	735	817	919	1050	1225	1470	1704	1811
AZ 30-750	170 x 220	644	716	805	921	1074	1289	1375	1460
	170 x 240	667	742	834	953	1112	1335	1500	1593
	170 x 260	690	767	863	986	1151	1381	1624	1726
	170 x 280	713	793	892	1019	1189	1427	1749	1859
	170 x 300	736	818	921	1052	1227	1473	1841	1992
AZ 32-750	170 x 220	646	717	807	922	1076	1291	1500	1593
	170 x 240	669	743	836	955	1114	1337	1636	1738
	170 x 260	692	769	865	988	1153	1383	1729	1883
	170 x 280	715	794	893	1021	1191	1430	1787	2028
	170 x 300	738	820	922	1054	1230	1476	1845	2173
AZ 12-770	140 x 220	283	314	354	404	472	566	707	943
	140 x 240	294	327	368	420	491	589	736	981
	140 x 260	306	340	382	437	509	611	764	1019
	140 x 280	317	352	396	453	528	634	792	1057
	140 x 300	328	365	410	469	547	657	821	1094
AZ 13-770	140 x 220	283	315	354	405	472	567	709	945
	140 x 240	295	327	368	421	491	589	737	982
	140 x 260	306	340	383	437	510	612	765	1020
	140 x 280	317	353	397	453	529	635	794	1058
	140 x 300	329	365	411	470	548	658	822	1096

(\*) Widerstand  $R_{Rd,ec,AZ,355}$  vorbehaltlich Ankerplattenbemessung

Tabelle 5 – Widerstand der Spundwand gegen lokale Lasteinleitung

Profil	Platte $b_a \times h_a$ [mm x mm]	$R_{Rd,ec,AZ,355}$ [kN/DB] <sup>(*)</sup>							
		$\alpha_{ec}$ [-]							
		0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
AZ 14-770	140 x 220	284	316	355	406	474	568	711	947
	140 x 240	296	328	370	422	493	591	739	985
	140 x 260	307	341	384	439	512	614	767	1023
	140 x 280	318	354	398	455	531	637	796	1061
	140 x 300	330	366	412	471	550	659	824	1099
AZ 14-770-10/10	140 x 220	284	316	355	406	474	568	711	947
	140 x 240	296	328	370	422	493	591	739	985
	140 x 260	307	341	384	439	512	614	767	1023
	140 x 280	318	354	398	455	531	637	796	1061
	140 x 300	330	366	412	471	550	659	824	1099
AZ 12-700	140 x 220	289	321	361	413	481	578	722	963
	140 x 240	300	334	376	429	501	601	751	1001
	140 x 260	312	347	390	446	520	624	780	1040
	140 x 280	324	359	404	462	539	647	809	1078
	140 x 300	335	372	419	479	558	670	838	1117
AZ 13-700	140 x 220	290	322	362	414	483	580	724	966
	140 x 240	301	335	377	431	502	603	753	1005
	140 x 260	313	348	391	447	522	626	782	1043
	140 x 280	325	361	406	464	541	649	811	1082
	140 x 300	336	373	420	480	560	672	840	1120
AZ 13-700-10/10	140 x 220	291	323	363	415	485	581	727	969
	140 x 240	302	336	378	432	504	605	756	1008
	140 x 260	314	349	392	449	523	628	785	1047
	140 x 280	326	362	407	465	543	651	814	1085
	140 x 300	337	375	422	482	562	674	843	1124
AZ 14-700	140 x 220	291	323	363	415	485	581	727	969
	140 x 240	302	336	378	432	504	605	756	1008
	140 x 260	314	349	392	449	523	628	785	1047
	140 x 280	326	362	407	465	543	651	814	1085
	140 x 300	337	375	422	482	562	674	843	1124
AZ 17-700	140 x 220	385	428	482	551	642	771	964	1066
	140 x 240	401	445	501	573	668	802	1002	1125
	140 x 260	416	463	520	595	694	833	1041	1185
	140 x 280	432	480	540	617	719	863	1079	1244
	140 x 300	447	497	559	639	745	894	1118	1303
AZ 18-700	140 x 220	386	429	482	551	643	772	965	1129
	140 x 240	401	446	502	573	669	803	1003	1192
	140 x 260	417	463	521	595	695	834	1042	1254
	140 x 280	432	480	540	617	720	864	1081	1317
	140 x 300	448	497	560	639	746	895	1119	1380
AZ 19-700	140 x 220	387	430	484	553	645	774	967	1192
	140 x 240	402	447	503	575	670	805	1006	1258
	140 x 260	418	464	522	597	696	836	1044	1324
	140 x 280	433	481	542	619	722	866	1083	1390
	140 x 300	449	499	561	641	748	897	1122	1456
AZ 20-700	140 x 220	387	430	484	553	645	774	967	1254
	140 x 240	402	447	503	575	670	805	1006	1324
	140 x 260	418	464	522	597	696	836	1044	1393
	140 x 280	433	481	542	619	722	866	1083	1444
	140 x 300	449	499	561	641	748	897	1122	1496
AZ 24-700	135 x 220	537	597	671	767	895	1074	1304	1385
	135 x 240	559	621	699	798	931	1118	1377	1463
	135 x 260	581	645	726	830	968	1161	1451	1541
	135 x 280	603	670	753	861	1004	1205	1507	1620
	135 x 300	625	694	781	892	1041	1249	1561	1698

(\*) Widerstand  $R_{Rd,ec,AZ,355}$  vorbehaltlich Ankerplattenbemessung



Tabelle 5 – Widerstand der Spundwand gegen lokale Lasteinleitung

Profil	Platte $b_a \times h_a$ [mm x mm]	$R_{Rd,ec,AZ,355}$ [kN/DB] <sup>(*)</sup>							
		$\alpha_{ec}$ [-]							
		0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
AZ 26-700	135 x 220	538	598	673	769	897	1076	1345	1509
	135 x 240	560	622	700	800	933	1120	1400	1594
	135 x 260	582	647	727	831	970	1164	1455	1679
	135 x 280	604	671	755	863	1007	1208	1510	1764
	135 x 300	626	695	782	894	1043	1252	1565	1849
AZ 28-700	135 x 220	539	599	674	770	899	1078	1348	1633
	135 x 240	561	624	702	802	935	1122	1403	1725
	135 x 260	583	648	729	833	972	1166	1458	1817
	135 x 280	605	673	757	865	1009	1211	1513	1909
	135 x 300	627	697	784	896	1045	1255	1568	2001
AZ 36-700N	160 x 220	663	737	829	948	1106	1312	1400	1487
	160 x 240	688	764	860	983	1147	1376	1527	1622
	160 x 260	713	792	891	1018	1188	1425	1654	1757
	160 x 280	737	819	921	1053	1229	1474	1781	1893
	160 x 300	762	846	952	1088	1270	1523	1904	2028
AZ 38-700N	160 x 220	665	739	831	950	1108	1330	1525	1620
	160 x 240	689	766	862	985	1149	1379	1663	1767
	160 x 260	714	793	893	1020	1190	1428	1785	1914
	160 x 280	739	821	923	1055	1231	1477	1847	2062
	160 x 300	763	848	954	1090	1272	1527	1908	2209
AZ 40-700N	160 x 220	666	740	833	952	1110	1332	1649	1753
	160 x 240	691	768	863	987	1151	1382	1727	1912
	160 x 260	715	795	894	1022	1192	1431	1789	2071
	160 x 280	740	822	925	1057	1234	1480	1850	2231
	160 x 300	765	850	956	1093	1275	1530	1912	2390
AZ 42-700N	160 x 220	665	738	831	949	1108	1329	1661	1859
	160 x 240	689	766	861	985	1149	1378	1723	2028
	160 x 260	714	793	892	1020	1190	1428	1785	2197
	160 x 280	738	820	923	1055	1231	1477	1846	2366
	160 x 300	763	848	954	1090	1272	1526	1908	2535
AZ 44-700N	160 x 220	666	740	832	951	1110	1332	1665	1992
	160 x 240	691	767	863	987	1151	1381	1726	2173
	160 x 260	715	795	894	1022	1192	1430	1788	2354
	160 x 280	740	822	925	1057	1233	1480	1850	2466
	160 x 300	765	850	956	1092	1274	1529	1911	2549
AZ 46-700N	160 x 220	667	741	834	953	1112	1334	1668	2124
	160 x 240	692	769	865	989	1153	1384	1730	2307
	160 x 260	717	796	896	1024	1194	1433	1792	2389
	160 x 280	741	824	927	1059	1236	1483	1853	2471
	160 x 300	766	851	958	1094	1277	1532	1915	2554
AZ 48-700	165 x 220	682	758	853	975	1137	1365	1706	1992
	165 x 240	707	786	884	1010	1179	1414	1768	2173
	165 x 260	732	813	915	1046	1220	1464	1830	2354
	165 x 280	757	841	946	1081	1261	1513	1892	2522
	165 x 300	782	868	977	1117	1303	1563	1954	2605
AZ 50-700	165 x 220	684	760	855	977	1139	1367	1709	2124
	165 x 240	709	787	886	1012	1181	1417	1771	2317
	165 x 260	733	815	917	1048	1222	1467	1833	2445
	165 x 280	758	842	948	1083	1264	1516	1896	2527
	165 x 300	783	870	979	1119	1305	1566	1958	2610
AZ 52-700	165 x 220	685	761	856	979	1142	1370	1713	2257
	165 x 240	710	789	887	1014	1183	1420	1775	2366
	165 x 260	735	816	919	1050	1225	1470	1837	2449
	165 x 280	760	844	950	1085	1266	1520	1899	2533
	165 x 300	785	872	981	1121	1308	1569	1962	2616

(\*) Widerstand  $R_{Rd,ec,AZ,355}$  vorbehaltlich Ankerplattenbemessung

Tabelle 5 – Widerstand der Spundwand gegen lokale Lasteinleitung

		$R_{Rd,ec,AZ,355}$ [kN/DB] <sup>(*)</sup>							
Profil	Platte $b_a \times h_a$ [mm x mm]	$\alpha_{ec}$ [-]							
		0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
AZ 18	140 x 220	395	439	494	564	658	790	987	1192
	140 x 240	411	456	513	587	684	821	1027	1258
	140 x 260	426	474	533	609	711	853	1066	1324
	140 x 280	442	491	553	632	737	884	1105	1390
	140 x 300	458	509	572	654	763	916	1145	1456
AZ 18-10/10	140 x 220	396	440	495	565	660	792	990	1254
	140 x 240	412	457	515	588	686	823	1029	1324
	140 x 260	428	475	534	611	713	855	1069	1394
	140 x 280	443	493	554	633	739	887	1108	1463
	140 x 300	459	510	574	656	765	918	1148	1531
AZ 26	125 x 220	538	598	672	769	897	1076	1345	1563
	125 x 240	561	623	701	801	935	1122	1402	1653
	125 x 260	584	649	730	834	973	1168	1459	1744
	125 x 280	607	674	758	867	1011	1213	1517	1834
	125 x 300	630	700	787	899	1049	1259	1574	1925
AZ 46	140 x 220	726	807	908	1038	1211	1453	1749	1859
	140 x 240	755	839	944	1079	1259	1511	1888	2028
	140 x 260	784	872	981	1121	1307	1569	1961	2197
	140 x 280	813	904	1017	1162	1356	1627	2034	2366
	140 x 300	843	936	1053	1204	1404	1685	2106	2535
AZ 48	140 x 220	728	809	910	1040	1213	1456	1820	1992
	140 x 240	757	841	946	1081	1262	1514	1892	2173
	140 x 260	786	873	983	1123	1310	1572	1965	2354
	140 x 280	815	906	1019	1164	1359	1630	2038	2535
	140 x 300	844	938	1055	1206	1407	1689	2111	2716
AZ 50	140 x 220	729	810	912	1042	1216	1459	1823	2124
	140 x 240	758	843	948	1084	1264	1517	1896	2317
	140 x 260	788	875	985	1125	1313	1575	1969	2511
	140 x 280	817	908	1021	1167	1361	1634	2042	2704
	140 x 300	846	940	1058	1209	1410	1692	2115	2820

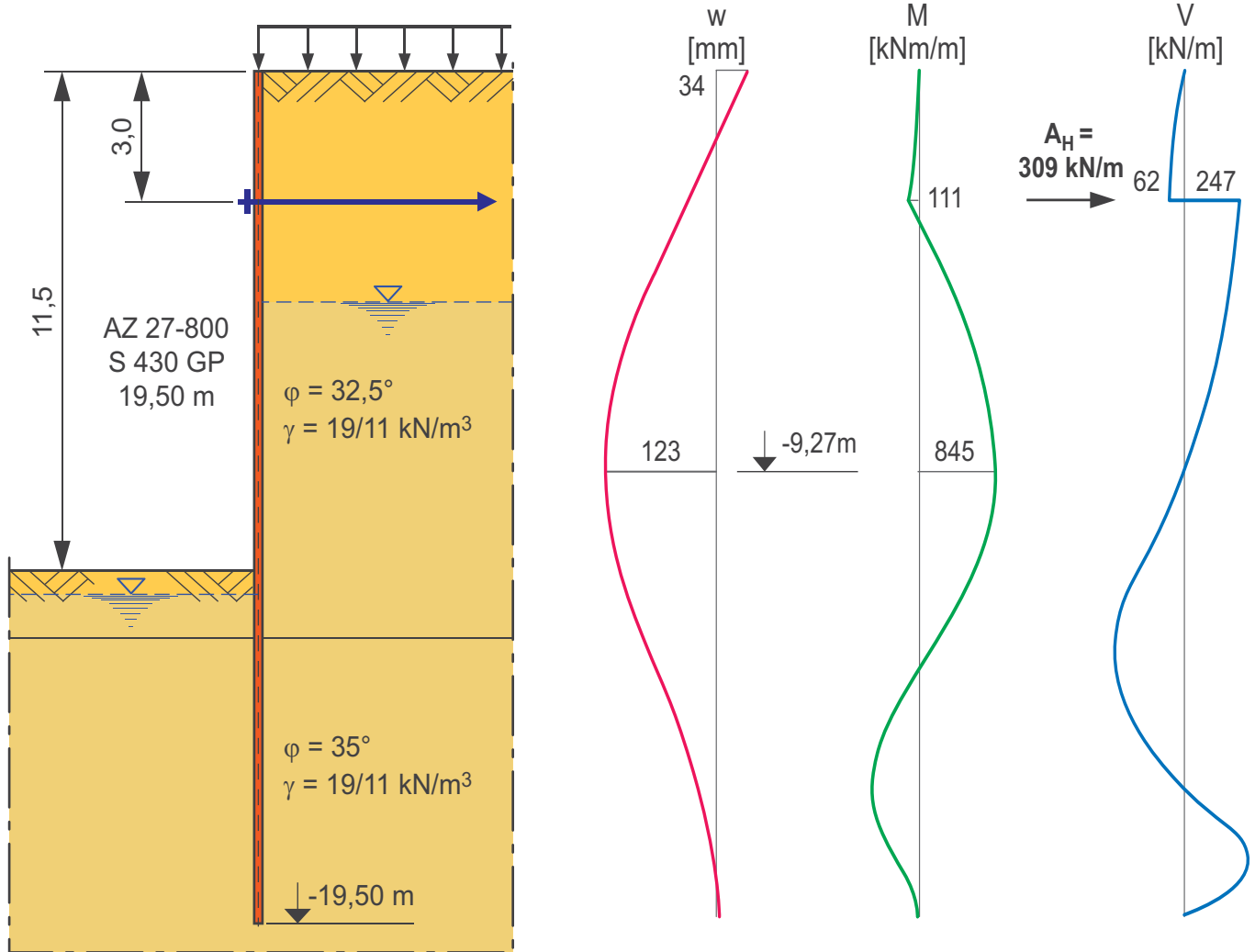
(\*) Widerstand  $R_{Rd,ec,AZ,355}$  vorbehaltlich Ankerplattenbemessung

Tabelle 6 – Ankerplatten und Gelenkscheiben Abmessungen (Anhaltswerte laut [3])

Nenn Durchmesser Anker/Bolzen	Mutter		Ankerplatte mit Mutter		Gelenkscheibe mit Mutter	Ankerplatte mit Gelenkscheibe
	$d_A$ mm	$d_{SG}$ mm	$e$ mm	$d$ mm		
M 36	55	61	39	47	39	43
M 39	60	67	42	51	42	47
M 42	65	73	45	55	45	51
M 45	70	78	48	59	48	55
M 48	75	83	51	63	51	58
M 52	80	89	55	68	55	62
M 56	85	94	59	72	59	67
M 60	90	100	63	77	63	72
M 64	95	106	68	82	68	76
M 68	100	111	72	86	72	82
M 72	105	117	76	91	76	87
M 76	110	123	81	96	81	91
M 80	115	128	85	100	85	93
M 85	120	134	90	105	90	100
M 90	130	145	95	113	95	105
M 95	135	151	100	118	100	110
M 100	145	162	105	125	105	115
M 105	150	168	110	130	110	120
M 110	155	173	115	135	115	125

## 5. Berechnungsbeispiel

### 5.1 System und Beanspruchungen



#### System

Jede zweite Doppelbohle soll verankert werden.

Als Anker sollen Rundstahlanker mit aufgestauchtem Gewinde horizontal, wegen eventueller Setzungsgefahr aber mit Gelenkscheibe, eingebaut werden.

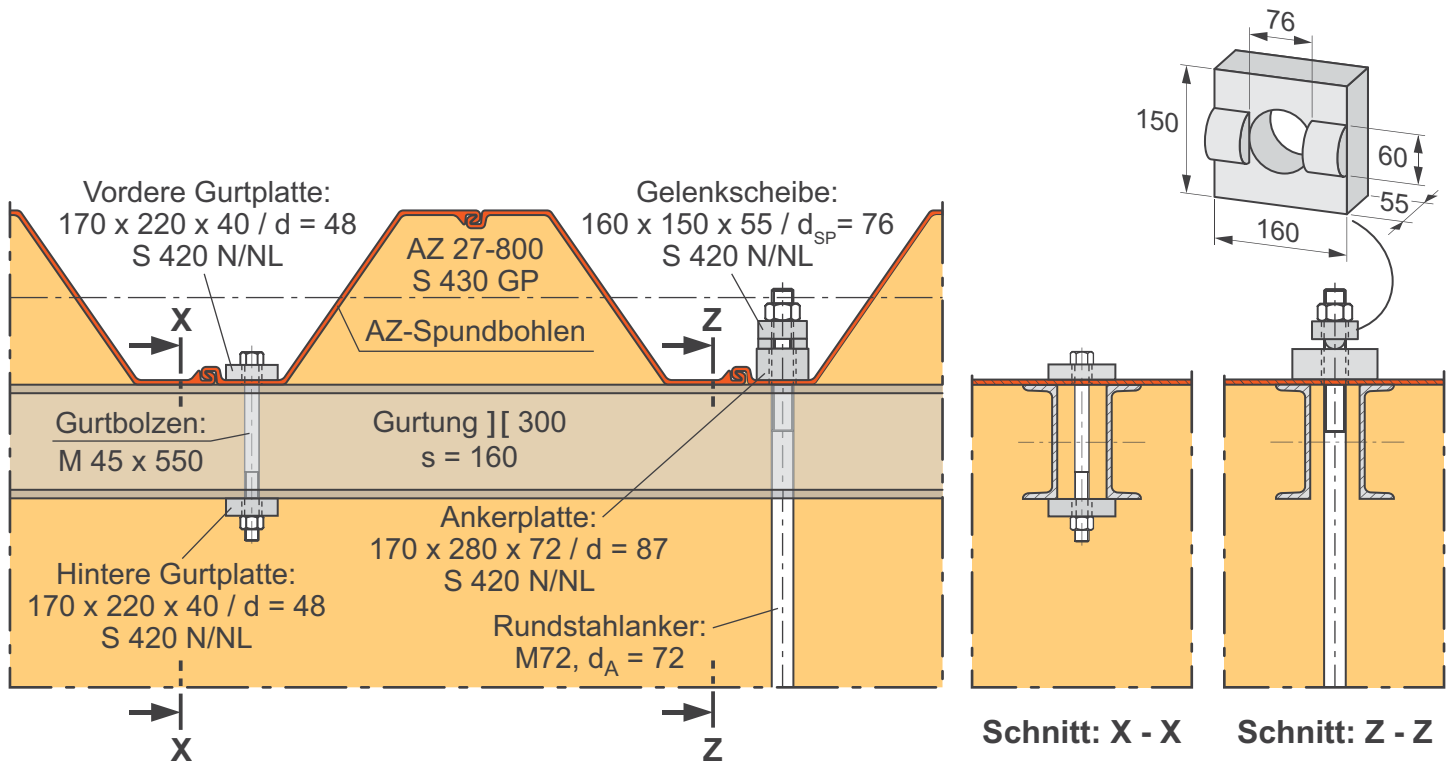
Die restlichen Doppelbohlen sollen mit Bolzen an die ] [-Gurtung (U300) mit einer Spreizung von 160 mm angeschlossen werden.

Die nachfolgende Berechnung beschränkt sich auf die Bemessung der Platten und der Spundwand. Gurtbolzen und Ankerstangen sind getrennt nachzuweisen.

w	Verformung
M	Biegemoment
V	Querkraft

#### Ergebnisse aus EDV-Berechnung (Bemessungswerte)

## 5.2 Systemskizze



## 5.3 Nachweis der Anker- und Bolzenplatten

vorhandene Ankerlast:  $F'_{Ed} = 309 \text{ kN/m}$

### 5.3.1 Nachweis der Platten für den Bolzenanschluss

gewählt: Bolzen M45

Platte  $b_a / h_a / t_a = 170 / 220 / 40 \text{ mm}$  S 420 N/NL /  $d = 48 \text{ mm}$  /  $s = 160 \text{ mm}$

$f_y = 420 \text{ N/mm}^2$

$d_A = 45 \text{ mm}$ ,  $d' = 59 \text{ mm}$ ,  $d_{SG} = 70 \text{ mm}$  aus Tabelle 6

$b_c = 176 \text{ mm}$ ,  $t_f = 13,5 \text{ mm}$ ,  $B = 1600 \text{ mm}$  für AZ 27-800 aus Tabelle 1

Last pro Bolzen:  $F_{Ed} = F'_{Ed} \cdot B = 309 \cdot 1,60 = 494 \text{ kN}$

#### 5.3.1.1 Nachweis vordere Bolzenplatte

Fall A: Nachweise gemäß Abschnitt 4.4.1 und 4.4.2.1

Nachweis der Platte:

$$b_a = 170 \text{ mm} \begin{cases} < b_c = 176 \text{ mm} \\ > 0,90 \cdot b_c = 158 \text{ mm} \end{cases} \quad h_a = 220 \text{ mm} < 2,5 \cdot b_a = 425 \text{ mm} \quad t_a = 40 \text{ mm} \begin{cases} \geq 40 \text{ mm}^1) \\ > 2 \cdot t_f = 27 \text{ mm} \\ > \frac{d_A}{3} = 15 \text{ mm} \end{cases}$$

$$X = h_a - d' = 220 - 59 = 161 \text{ mm}$$

$$F_{Ed} \leq F_{M, V, Rd} = \frac{4}{3} (b_a - d) \cdot \frac{n}{2n - 1} \cdot X \cdot \left[ \sqrt{1 + 3 \left( \frac{t_a}{X} \right)^2} - 1 \right] \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{Ed} \leq F_{M, V, Rd} = \frac{4}{3} (170 - 48) \cdot 161 \cdot \left[ \sqrt{1 + 3 \left( \frac{40}{161} \right)^2} - 1 \right] \cdot \frac{0,420}{1,0} = 975 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} \leq F_{M, V, Rd} : 494 \text{ kN} < 975 \text{ kN}$$

<sup>1)</sup>  $t_a \geq 40 \text{ mm}$ : empfohlene Ankerplattenstärke zur optimalen Lasteinleitung

Nachweis der lokalen Lasteinleitung:

$$F_{Ed} \leq F_{Rd,l} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{\pi}{2\sqrt{2}} (d_{SG}^2 - d^2) \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} (70^2 - 48^2) \frac{0,420}{1,0} = 1211 \text{ kN} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \pi \cdot d \cdot t_a \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \pi \cdot 48 \cdot 40 \cdot \frac{0,420}{1,0} = 1463 \text{ kN} \end{array} \right.$$

$$F_{Ed} \leq F_{Rd,l} : 494 \text{ kN} < 1211 \text{ kN}$$

### 5.3.1.2 Nachweis hintere Gurtplatte

Fall E: Nachweise gemäß Abschnitt 4.4.2.3

Nachweis der Platte:

$$b_a = 170 \text{ mm} < 1,5 \cdot h_a = 330 \text{ mm} \quad t_a = 40 \text{ mm} > \frac{d_A}{3} = 15 \text{ mm}$$

$$X = s - d' = 160 - 59 = 101 \text{ mm}$$

$$F_{Ed} \leq F_{M,V,Rd} = \frac{2}{3} (b_a - d) \cdot X \cdot \left[ \sqrt{1 + 3 \left( \frac{t_a}{X} \right)^2} - 1 \right] \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{Ed} \leq F_{M,V,Rd} = \frac{2}{3} (170 - 48) \cdot 101 \cdot \left[ \sqrt{1 + 3 \left( \frac{40}{101} \right)^2} - 1 \right] \cdot \frac{0,420}{1,0} = 734 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} \leq F_{M,V,Rd} : 494 \text{ kN} < 734 \text{ kN}$$

Nachweis der lokalen Lasteinleitung:

$$F_{Ed} \leq F_{Rd,l} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{\pi}{2\sqrt{2}} (d_{SG}^2 - d^2) \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} (70^2 - 48^2) \frac{0,420}{1,0} = 1211 \text{ kN} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \pi \cdot d_{SG} \cdot t_a \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \pi \cdot 70 \cdot 40 \cdot \frac{0,420}{1,0} = 2133 \text{ kN} \end{array} \right.$$

$$F_{Ed} \leq F_{Rd,l} : 494 \text{ kN} < 1211 \text{ kN}$$

### 5.3.2 Nachweis der Ankerplatte mit Gurtung und Gelenkscheibe

gewählt:

Anker M72

Platte  $b_a / h_a / t_a = 170 / 280 / 72 \text{ mm}$  S420N/NL

Gelenkscheibe  $b_{SP} / h_{SP} / t_{SP} = 160 / 150 / 55 \text{ mm}$  S420N/NL

$$d_{SP} = 76 \text{ mm} / w_{sp} = 60 \text{ mm}$$

mit  $f_y = 390 \text{ N/mm}^2$  (gemäß DIN EN 1993-1-1 Tabelle 3.1 für  $t_a = 72 \text{ mm} > 40 \text{ mm}$

$$t_{SP} = 55 \text{ mm} > 40 \text{ mm})$$

$d_A = 72 \text{ mm}$ ,  $d_{SG} = 105 \text{ mm}$ ,  $e = 117 \text{ mm}$ ,  $d = 87 \text{ mm}$  aus Tabelle 6

$b_c = 176 \text{ mm}$ ,  $t_f = 13,5 \text{ mm}$ ,  $B = 1600 \text{ mm}$  für AZ 27-800 aus Tabelle 1

$$n = 2$$

$$\text{Last pro Anker: } F_{Ed} = F'_{Ed} \cdot n \cdot B = 309 \cdot 2 \cdot 1,60 = 989 \text{ kN}$$

### 5.3.2.1 Nachweis Ankerplatte

Fall D: Nachweise gemäß Abschnitt 4.4.2.2

Nachweis der Platte:

$$b_a = 170 \text{ mm} \begin{cases} < b_c = 176 \text{ mm} \\ > 0,90 \cdot b_c = 158 \text{ mm} \end{cases} \quad h_a = 280 \text{ mm} < 2,5 \cdot b_a = 425 \text{ mm} \quad t_a = 72 \text{ mm} \begin{cases} \geq 40 \text{ mm} \\ > 2 \cdot t_f = 27 \text{ mm} \\ > \frac{d_A}{3} = 24 \text{ mm} \end{cases}$$

$$X = \frac{h_a + 2(n-1)s}{2n-1} = \frac{280 + 2 \cdot (2-1) \cdot 160}{2 \cdot 2 - 1} = 200 \text{ mm}$$

$$F_{Ed} \leq F_{M, V, Rd} = \frac{4}{3} (b_a - d) \cdot \frac{n}{2n-1} \cdot X \cdot \left[ \sqrt{1 + 3 \left( \frac{t_a}{X} \right)^2} - 1 \right] \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{Ed} \leq F_{M, V, Rd} = \frac{4}{3} (170 - 87) \cdot \frac{2}{2 \cdot 2 - 1} \cdot 200 \cdot \left[ \sqrt{1 + 3 \left( \frac{72}{200} \right)^2} - 1 \right] \cdot \frac{0,390}{1,0} = 1027 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} \leq F_{M, V, Rd} : 989 \text{ kN} < 1027 \text{ kN}$$

Nachweis der lokalen Lasteinleitung:

Nachweis kann entfallen, da die Ankerplatte in der gleichen Stahlsorte wie die Gelenkplatte ist.

### 5.3.2.2 Nachweis Gelenkscheibe

Nachweise gemäß Abschnitt 4.4.3

$$b_{SP} = 160 \text{ mm} \begin{cases} < d_{SG} + 2 \cdot t_{SP} = 215 \text{ mm} \\ > e = 117 \text{ mm} \end{cases} \quad \left| \quad h_{SP} = 150 \text{ mm} \begin{cases} < d_{SG} + 2 \cdot t_{SP} = 215 \text{ mm} \\ > e = 117 \text{ mm} \end{cases} \quad \left| \quad t_{SP} = 55 \text{ mm} > \frac{d_A}{2} = 36 \text{ mm}$$

Nachweis der lokalen Lasteinleitung:

$$F_{Ed} \leq F_{Rd,l} = \min \begin{cases} \frac{\pi}{2\sqrt{2}} (d_{SG}^2 - d_{SP}^2) \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} (105^2 - 76^2) \cdot \frac{0,390}{1,0} = 2274 \text{ kN} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \pi \cdot d_{SG} \cdot t_{SP} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \pi \cdot 105 \cdot 55 \cdot \frac{0,390}{1,0} = 4085 \text{ kN} \end{cases}$$

$$F_{Ed} \leq F_{Rd,l} : 989 \text{ kN} < 2274 \text{ kN}$$

Nachweis Halbrundung:

$$c = 160 \text{ mm} = \min \begin{cases} b_a = 170 \text{ mm} \\ b_{SP} = 160 \text{ mm} \end{cases} \quad \left| \quad d_{loc} = 87 \text{ mm} = \max \begin{cases} d = 87 \text{ mm} \\ d_{SP} = 76 \text{ mm} \end{cases}$$

$$F_{Ed} \leq F_{loc, Rd} = w_{SP} \cdot (c - d_{loc}) \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{Ed} \leq F_{loc, Rd} = 60 \cdot (160 - 87) \cdot \frac{0,390}{1,0} = 1708 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} \leq F_{loc, Rd} : 989 \text{ kN} < 1708 \text{ kN}$$

## 5.4 Nachweis der Spundwand

gewählt: AZ 27-800 S430GP

mit:  $f_y = 430 \text{ N/mm}^2$ ,  $\gamma_{M0} = 1,0$

und gemäß Tabelle 1:  $EI = 133,5 \text{ MNm}^2/\text{m}$   $K_L = 2,81 \text{ mm}$   $F_{ec,355} = 1534 \text{ kN/m}$   $W_{pl} = 3100 \text{ cm}^3/\text{m}$

$C_{ant} = 41,3 \text{ MN/m}^2$   $t_f = 13,5 \text{ mm}$   $t_w = 11,0 \text{ mm}$   $A_V = 63,6 \text{ cm}^2/\text{m}$

$L_{ec} = 7,10 \text{ m}$

### 5.4.1 Bestimmung des Exzentrizitätsfaktors

Nachweise gemäß Abschnitt 4.5.1

Boden im Ankerbereich: mitteldichter Sand  $\Rightarrow k_s = 80 \text{ MN/m}^3$  gemäß Tabelle 3

Ankerlage:  $h_a = a = 3,00 \text{ m}$

$$L = \sqrt[4]{4 \frac{EI}{k_s}} = \sqrt[4]{4 \frac{133,5}{80}} = 1,61 \text{ m} \quad \text{und} \quad \frac{h_a}{L} = \frac{3,00}{1,61} = 1,86 > 1,00 \Rightarrow C_{sym} = k_s \cdot 2L = 80 \cdot 2 \cdot 1,61 = 257,6 \text{ MN/m}^2$$

$$\frac{a}{L_{ec}} = \frac{3,00}{7,10} = 0,42 > 0,30 \Rightarrow \zeta_{ec} = 1,00$$

$$\alpha_{ec} = \frac{1}{1 + \frac{C_{sym}}{\zeta_{ec} C_{ant}}} = \frac{1}{1 + \frac{257,6}{1,0 \cdot 41,3}} = 0,14$$

alternativ: aus Tabelle 4 für AZ 27-800 und  $k_s = 80 \text{ MN/m}^3$  auf der „sicheren“ Seite:  $\alpha_{ec} = 0,12$

### 5.4.2 Nachweis der lokalen Lasteinleitung

Der Nachweis der lokalen Lasteinleitung kann auf zwei verschiedenen Wegen geführt werden, die nachfolgend für zwei unterschiedliche Einleitungsstellen (Bolzen- bzw. Ankerverbindung) dargestellt werden. Die Lasteinleitung der Ankerplatte in die Spundwand wird mit Hilfe der Bemessungsformeln aus Abschnitt 4.5.3 ermittelt. Für die Einleitungsstelle am Ankerbolzen wird der Wert der zulässigen Kraft  $R_{Rd,ec,AZ}$  aus Tabelle 5 entnommen.

5.4.2.1 Nachweis der Lasteinleitung durch die Ankerplatte gemäß Abschnitt 4.5.3

Ankerplatte mit:  $b_a / h_a = 170 / 280 \text{ mm}$

Last pro Spunddoppelbohle:  $F_{Ed} = F'_{Ed} \cdot B = 309 \cdot 1,60 = 494 \text{ kN}$

$$F_{L,Rd} = \frac{K_L (h_a + 2b_a) f_y}{(1 - \alpha_{ec}) \gamma_{M0}} = \frac{2,81 \cdot (280 + 2 \cdot 170) \cdot 0,430}{(1 - 0,14) \cdot 1,0} = 871 \text{ kN}$$

$$R_{Vf,Rd} = \frac{t_f (h_a + b_a) f_y (1 + \alpha_{ec})}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{13,5 \cdot (280 + 170) \cdot 0,430 \cdot (1 + 0,14)}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 1719 \text{ kN}$$

$$R_{tw,Rd} = \frac{t_w h_a f_y (1 + \alpha_{ec})}{\gamma_{M0}} = \frac{11,0 \cdot 280 \cdot 0,430 \cdot (1 + 0,14)}{1,0} = 1510 \text{ kN}$$

$$\text{Nachweis: } F_{Ed} \leq R_{Rd,ec,AZ} = \min \begin{cases} F_{L,Rd} = 871 \text{ kN} \\ R_{Vf,Rd} = 1719 \text{ kN} \\ R_{tw,Rd} = 1510 \text{ kN} \end{cases}$$

$$F_{Ed} \leq R_{Rd,ec,AZ}: 494 \text{ kN} < 871 \text{ kN}$$

#### 5.4.2.2 Nachweis der Lasteinleitung durch die Bolzenplatten (mit Hilfe von Tabelle 5)

Ermittlung des minimalen Widerstandes  $R_{Rd,ec,AZ}$  gemäß Tabelle 5:

Bolzenplatte:  $b_a / h_a = 170 / 220 \text{ mm}$  und AZ 27-800,  $\alpha_{ec} = 0,14$   $\gamma_{M0} = 1,0 \Rightarrow R_{Rd, ec, AZ,355} = 650 \text{ kN}$

für S430GP:  $R_{Rd, ec, AZ} = \frac{f_y}{355} \cdot R_{Rd, ec, AZ, 355} = \frac{430}{355} \cdot 650 = 787 \text{ kN}$

Nachweis:  $F_{Ed} \leq R_{Rd, ec, AZ}$ :  $494 \text{ kN} < 787 \text{ kN}$

#### 5.4.3 Abminderungsfaktor $\beta_{ec,0}$

gemäß Abschnitt 4.5.2

Ankerlast pro Meter Wand:  $F'_{Ed} = 309 \text{ kN/m}$

für S430GP und AZ 27-800 aus Tabelle 1:  $F_{ec} = \frac{f_y}{355} \cdot F_{ec, 355} = \frac{430}{355} \cdot 1534 = 1858 \text{ kN/m}$

$$\beta_{ec,0} = \sqrt{1 - \frac{(1 - \alpha_{ec}) F'_{Ed}}{\zeta_{ec} F_{ec}}} = \sqrt{1 - \frac{(1 - 0,14) 309}{1,0 1858}} = 0,93$$

mit  $\zeta_{ec} = 1,0$  und  $\alpha_{ec} = 0,14$  von Punkt 5.4.1 dieses Beispiels „Bestimmung des Exzentrizitätsfaktors“

#### 5.4.4 Spannungsnachweise des Profils

5.4.4.1 Spannungsnachweis an der Verankerungsstelle gemäß Abschnitt 4.5.4

mit  $\beta_{ec} = \beta_{ec,0} = 0,93$

Schnittkräfte an der Ankerstelle:  $M_{Ed} = 111 \text{ kNm/m}$  und  $V_{Ed} = 247 \text{ kN/m}$

$$N_{Ed} < 0,1 \cdot N_{pl} \text{ (nur Eigengewicht der Spundbohle)}$$

Das Profil AZ 27-800 in der Stahlgüte S430GP kann in Querschnittklasse 2 eingestuft werden.

$\Rightarrow$  Spannungsnachweis kann mit den plastischen Widerständen durchgeführt werden.

Als ungünstigster Fall wird der Spannungsnachweis an der Verankerungsstelle mit der größeren Querschnittsschwächung geführt.

mit  $d = 87 \text{ mm}$  und  $r_{w,pl} = 1 - 0,8 d = 1 - 0,8 \cdot 0,087 = 0,93$  ( $d$  in Meter)

$$\Rightarrow W_{pl,Net} = W_{pl} \cdot r_{w,pl} = 3100 \cdot 0,93 = 2883 \text{ cm}^3/\text{m}$$

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd} = \beta_{ec} \cdot \frac{A_V}{\sqrt{3}} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,93 \cdot \frac{63,6}{\sqrt{3}} \cdot \frac{43,0}{1,0} = 1468 \text{ kN/m}$$

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}: 247 \text{ kN/m} < 1468 \text{ kN/m} \text{ und } \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{247}{1468} = 0,17 < 0,50$$

$\Rightarrow$  erforderlicher Nachweis:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd} = \beta_{ec} \cdot W_{pl,Net} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,93 \cdot 2883 \cdot \frac{0,430}{1,0} = 1153 \text{ kNm/m}$$

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}: 111 \text{ kNm/m} < 1153 \text{ kNm/m}$$



5.4.4.2 Spannungsnachweis Feldbereich gemäß Abschnitt 4.5.5

mit  $\beta_{ec}$  an der Stelle  $a + x = 9,27 \text{ m}$

$L_{ec} = 7,10 \text{ m}$  für AZ 27-800

$a = 3,00 \text{ m}$

$$x = 9,27 - 3,0 = 6,27 \text{ m} > \frac{L_{ec}}{2} = \frac{7,10}{2} = 3,55 \text{ m} \Rightarrow \beta_{ec} = 1,0$$

Schnittkräfte an der Stelle mit maximalem Feldmoment  $a + x = 9,27 \text{ m}$ :

$M_{Ed} = 845 \text{ kNm/m}$  und  $V_{Ed} = 0 \text{ kN/m}$

$N_{Ed} < 0,1 \cdot N_{pl}$  (nur Eigengewicht der Spundbohle)

Das Profil AZ 27-800 in der Stahlgüte S 430 GP kann in Querschnittklasse 2 eingestuft werden.

$\Rightarrow$  Spannungsnachweis kann mit den plastischen Widerständen durchgeführt werden.

da  $V_{Ed} = 0 \text{ kN/m}$  und  $N_{Ed} < 0,1 \cdot N_{pl}$  beschränkt sich der Nachweis auf:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd} = \beta_{ec} \cdot W_{pl} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1,00 \cdot 3100 \cdot \frac{0,430}{1,0} = 1333 \text{ kNm/m}$$

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}: 845 \text{ kNm/m} < 1333 \text{ kNm/m}$$

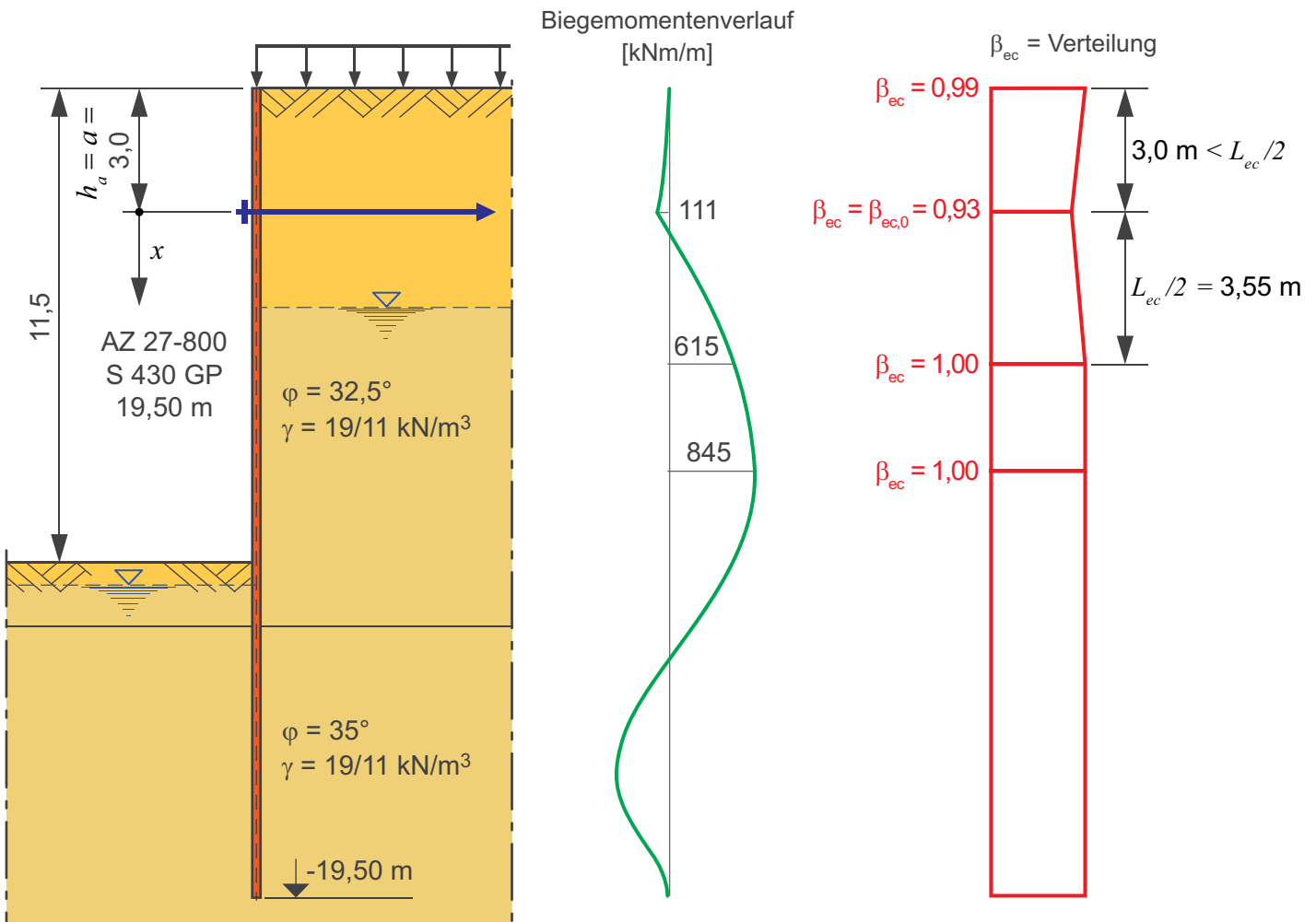
Anmerkungen:

Es sollte überprüft werden, ob weitere Stellen  $x$  maßgebend werden können ( mit  $\beta_{ec}(x) < 1$  und  $M_{ed}(x) < \max. M_{Ed}$ ).

Vereinfacht kann, auf der „sicheren“ Seite liegend, der minimale Abminderungsfaktor  $\beta_{ec} = \beta_{ec,0} = 0,93$  mit dem maximalen Biegemoment überlagert werden.

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd} = \beta_{ec} \cdot W_{pl} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,93 \cdot 3100 \cdot \frac{0,430}{1,0} = 1240 \text{ kNm/m}$$

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}: 845 \text{ kNm/m} < 1240 \text{ kNm/m}$$



## 6. Literatur

- [1] Exzentrische Lasteinleitung in Z-Bohlen, Endbericht mit Bemessungskonzept, Lehrstuhl für Stahlbau, RWTH Aachen, November 2002
- [2] Untersuchung zur Bestimmung der Ankerplattenabmessungen bei Spundwandbauwerken, Endbericht zur Studie, Lehrstuhl für Stahlbau, RWTH Aachen, März 2004
- [3] Anker Handbuch, Anker Schroeder, Ausgabe 2013
- [4] Gesamtkatalog, Stahlspundwände, ArcelorMittal, Ausgabe 2017
- [5] EAB, Empfehlungen Arbeitsausschuss Baugruben, Ausgabe 2006
- [6] DIN 18800, Stahlbauten, Deutsches Institut für Normung, November 1990
- [7] EN 1993-5: 2010-12, Eurocode 3: Design of Steel Structures, Part 5: Piling
- [8] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-14.4-505 vom 12. April 2017

### Auszüge aus dem Zulassungstext

- 1) DIN EN 10248-1:1995-08, Warmgewalzte Spundbohlen aus unlegierten Stählen -Teil 1: Technische Lieferbedingungen
- 2) DIN EN 1991-1-1:2010-12, Eurocode 1, Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau
- 3) DIN EN 10248-1:2006-05, Entwurf, Warmgewalzte Spundbohlen aus unlegierten Stählen -Teil 1: Technische Lieferbedingungen
- 4) DIN EN 10025-2:2005-04, Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen -Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle
- 5) DIN EN 10025-3:2005-02, Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen -Teil 3: Technische Lieferbedingungen für normalgeglühte / normalisierend gewalzte schweißgeeignete Feinkornbaustähle
- 6) DIN EN 10025-4:2005-04, Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen -Teil 4: Technische Lieferbedingungen für thermomechanisch gewalzte schweißgeeignete Feinkornbaustähle
- 7) DIN EN 1993-5:2010-12, Eurocode 3, Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten -Teil 5: Pfähle und Spundwände, in Verbindung mit dem Nationalen Anhang DIN EN 1993-5/NA:2008-10

Gedruckt auf FSC Papier  
Das FSC-Siegel bescheinigt, dass das Holz aus Wäldern oder Anpflanzungen stammt, die in einer verantwortungsvollen und nachhaltigen Weise bewirtschaftet werden (laut den Prinzipien des FSC: Berücksichtigung der sozialen, wirtschaftlichen, ökologischen und kulturellen Bedürfnisse der heutigen und künftigen Generationen). [www.fsc.org](http://www.fsc.org)

## Hinweis

Alle Informationen und Empfehlungen in dieser Dokumentation dienen nur der allgemeinen Information. Die Angaben sind ohne Gewähr. Für fehlerhafte Angaben oder fehlende Angaben sowie missbräuchliche Nutzung der gemachten Angaben kann ArcelorMittal Commercial RPS S.à r.l. nicht haftbar gemacht werden. Nutzung der Informationen auf eigene Gefahr und eigenes Risiko. ArcelorMittal Commercial RPS S.à r.l. kann in keinem Fall für Schäden, Verdienstausschlag, finanzielle Verluste oder andere Nachteile, die sich aus der Nutzung der Informationen aus dieser Dokumentation oder aus der Unmöglichkeit ihrer Nutzung ergeben sollten, haftbar gemacht werden. Änderungen am Lieferprogramm vorbehalten.

**ArcelorMittal Commercial RPS S.à r.l.**

Spundwand

66, rue de Luxembourg

L-4221 Esch sur Alzette (Luxemburg)

E [spundwand@arcelormittal.com](mailto:spundwand@arcelormittal.com)

[spundwand.arcelormittal.com](http://spundwand.arcelormittal.com)



Hotline: (+352) 5313 3105



[ArcelorMittalSP](#)



[ArcelorMittal Sheet Piling \(group\)](#)