



FACHREFERAT - IM RAHMEN DES ASCHWANDEN-CAMPUS

DURA Durchstanzen **Einführung in die Bemessungssoftware**

Dr. Stefan Lips,

Technischer Leiter F&E, F.J. Aschwanden AG, Lyss

Prof. Dr. Albin Kenel,

Abteilungsleiter Bautechnik, Hochschule Luzern – Technik & Architektur, Horw

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	5
2. Prozesse DURA Bemessungssoftware	7
3. Programmanwendung	13
4. Beispiele: Grundlagen	37
5. Beispiel 1: Rechteckige Innenstütze	37
6. Beispiel 2: Quadratische Randstütze	59
7. Beispiel 3: Wandecke	73
8. Bezeichnungen	89

Exkurse

Das Bemessungsmodell in Kürze	8
Bestimmung von Eingabewerten für Näherungsstufe 3	22
Bestimmung von Stützeinspannmomenten	26
Beziehung Stützeinspannmomente/ k_e -Wert	30
Was ist die beste Lösung?	34
Bruchwiderstand und Bruchrotation	42
Was ist der k_{sys} -Wert? / Berechnung nach Gutachten	56
Wissenswertes über Bodenplatten / Einzelfundamente	70
Vorgespannte Flachdecken	84

Anhänge

Anhang A: Diagramme zur Traglastabschätzung	93
Anhang B: Hilfstabellen zur Bestimmung von k_e	101
Anhang C: FEM-Datenblatt	109
Anhang D: Bedingungen ans Verformungsverhalten	111
Anhang E: Vorspannung	113

1. Einleitung

Das Durchstanzen von Stützen durch Flachdecken ist ein komplexer Bruchmechanismus, der von vielen verschiedenen Parametern abhängig ist. Dies widerspiegelt sich ebenfalls in der revidierten Bemessungsnorm SIA 262:2013, bei der, verglichen mit früheren Normengenerationen, wesentlich mehr Parameter und Bedingungen berücksichtigt werden müssen. Dies führt dazu, dass ein Durchstanznachweis von Hand unter Umständen zu erheblichem Zeitaufwand für den Ingenieur führen kann. Deshalb bieten Bemessungsprogramme fürs Durchstanzen eine grosse Unterstützung. Der Ingenieur muss jedoch trotzdem in der Lage sein, die Berechnungen nachzuvollziehen und die Resultate auf Plausibilität kontrollieren zu können.

Das vorliegende Dokument „DURA Bemessungssoftware für Durchstanzen“ zeigt auf, was es bei der Durchstanzbemessung mit der DURA Bemessungssoftware zu beachten gilt. Die einzelnen erforderlichen Eingabewerte werden Schritt für Schritt erklärt. Weiter wird gezeigt, wie die dargestellten Lösungen zu beurteilen sind und wie sie mit einer Handrechnung überprüft werden können. Ausserdem werden diverse Punkte der Norm SIA 262:2013 aufgegriffen und in verschiedenen theoretischen Exkursen kommentiert und diskutiert.

Um die Arbeit des Ingenieurs weiter zu unterstützen, sind im Anhang zusätzlich verschiedene Hilfsmittel zusammengestellt. Zum einen handelt es sich dabei um speziell von der F.J. Aschwanden AG für das DURA System entwickelte Diagramme, die eine einfache Abschätzung des Durchstanzwiderstands zulassen. Darüber hinaus befinden sich im Anhang Formeln zur einfachen Bestimmung des k_e -Wertes, sowie ein Datenblatt für den einfachen Übertrag der benötigten Resultate einer FEM-Berechnung in die DURA Bemessungssoftware. Mit Ausnahme der theoretischen Exkurse gelten die hierin dargestellten Informationen und Hilfsmittel ausschliesslich für das DURA System und die DURA Bemessungssoftware.

2. Prozesse DURA Bemessungssoftware

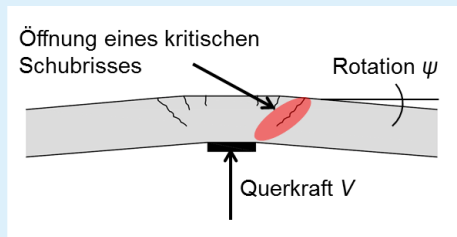
Die DURA Bemessungsprogramme (DURA Durchstanzen und DURA Querkraft) sind im Aschwanden Software-Paket integriert und prozessorientiert konzipiert. Der Kern der Aschwanden Software ist der Projektmanager, in dem die Projektdaten für verschiedene Projekte erstellt und geändert werden können. Einmal im Projektmanager erhobene Projektdaten können daher auch für andere Aschwanden Bemessungsprogramme, wie z.B. ORSO-V, CRET, verwendet werden. Im DURA Explorer können beliebig viele Positionen erfasst und weiterbearbeitet werden. Jede Stützenposition kann bemessen, abgelegt und nach veränderten Randbedingungen wieder aufgerufen und neu bemessen werden. Die Software schlägt alternative Modelle vor, die angewählt und weiterverfolgt werden können. Die verschiedenen Stützenpositionen werden übersichtlich und mit der Angabe der Bearbeitungstiefe der Bemessung im DURA Explorer dargestellt und zusammengefasst.

Eingabe und Bemessung werden auf der rechten Bildschirmseite vorgenommen. Die Eingabe erfolgt generell von oben nach unten. Diese intuitive Anordnung erlaubt eine effiziente und strukturierte Handhabung der Software.

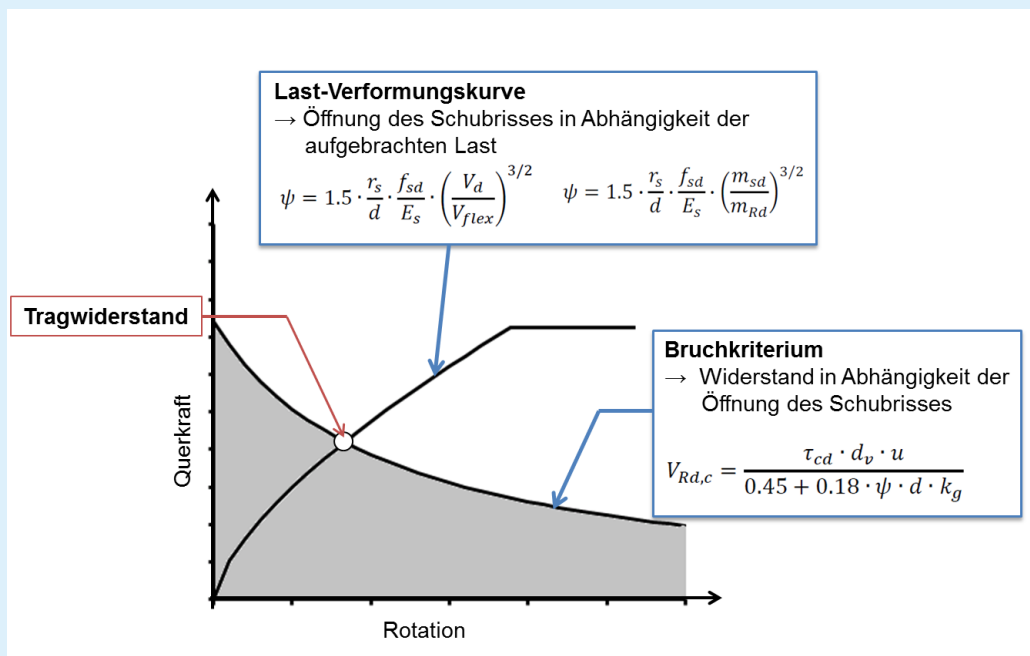
Die Zusammenstellung der Eingaben und die detaillierte Resultatausgabe für jede Position erlauben einen schnellen Überblick. In der Ausgabe erhalten Sie die Detailstatik für die Durchstanzbemessung. Diese Zusammenstellung kann der F.J. Aschwanden AG direkt per E-Mail als Offertanfrage unterbreitet werden. Die F.J. Aschwanden AG erstellt für Sie eine Offerte mit allen von Ihnen gewählten Lösungen. Entsprechend Ihrer Wahl generiert die Bemessungssoftware aus den zentral verwalteten Daten eine Bestellliste, die wiederum direkt per E-Mail (oder per Fax) gesandt werden kann. Der Ausschreibungstext wird aus den zentral verwalteten Daten generiert und kann beispielsweise als Word-Dokument exportiert werden. Zusätzlich können die gewählten Lösungen als dxf-Datei exportiert und in ein CAD-Programm eingelesen werden.

Exkurs: Das Bemessungsmodell in Kürze

Dem Bemessungsmodell der SIA 262:2013 liegt die sogenannte Theorie des kritischen Schubrisses zugrunde. Diese Theorie wurde von Prof. Dr. A. Muttoni an der Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne entwickelt. Die Grundidee dieser Theorie ist, dass sich infolge von Verformungen im Bereich der Stütze oder Einzelkräften ein kritischer Schubriss öffnet. Mit zunehmender Öffnung dieses kritischen Schubrisses kann weniger Querkraft im Nachweisschnitt übertragen werden.



Die Übertragung der Querkraft erfolgt grundsätzlich durch die Rissverzahnung (aggregate interlock) im Schubriss und mithilfe einer geneigten Druckstrebe in der Biegedruckzone. Da der Widerstand gemäss Modellvorstellung verformungsabhängig ist, ist die Bestimmung des Verformungsverhaltens der Platte von entscheidender Bedeutung. Am einfachsten erklärt sich dieses Modell daher anhand eines Querkraft-Rotationsdiagramms.



Das Diagramm zeigt zum einen das Verformungsverhalten der Platte. Mit zunehmender Einwirkung vergrössern sich die Rotationen. In der Norm wird dies mit Gleichung (59) abgebildet, wobei m_{sd} als Funktion von V_d die Einwirkung berücksichtigt.

$$\psi = 1.5 \cdot \frac{r_s}{d} \cdot \frac{f_{sd}}{E_s} \cdot \left(\frac{m_{sd}}{m_{Rd}} \right)^{3/2}$$

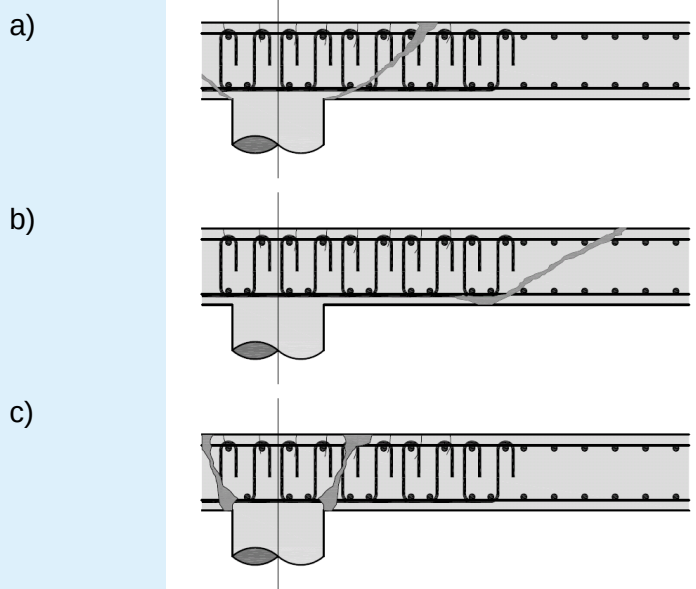
Die zweite Kurve ist das sogenannte Bruchkriterium für Platten ohne Durchstanzbewehrung, das zeigt, dass mit zunehmender Rotation und proportionaler Schubrissöffnung der Widerstand abnimmt. In der Norm zeigt sich dies anhand der Gleichung (57) & (58):

$$V_{Rd,c} = \frac{\tau_{cd} \cdot d_v \cdot u}{0.45 + 0.18 \cdot \psi \cdot d \cdot k_g}$$

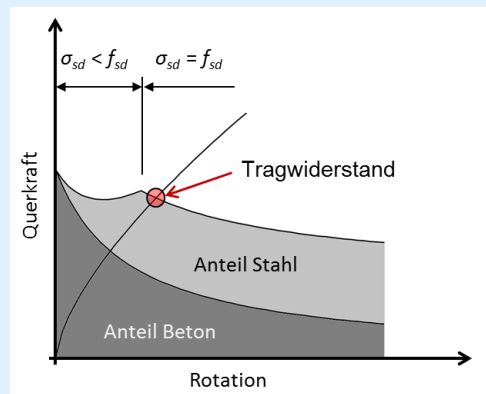
Der Schnittpunkt der beiden Kurven ergibt den Tragwiderstand ($V_{Rd} = V_d$).

Bei Platten mit Durchstanzbewehrung ist der Durchstanznachweis etwas komplexer, da drei verschiedene Versagensmechanismen zu betrachten sind.

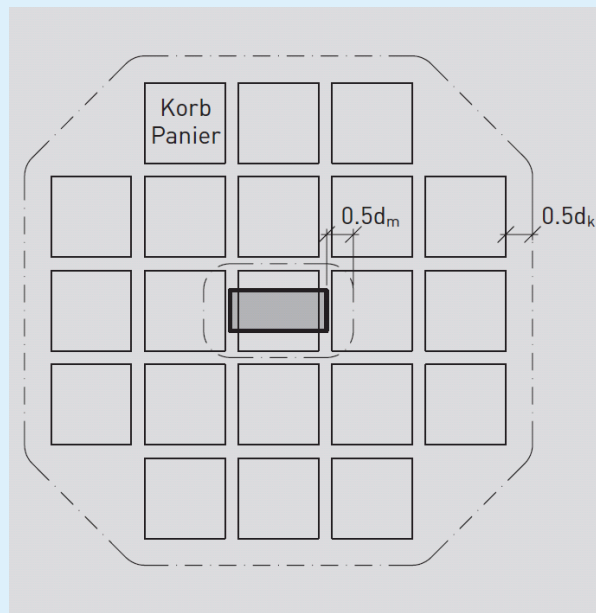
- a) Bruch im Bereich der Durchstanzbewehrung
- b) Bruch ausserhalb der Durchstanzbewehrung
- c) Bruch der Betondruckdiagonale



Beim Bruch im Bereich der Durchstanzbewehrung ergibt sich der Widerstand aus der Superposition des Betonanteils und des Stahlanteils infolge der Durchstanzbewehrung. Beide Komponenten sind dabei jeweils von der Rotation abhängig. Für den Betonanteil liegt derselbe Ansatz wie bei Platten ohne Durchstanzbewehrung zugrunde. Für den Stahlanteil gilt die Modellannahme, dass die Durchstanzbewehrung infolge der Öffnung des Schubrisses aktiviert wird. D.h., mit zunehmender Rotation erhöht sich die Spannung in der Durchstanzbewehrung bis die Fließspannung erreicht wird.



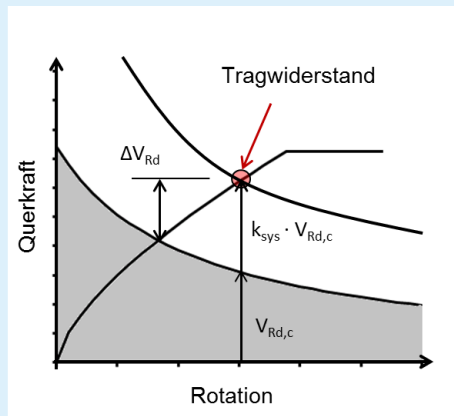
Beim Bruch ausserhalb der Durchstanzbewehrung wird derselbe Ansatz wie bei Platten ohne Durchstanzbewehrung verwendet. Allerdings befindet sich der Nachweisschnitt in diesem Fall ausserhalb des durchstanzbewehrten Bereichs und ist demzufolge um einiges grösser.



Beim Bruch der Betondruckdiagonale bei der Stützenkante wird ein vereinfachter empirischer Ansatz verwendet. Das Bruchkriterium für Platten ohne Durchstanzbewehrung wird dabei um einen Faktor k_{sys} erhöht. Gemäss Norm ist der k_{sys} -Wert = 2.0, wie in Gleichung (69) dargestellt. Dieser Faktor darf aber erhöht werden, falls ein auf Versuchen abgestütztes Gutachten vorhanden ist, das zeigt, dass ein gleiches Sicherheitsniveau wie für Platten ohne Durchstanzbewehrung erreicht wird. Für mehr Informationen diesbezüglich wird auf den Exkurs „Was ist der k_{sys} -Wert?/Berechnen nach Gutachten“ verwiesen.

$$V_{Rd} = k_{sys} \cdot V_{Rd,c} \leq 3.5 \cdot \tau_{cd} \cdot d_v \cdot u$$

Es gilt jedoch noch darauf hinzuweisen, dass das Bruchkriterium um den Faktor k_{sys} erhöht wird und nicht der Tragwiderstand im Vergleich zu Platten ohne Durchstanzbewehrung. Wie im nachfolgenden Diagramm gezeigt wird, ist der Unterschied im Tragwiderstand ΔV_{Rd} (Differenz Tragwiderstand mit und ohne Durchstanzbewehrung) deutlich geringer als $(k_{sys}-1) \cdot V_{Rd,c}$.



3. Programmanwendung

Das Programm ist grundsätzlich in zwei Spalten unterteilt. Die linke Spalte mit den Projektdaten, DURA Explorer und Ausgabe dient zur Navigation und Information. Die rechte Spalte dient zur Eingabe und der Bemessung.

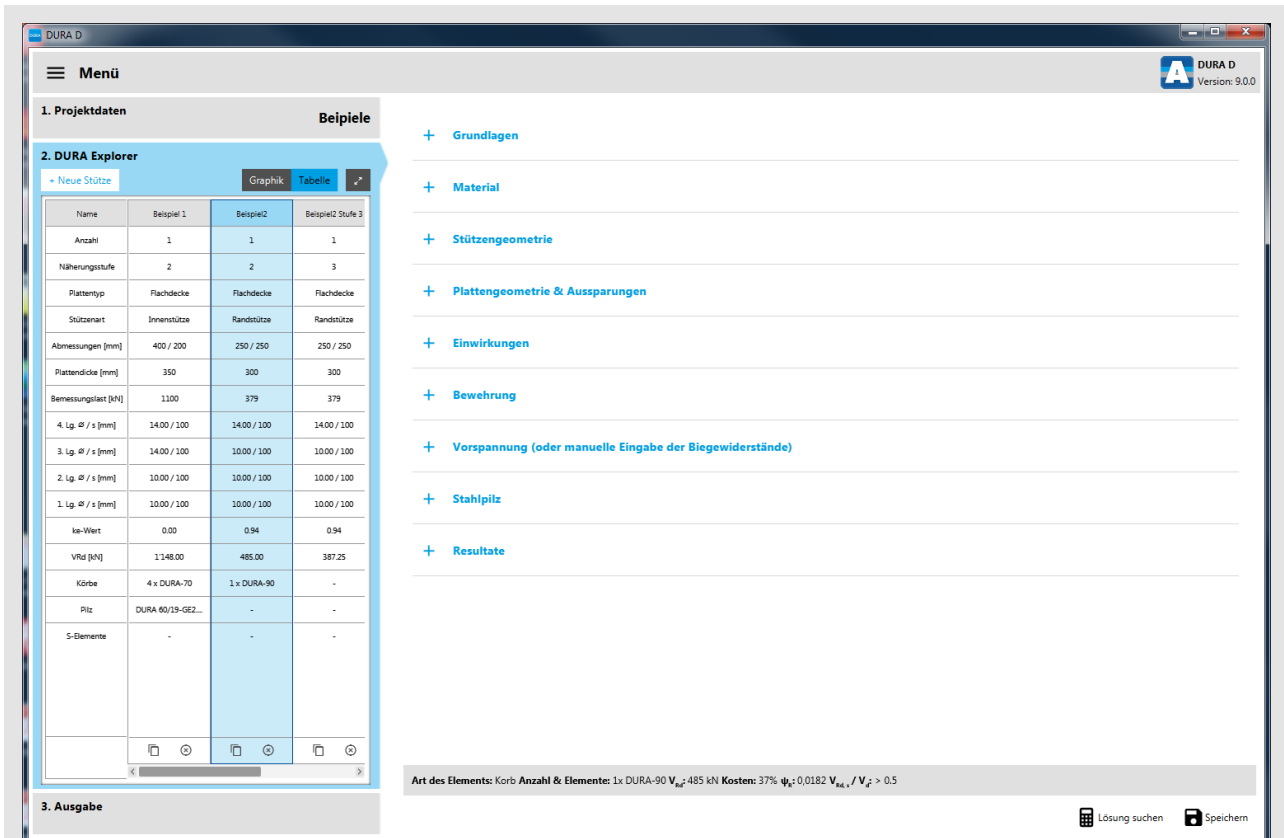


Bild 1: Eingabeoberfläche der DURA Software

Im DURA Explorer können die einzelnen Bemessungspositionen erstellt werden. Im Tabellenmodus kann mit einem Klick auf die entsprechende Spalte die gewünschte Bemessungsposition angewählt werden. Im Grafikmodus kann zwischen den einzelnen Bemessungspositionen hin- und hergewechselt werden.

Die Eingabeparameter sind in verschiedene Gruppen unterteilt, die sich mit dem Plus/Minus Zeichen neben dem Titel separat öffnen und schliessen lassen.

Grundlagen

Grundlagen

Stützenname: Neue Stütze

Anzahl: 1

Näherungsstufe: 2

Bemessungsgrundlage: ☒ SIA 262:2013 ☐ Gutachten (Kenel, Lips)

Plattentyp: ☒ Flachdecke ☐ Bodenplatte

☐ Ermüdungssichere Körbe verwenden

Bild 2: Eingabe der Grundlagen der Bemessung

Eingabeparameter	Wert	Erläuterung
Stützenname	Text	Eingabe der Bezeichnung dieser Bemessungsposition
Anzahl	Zahl	Eingabe der Anzahl dieser Bemessungsposition im Projekt.
Näherungsstufe	2, 3	Als erstes wird die Näherungsstufe der Bemessung bestimmt.
Bemessungsgrundlage	Norm / Gutachten	Der Anwender hat die Möglichkeit zu wählen, ob die Bemessung nach Norm SIA 262:2013 oder gemäss DURA Gutachten durchgeführt werden soll.
Plattentyp	Flachdecke / Bodenplatte	Es wird festgelegt, ob es sich um eine Flachdecke oder Bodenplatte handelt. Je nach Auswahl gilt es bei der Bewehrungseingabe zu beachten, dass die Biegezugseite oben bzw. unten liegt.
Ermüdungssichere Körbe verwenden	Ja/Nein	Bei ermüdungsbeanspruchten Platten sind DURA 60F und DURA 60FL Körbe vorgesehen, die keine Schweissungen im statisch beanspruchten Bügelbereich aufweisen. Wird „ermüdungssichere Körbe verwenden“ ausgewählt, werden ausschliesslich diese Körbe als Lösung angezeigt.

Material

Material

Betonsorte: C 25/30

Grösstkorn D_g : 32 mm

Betonstahl: B500B

Bild 3: Eingabe der Materialdaten

Betonsorte

In der DURA Software stehen 7 verschiedene Betonsorten zur Verfügung – von C20/25 bis C50/60

Grösstkorndurchmesser $D_{\max}$ [mm]

Für den Durchmesser des Grösstkorns des Zuschlags kann ein Wert zwischen 0 und 32 mm eingegeben werden. (Gemäss SIA 262, 4.3.3.2.1 ist bei Beton mit $f_{ck} > 70 \text{ N/mm}^2$ und Leichtbeton $D_{\max} = 0$ zu setzen.)

Betonstahl

Die Eingabe des Betonstahls bezieht sich auf die Stahlqualität der Biegebewehrung. In der DURA Software stehen die Betonstahlsorten B500A, B500B, B500C und B700B zur Verfügung.

Stützegeometrie

Stützegeometrie

Stützenart: [Icon 1] [Icon 2] [Icon 3]

Querschnittsform: [Icon 1] [Icon 2] [Icon 3]

Abmessung a_x : 400 mm

Abmessung a_y : 200 mm

Auflagereinsenkung h_A : 0 mm

Bild 4: Eingabe der Stützegeometrie

Eingabeparameter	Wert	Erläuterung
Stützenart		Als Stützenart stehen Innen-, Rand- und Eckstützen sowie Wandenden und Wandecken zur Verfügung. Das Programm zeigt jeweils die Orientierung der Plattenränder sowie der Wände an. Dies ist bei der Eingabe des Quadranten der Lastresultierenden und bei der Eingabe der Bewehrung zu beachten. Aufgrund der fehlenden Normgrundlagen können Wandecken nicht nach Näherungsstufe 2 berechnet werden.
Querschnitt	Rechteck Oval Kreis	Siehe Bild 5
Querschnitt Abmessung	a_x [mm] a_y [mm] $\emptyset$ [mm]	Bei rechteckigen und ovalen Innenstützen muss für die Berechnung mit der Software die längere Seitenlänge immer in x-Richtung eingegeben werden ($a_x \geq a_y$). Bei Rand- und Eckstützen kann die längere Seite in x- oder y-Richtung sein.
Randabstand	a_R [mm] a_{Rx} [mm] a_{Ry} [mm]	Bei Rand- und Eckstützen ist der Abstand zum Rand einzugeben. Der Abstand bezieht sich immer auf die Stützenkante. Bei Randstützen verläuft der Plattenrand immer in y-Richtung.
Stützeneinsenkung	h_A [mm]	Stützen werden häufig vorgefertigt und mit Kopfplatten versehen. Diese Kopfplatten werden oft in die Decke eingelassen. Da in diesem Fall die Auflagerfläche höher liegt als die untere Deckenoberfläche, wird der Durchstanzwiderstand reduziert. Diese Einsenkung der Stütze in die Decken- bzw. Bodenplatte kann mit dem Wert h_A berücksichtigt werden.

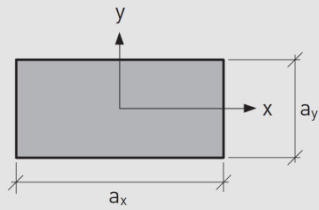
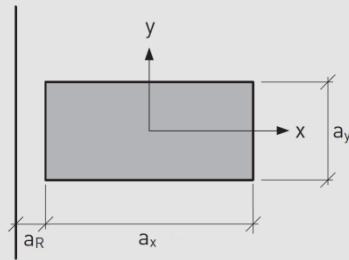
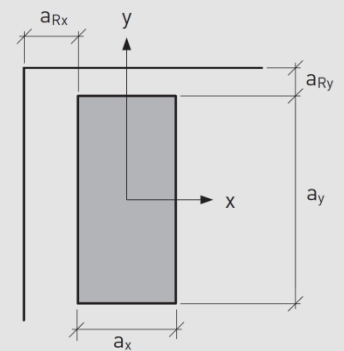
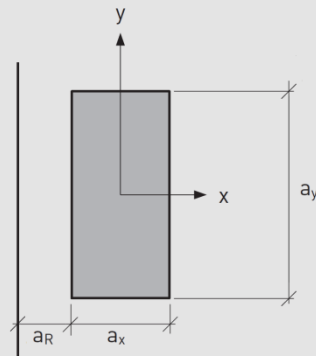
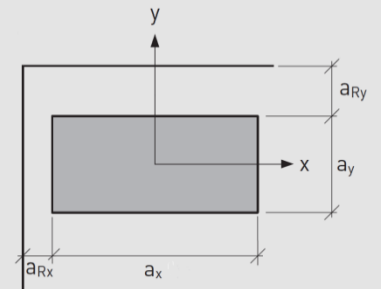
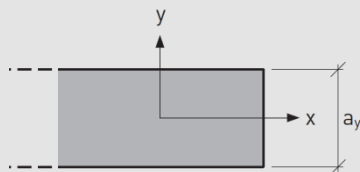
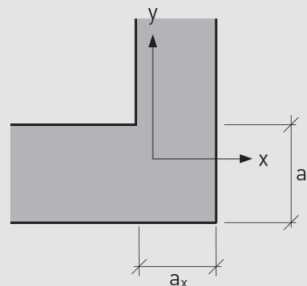
Innenstütze**Randstütze****Eckstütze****Wandende****Wandecke**

Bild 5: Stützenarten und Orientierung bei Rechteckstützen

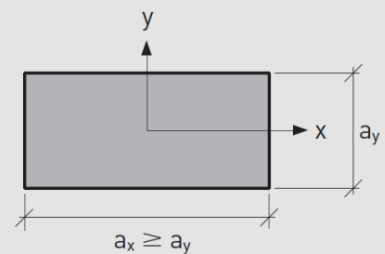
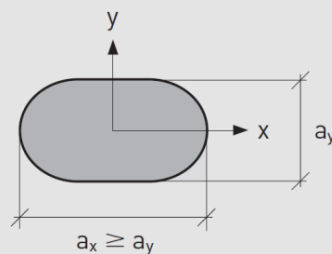
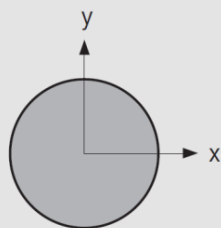


Bild 6: Definition der Eingabe des Stützenquerschnitts

Plattengeometrie und Aussparungen

Eingabeparameter	Wert	Erläuterung
Plattenstärke	h [mm]	Gemäss SIA 262, 5.5.3.12 ist der Mindestbügelabstand einzuhalten. In der Bemessungssoftware gelten daher folgende untere Grenzen für die Plattenstärke: - Korbfamilie 1: Bügelabstand 100 mm, $h_{\min} = 180$ mm - Korbfamilie 2: Bügelabstand 150 mm, $h_{\min} = 240$ mm - Korbfamilie 3: Bügelabstand 200 mm, $h_{\min} = 320$ mm Bei geringen Plattenstärken kann u. U. die Bedingung SIA 262, 5.5.3.11 ($c_v \leq d_v / 6$) nicht eingehalten werden. In diesem Fall reduziert die Bemessungssoftware automatisch die Widerstände $V_{Rd,c}$ und $V_{Rd,s}$.
Max. Spannweiten	l_x [mm] l_y [mm]	Bei den Spannweiten ist jeweils die längere Spannweite (Abstand von Stützenachse zu Stützenachse) in x- und y-Richtung einzugeben. Gemäss SIA 262, 4.3.6.4.2 kann nur nach Näherungsstufe 2 bemessen werden, falls das Spannweitenverhältnis innerhalb der folgenden Grenzen liegt: $0.5 \leq l_x / l_y \leq 2.0$. Wenn diese Bedingung nicht eingehalten ist, kann in der Bemessungssoftware nur nach Näherungsstufe 3 gerechnet werden. (Eingabe nicht bei Näherungsstufe 3) Bei Einzelfundamenten ist die Spannweite als $l_i = a_{Fi} / 0.22$ einzugeben, wobei a_{Fi} die längere Distanz zwischen dem Stützenzentrum und des Fundamentrandes ist. (Siehe Exkurs: Wissenswertes über Bodenplatten/Einzelfundamente)

Aussparungen

Aussparungen können auf einer grafischen Oberfläche definiert werden. Die Anzahl der Aussparungen ist nicht beschränkt. Beim Verlegevorschlag für Körbe, S-Elemente oder Pilz werden die Aussparungen jedoch nicht erfasst. Dies kann dazu führen, dass Körbe z.B. verschoben, teilweise weggelassen oder zerschnitten werden müssen. Falls Aussparungen ausserhalb eines Pilzes geplant sind, ist zu prüfen, ob die Pilzgrösse keine Behinderung darstellt. Bei pilznahen Aussparungen ist unter Umständen dem Brandschutz bzw. dem Randabstand zum Pilz gebührend Rechnung zu tragen. Es ist ebenfalls zu prüfen, ob die Lage der S-Elemente nicht in Konflikt mit einer geplanten Aussparung steht.

Grundsätzlich können Aussparungen bei derselben Stütze sowohl innerhalb als auch ausserhalb des Pilzes definiert werden. Falls eine Aussparung innerhalb des Pilzes definiert wird, ist zu prüfen, ob dafür der erforderliche Freiraum im Pilz vorhanden ist. Befinden sich Aussparungen innerhalb eines Stahlpilzes, ist eine Markierung an der entsprechenden Stelle in der Software («Innerhalb Pilz») erforderlich. Diese ist auch dann nötig, wenn gleichzeitig Aussparungen (ausserhalb des Stahlpilzes) mittels Strahlen definiert werden. Falls die Aussparungen jedoch ausschliesslich innerhalb des Stahlpilzes liegen, genügt die Markierung «innerhalb Pilz», d. h., eine Definition von Strahlen erübrigt sich.

The screenshot shows a software window titled 'Plattengeometrie & Aussparungen'. It contains the following input fields and controls:

- Plattendicke h** : Input field with value '350' and unit 'mm'.
- Spannweite l_x** : Input field with value '7000' and unit 'mm'.
- Spannweite l_y** : Input field with value '6000' and unit 'mm'.
- Aussparung**: A section with two radio buttons:
 - ☐ innerhalb Stahlpilz
 - ☐ gemäss Definition
- Definieren...**: A button located to the right of the radio buttons.

Bild 7: Eingabe der Stützegeometrie

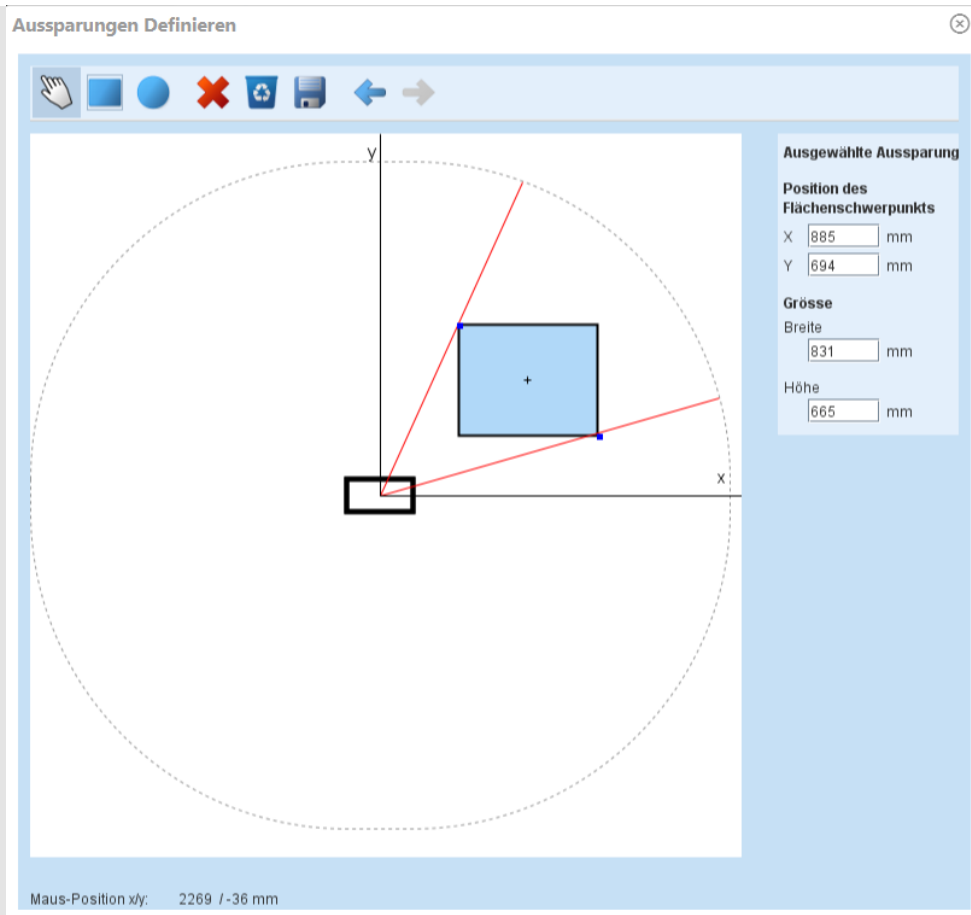


Bild 8: Eingabeoberfläche zur Eingabe von Aussparungen

Eingabe Näherungsstufe 3

Eingabeparameter	Wert	Erläuterung
Spannweiten	L [mm]	Bei den Spannweiten sind jeweils die Spannweiten (Abstand von Stützenachse zu Stützenachse) in x- und y-Richtung einzugeben.
Nullpunktabstände	r_s [mm]	r_s bezeichnet den Abstand zwischen Stützenachse und Nullpunkts des Bemessungsmoments in radialer Richtung. (Siehe Exkurs: Bestimmung von Eingabewerten für Näherungsstufe 3)
Mittlere Biegemomente im Stützstreifen	m_{sd} [kNm/m]	m_{sd} ist der Mittelwert des Bemessungsmoments im Stützstreifen bei der Auflagerkante. (Siehe Exkurs: Bestimmung von Eingabewerten für Näherungsstufe 3)

Eingabe Näherungsstufe 3

Spannweiten

L_{x1} 0.0 mm ⓘ

L_{x2} 0.0 mm

L_{y1} 0.0 mm

L_{y2} 0.0 mm

Nullpunktabstände

r_{sx1} 0.0 mm ⓘ

r_{sx2} 0.0 mm

r_{sy1} 0.0 mm

r_{sy2} 0.0 mm

Mittlere Biegemomente im Stützstreifen

m_{sdx1} 0.0 kNm/m ⓘ

m_{sdx2} 0.0 kNm/m

m_{sdy1} 0.0 kNm/m

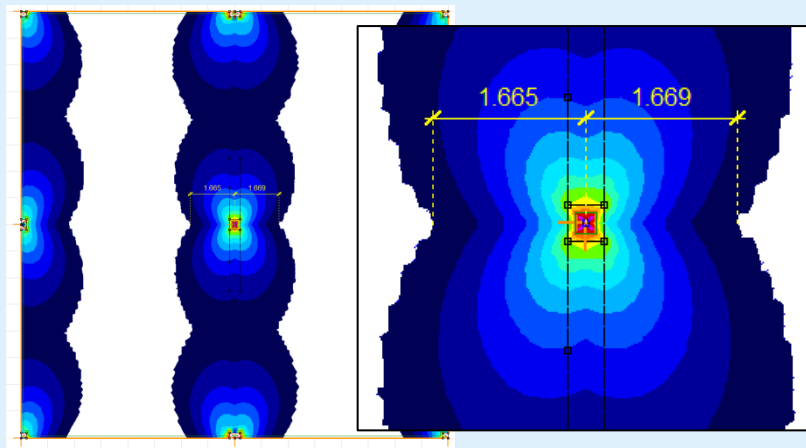
m_{sdy2} 0.0 kNm/m

Bild 9: Eingabeoberfläche zur Eingabe für Näherungsstufe 3

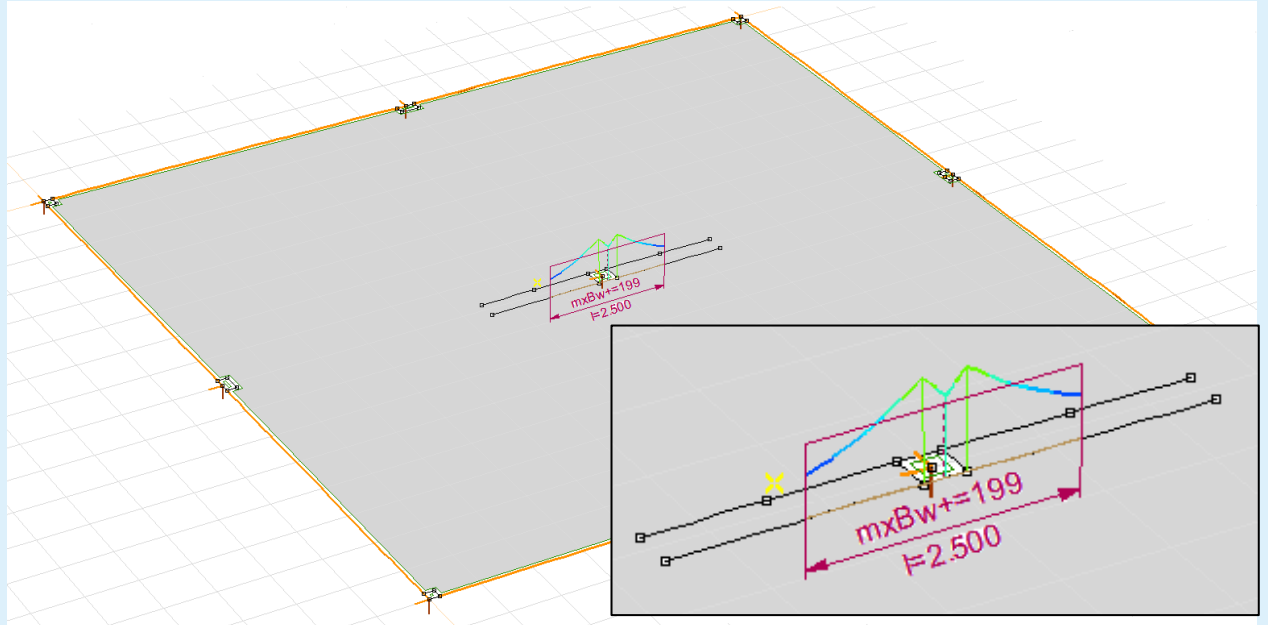
Exkurs: Bestimmung von Eingabewerten für Näherungsstufe 3

Für die Berechnung nach Näherungsstufe 3 sind ergänzende Parameter einzugeben. Bei den Eingabeparametern handelt es sich um die Spannweite L (Abstand von Stützenachse zu Stützenachse), den radialen Abstand zwischen Stützenachse und Nullpunkt des Bemessungsmoments in radialer Richtung r_s und die Mittelwerte der Bemessungsmomente in den Stützstreifen m_{sd} . Die Bemessungsmomente sind jeweils die Kombination aus den Biegemomenten und den Drillmomenten (SIA 262, 4.3.2.6).

Der Nullpunkt des Bemessungsmoments in radialer Richtung r_s lässt sich in der Regel in den FEM-Programmen relativ einfach darstellen. Die Bestimmung erfolgt mit einer linear-elastischen Berechnung. Am besten eignet sich eine Darstellung mit Isolinen der Bemessungsmomente (Kombination Biege- und Drillmomente). Dabei kann der Abstand von der Stützenachse zum Momentennullpunkt direkt gemessen werden. Es gilt jedoch darauf hinzuweisen, dass die Genauigkeit stark von der Elementgrösse abhängig ist. Durch die unterschiedlichen Elementtypen und Berechnungsalgorithmen der verschiedenen FEM-Programme kann keine generelle Empfehlung für die Elementgrösse gemacht werden. Allerdings sollte im Bereich der zu erwartenden Nullstelle – eventuell ist eine lokale Verfeinerung erforderlich – die Elementgrösse nicht mehr als 5% der Spannweite betragen.



Die Mittelwerte der Bemessungsmomente in den Stützstreifen m_{sd} können ebenfalls mithilfe einer linear-elastischen FEM-Berechnung bestimmt werden. Je nach verwendeter Software gibt es verschiedene Methoden, den entsprechenden Wert zu erhalten. Vielfach kann ein Schnitt entlang der Stützenkante mit der Länge der Stützstreifenbreite definiert werden, wo die Software anschliessend direkt den Mittelwert der Momente rechtwinklig zum Schnitt (Drehung um die Schnittachse) darstellt. Da es sich um einen Mittelwert handelt, ist die Bestimmung dieses Parameters nur schwach durch die Elementgrösse beeinflusst.



Diese Parameter sind in der Regel jeweils auf allen vier Stützenseiten zu bestimmen und können anschliessend in die DURA Bemessungssoftware übertragen werden. Als Hilfe dient das FEM-Datenblatt im Anhang C.

Einwirkungen

— Einwirkungen

Durchstanzkraft V_d kN

Auflast und Nutzlast q_d kN/m²

☐ Aufgezwungene Verformungen vorhanden

☒ k_e mit Stützeinspannmomenten bestimmen

Exzentrizitätskoeffizient k_e

Stützeinspannmoment $|M_{xd}|$

Stützeinspannmoment $|M_{yd}|$

Quadrant der Lastexzentrizität ⓘ

☒ Exzentrizität e_y bei der Berechnung von m_{yd} berücksichtigen

Bild 10: Eingabeoberfläche zur Eingabe der Einwirkungen

Eingabeparameter	Wert	Erläuterung
Durchstanzkraft	V_d [kN]	Die Bemessungslast V_d ist ohne Abzug der Lasten innerhalb des Nachweisschnittes einzugeben (Ausnahme: Umlenkkräfte infolge Vorspannung). Die einzelnen Abzüge werden von der Software berechnet.
Auflast und Nutzlast Bodenpressung	q_d [kN/m ²] σ_{Bd} [kN/m ²]	Bei Flachdecken ist die im Stützenbereich wirkende verteilte Nutzlast und evtl. vorhandene Auflast (ohne Eigengewicht) und bei Bodenplatten die Bodenpressung einzugeben. Anhand dieser Werte wird der Abzug der Last innerhalb des Nachweisschnittes berechnet. Die Umlenkkräfte infolge Vorspannung werden bei der Eingabe von V_d berücksichtigt.
Aufgezwungene Verformungen	Ja/Nein	Es kann gewählt werden, ob zusätzliche Querkraft ΔV_d oder zusätzliche Rotation $\Delta \psi$ infolge aufgezwungener Verformungen berücksichtigt werden sollen.
k_e mit Stützeinspannmomenten bestimmen		Standardmässig ist die manuelle Eingabe des k_e -Wertes eingestellt. Daher ist die Checkbox, welche die Bemessung mit Stützeinspannmomenten aktiviert, ausgeschaltet.

Eingabeparameter	Wert	Erläuterung
Abminderungsbeiwert	k_e [-]	Es können die Näherungswerte aus der Norm SIA 262, 4.3.6.2.5 bzw. eigene berechnete Werte eingegeben werden.
Stützeinspannmomente	$ M_{xd} $ [kNm] $ M_{yd} $ [kNm] Quadrant [I, II, III, IV]	Ist die die Bemessung mit Stützeinspannmomente aktiviert, wird der k_e -Wert direkt von der Bemessungssoftware anhand der Stützeinspannmomente berechnet. Hierfür sind die Beträge der Stützeinspannmomente und der Quadrant der Lastresultierenden einzugeben. Falls eine darüberstehende Stütze vorhanden ist, gilt es die Differenz zwischen Kopfmoment der unteren und Fussmoment der oberen Stütze einzugeben. (Siehe Exkurs: Bestimmung von Stützeinspannmomenten)
Exzentrizität e_u bei der Berechnung von m_{sd} berücksichtigen	Ja/Nein	Die Checkbox definiert, ob die Exzentrizität e_u in der Berechnung der Biegemomente im Stützstreifen m_{sd} berücksichtigt werden soll oder nicht (SIA 262:2013, Gl. (61) – (64)). Weitere Informationen sind im Exkurs „Beziehung Stützeinspannmomente/ k_e -Wert“ enthalten.

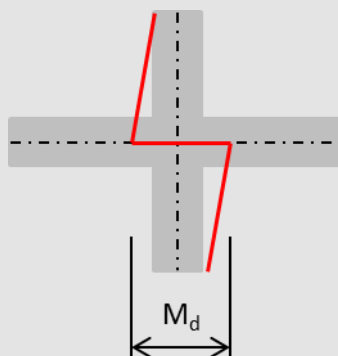
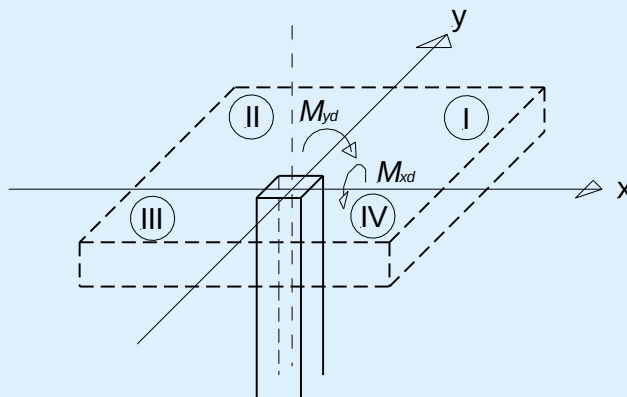


Bild 11: Berücksichtigung von Stützeinspannmomente bei durchgehenden Stützen

Exkurs: Bestimmung von Stützeinspannmomenten

Die Stützeinspannmomente können durch eine FEM-Berechnung bestimmt werden. Es gilt aber auf eine sorgfältige Modellierung zu achten. Im Wesentlichen sind folgende Punkte zu beachten:

- Die Steifigkeit der Stütze sollte für die Plattenauflager berücksichtigt werden (keine freien bzw. voll eingespannte Plattenauflager verwenden)
- Das Plattenauflager sollte als Fläche modelliert werden (keine Punktverbindungen)

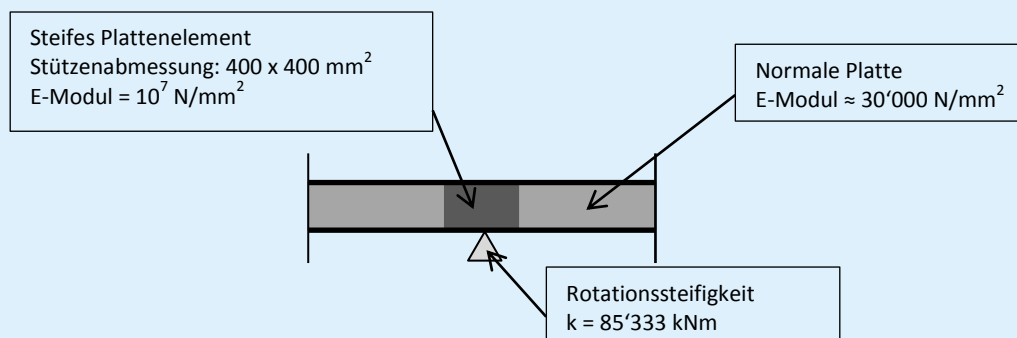


In vielen FEM-Programmen lässt sich eine Stütze mit dem Querschnitt und der Länge definieren. In diesem Fall ist die Steifigkeit der Stütze bereits berücksichtigt. Ist dies nicht der Fall, kann die Rotationssteifigkeit mit $4E_c I/L$ für eine unten eingespannte Stütze ($3E_c I/L$ falls der Stützenfuss gelenkig modelliert werden soll) angenommen werden. Ist eine darüberstehende Stütze vorhanden, muss diese ebenfalls berücksichtigt werden. Dies führt zur einer entsprechenden Vergrößerung der Rotationssteifigkeit.

Als Beispiel für eine Betonstütze mit den Abmessungen $400 \times 400 \text{ mm}^2$, einer Länge von 3 m und einem E-Modul von $30'000 \text{ N/mm}^2$ ergibt sich eine Rotationssteifigkeit k von:

$$k = \frac{4E_c I}{l} = \frac{4 \cdot 30000 \cdot 400^4 / 12}{3000} \cdot 10^{-6} = 85333 \text{ kNm}$$

Ebenfalls lässt sich der Stützen-/Plattenanschluss in einigen FEM-Programmen direkt als Fläche modellieren. Ist dies nicht der Fall, kann die Platte lokal durch ein steifes Element ergänzt werden.



Bewehrung

Bewehrung

Bewehrungsüberdeckung

Oben $c_{nom,o}$ 20 mm

Unten $c_{nom,u}$ 20 mm

x-Richtung

1. und 4. Lage ⓘ

Durchmesser oben $\varnothing$ 14.0 mm

Teilung oben s 100 mm

Durchmesser unten $\varnothing$ 10.0 mm

Teilung unten s 100 mm

y-Richtung

Durchmesser oben $\varnothing$ 14.0 mm

Teilung oben s 100 mm

Durchmesser unten $\varnothing$ 10.0 mm

Teilung unten s 100 mm

Bild 12: Eingabeoberfläche zur Eingabe der Bewehrung

Eingabeparameter	Wert	Erläuterung
Bewehrungsüberdeckung oben und unten	c_o [mm] c_u [mm]	Abstand der Oberfläche der Bewehrung von der Betonoberfläche.
Ausrichtung der Bewehrung x-Richtung	1. und 4. Lage 2. und 3. Lage	Die Auswahl gibt an, welche Bewehrungslagen in x-Richtung verlaufen. Es ist darauf zu achten, dass bei rechteckigen Innenstützen, Randstützen und Wandenden das Koordinatensystem möglicherweise vom Anwender gedreht werden muss (siehe Querschnitt Abmessung und Randabstand).
Bewehrung x-Richtung Bewehrung y-Richtung	$\varnothing_s$ [mm] Teilung [mm]	Die Zug- und Druckbewehrung kann anhand der Durchmesser und der Teilung eingegeben werden. Die Teilung der 2. und 3. Lage definiert die Korbfamilie: - Korbfamilie 1: $s = 100$ mm - Korbfamilie 2: $s = 150$ mm - Korbfamilie 3: $s = 200$ mm Es darf nur die Bewehrung innerhalb des Stützstreifens berücksichtigt werden, die vollständig verankert ist (SIA, 262, 5.5.3.7).

Bewehrungsangaben					
4. Lage	Ø	14.00 mm	s	100 mm	
	A _s	1539 mm ² /m	ρ	0.48 %	
	d	323 mm	m _{rd}	204 kNm/m	
3. Lage	Ø	14.00 mm	s	100 mm	
	A _s	1539 mm ² /m	ρ	0.50 %	
	d	309 mm	m _{rd}	194 kNm/m	
2. Lage	Ø	10.00 mm	s	100 mm	
	A _s	785 mm ² /m	ρ	0.25 %	
	d	315 mm	m _{rd}	107 kNm/m	
1. Lage	Ø	10.00 mm	s	100 mm	
	A _s	785 mm ² /m	ρ	0.24 %	
	d	325 mm	m _{rd}	108 kNm/m	
Schliessen					

Bild 13: Informationsfenster bei der Bewehrungseingabe

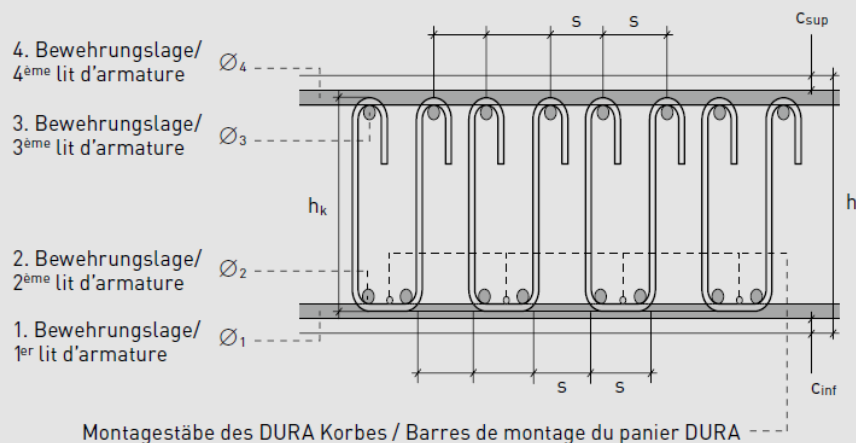


Bild 14: Anordnung der Biegebewehrung

Vorspannung oder manuelle Eingabe der Biegewiderstände

— Vorspannung (oder manuelle Eingabe der Biegewiderstände)

☒ Vorspannung vorhanden?

Biegewiderstand

m_{Rdx} kNm/m

m_{Rdy} kNm/m

Dekompressionsmoment

m_{Ddx} kNm/m

m_{Ddy} kNm/m

Bild 15: Eingabeoberfläche zur Eingabe der Vorspannung

Eingabeparameter	Wert	Erläuterung
Vorspannung vorhanden?	Ja/Nein	Soll für die Berechnung eine allfällig vorhandene Vorspannung mitberücksichtigt werden, müssen der Biege­widerstand und das Dekompressionsmoment eingegeben werden. In diesem Fall wird der Biege­widerstand nicht anhand der Bewehrungseingabe berechnet, sondern die manuellen Eingabewerte verwendet. Daher kann diese Eingabe auch für die manuelle Eingabe von Biege­widerständen verwendet werden.
Biege­widerstand	m_{Rd} [kNm/m]	
Dekompressionsmoment	m_{Dd} [kNm/m]	

Stahlpilz

— Stahlpilz

Maximale Stahlpilzhöhe $h_{p,max}$	250	mm	?
Einbauhöhe h_{zp}	40	mm	

Bild 16: Eingabeoberfläche der Randbedingungen für den Stahlpilz

Eingabeparameter	Wert	Erläuterung
Maximale Stahlpilzhöhe	$h_{p,max}$ [mm]	Mit $h_{p,max}$ kann die maximale Höhe des Stahlpilzes definiert werden (Siehe Bild 17).
Einbauhöhe	h_{zp} [mm]	Mit h_{zp} kann die Einbauposition des Stahlpilzes definiert werden (Siehe Bild 17).

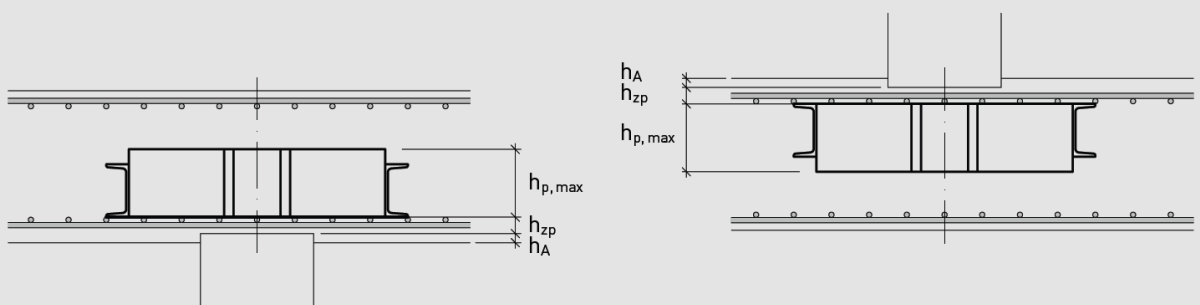


Bild 17: Definition der Eingabe des Stahlpilzes bei Flachdecken und Bodenplatten

Exkurs: Beziehung Stützeinspannmomente/ k_e -Wert

Der k_e -Wert berücksichtigt die ungleiche Schubspannungsverteilung entlang des Nachweisschnittes. Der Umfang des Nachweisschnittes wird so weit abgemindert, dass der Mittelwert der Schubspannung entlang des reduzierten Nachweisschnitts dem maximalen Wert der Schubspannung entspricht. Dieser Maximalwert der Schubspannung kann theoretisch ebenfalls mithilfe einer Berechnung mit Schubspannungsfeldern ermittelt werden. Die ungleiche Schubspannungsverteilung resultiert im Wesentlichen aus der Einspannwirkung der Stütze. D.h., falls die Stütze perfekt gelenkig gelagert ist (mechanisches Gelenk), ist die Schubspannungsverteilung entlang des Nachweisschnittes konstant, selbst wenn unterschiedliche Spannweiten vorhanden sind. Dies kann relativ einfach anhand von Spannungsfeldern gezeigt werden. Deshalb kann der Abminderungsbeiwert k_e mithilfe der Stützeinspannmomente bestimmt werden.

Das heisst aber auch im Umkehrschluss, dass ein angenommener k_e -Wert, z.B. anhand der Angaben gemäss SIA 262, 4.3.6.2.5, ein entsprechendes Stützeinspannmoment impliziert. Dies bedeutet einerseits, dass zu überprüfen ist, ob das Stützeinspannmoment überhaupt in die Stütze übertragen werden kann. Andererseits muss das Stützeinspannmoment bei einer Berechnung auf Näherungsstufe 2 in der Bestimmung der mittleren Biegemomente im Stützstreifen m_{sd} berücksichtigt werden.

Diesbezüglich kann zuerst die Exzentrizität e_u anhand des k_e -Wertes bestimmt werden:

$$e_u = \frac{1 - k_e}{k_e} \cdot b$$

Mit der Exzentrizität e_u und dem Abstand des Schwerpunkts des Nachweisschnitts zur Stützenachse Δe lässt sich schliesslich das Moment beim Stützenkopf bestimmen.

$$M_d = (e_u - \Delta e) \cdot V_d$$

Als Beispiel dient eine Innenstütze (Schwerpunkt des Nachweisschnittes in Stützenachse: $\Delta e = 0$) mit $\varnothing 250$ mm bei einer Decke mit $d_v = 260$ mm. Gemäss SIA 262, 4.3.6.2.5 kann k_e näherungsweise zu $k_e = 0.9$ angenommen werden.

$$e_u = \frac{1 - 0.9}{0.9} \cdot 510 = 57 \text{ mm}$$

Dies führt bei einer Last von 1000 kN zu einem Moment von:

$$M_d = 0.057 \cdot 1000 = 57 \text{ kNm}$$

Generell ist zu prüfen, ob diese Momente in die Stütze eingeleitet werden können.

Weiter muss die Exzentrizität e_u auch in der Bestimmung der mittleren Biegemomente im Stützstreifen m_{sd} berücksichtigt werden:

$$m_{sd,i} = V_d \left(\frac{1}{8} + \frac{|e_{u,i}|}{2b_{s,i}} \right)$$

Dabei muss die Exzentrizität in x- und y-Richtung berücksichtigt werden. Wie anhand der resultierenden Exzentrizität die Exzentrizität in den jeweiligen Richtungen $e_{u,x}$ und $e_{u,y}$ zu ermitteln ist, wird in der Norm nicht weiter ausgeführt. Es obliegt dem Ingenieur, einen geeigneten Ansatz zu verwenden. Die Aschwanden Bemessungssoftware benutzt einen eigens entwickelten Algorithmus, der aufgrund der Relation verschiedener Randbedingungen $e_{u,x}$ und $e_{u,y}$ anhand von e_u ermittelt.

Es ist aber in jedem Fall ratsam, die Stützeinspannmomente mit einer FEM-Software zu bestimmen und nicht die Näherungen der Norm zu verwenden.

Ergänzungen

Das vorhergehend beschriebene Vorgehen ist aus Sicht der F.J. Aschwanden AG vom theoretischen Standpunkt aus gesehen richtig. Allerdings ergab sich aus einer Anfrage an die Normkommission SIA 262, dass eine vereinfachte Betrachtung erlaubt ist)), falls der Einfluss gering ist. Somit muss bei Verwendung des Näherungswertes von k_e dieser nicht bei der Bestimmung der Biegemomente im Stützstreifen m_{sd} berücksichtigt werden (SIA 262:2013, Gl. (61) – (64). Bei Innenstützen ergibt sich somit für m_{sd} :

$$m_{sd,i} = \frac{V_d}{8}$$

Dies führt nun zu etwas verwirrenden Berechnungsergebnissen. So erhält man beim Beispiel 1 bei der Berechnung mit Stützeinspannmomenten einen k_e -Wert von 0.92 und einen Widerstand ohne Durchstanzbewehrung von 803 kN. Benutzt man allerdings den (kleineren) Näherungswert der Norm SIA 262:2013 ($k_e = 0.9$) erhält man nun infolge der Vernachlässigung der Exzentrizität bei der Bestimmung der Biegemomente im Stützstreifen einen um 3% höheren Widerstand von 826 kN. Dies ist natürlich nur ein geringfügiger Unterschied und es ist sinnvoll diesen zu vernachlässigen. Allerdings kann man sich fragen, weshalb die Exzentrizität bei der Bestimmung der Biegemomente im Stützstreifen bei Innenstützen überhaupt berücksichtigt werden sollte. Dies gilt ebenfalls für Randstützen für die Richtung parallel zum Rand und bei Eckstützen, bei welchen oft die Grenzen $V_d/4$ bzw. $V_d/2$ massgebend werden. Hingegen können bei Randstützen in Richtung senkrecht zum Rand die Unterschiede im berechneten Tragwiderstand mit und ohne Berücksichtigung der Exzentrizität sehr gross werden ($\Delta V_{Rd} \approx 20\% - 30\%$). Deshalb wird empfohlen, die Exzentrizität bei der Bestimmung der Biegemomente im Stützstreifen von Randstützen immer zu berücksichtigen.

Des Weiteren ist ebenfalls zu beachten, dass die Berücksichtigung der Exzentrizität in bestimmten Fällen zu wesentlich grösseren Rotationen ($\Delta\psi > 10\%$) führen kann. In gewissen

Fällen kann dies sogar vorteilhaft sein, z.B. um die Verformungsbedingungen der Norm SIA 262:2013 einzuhalten oder auch bei der Aktivierung der Durchstanzbewehrung, insbesondere bei gedungen Platten (siehe Exkurs: Wissenswertes über Bodenplatten).

Dieser eigenwillige Bemessungsansatz hat natürlich auch Konsequenzen für die DURA Bemessungssoftware. Bis und mit Version 3.2.1 wurde die Exzentrizität bei der Bestimmung der Biegemomente im Stützstreifen immer berücksichtigt. Ab Version 3.3 kann mit der Checkbox „ $e_u(k_e) \rightarrow m_{sd}$ “ gewählt werden, ob die Exzentrizität bei der Bestimmung der Biegemomente im Stützstreifen berücksichtigt werden soll oder nicht.

Resultate

Nachdem die Eingabe abgeschlossen wurde, kann mit dem Button „*Lösungen suchen*“ nach möglichen Lösungen gesucht werden. Infolge der verschiedenen Produkte innerhalb des DURA Systems kann die Bemessungssoftware nicht nur eine, sondern verschiedene mögliche Lösungen zur Auswahl präsentieren. So kann der Anwender die für ihn bezüglich Widerstand, Verformungsverhalten und konstruktiver Durchbildung beste Variante wählen. Zur Bestimmung der bestmöglichen Lösung gibt die Lösungstabelle verschiedene Angaben, die nachfolgend diskutiert werden. Die Lösungstabelle kann nach verschiedenen Parametern sortiert werden, so dass je nach Kriterium die gewünschte Lösung zuoberst erscheint. Die nachfolgende Übersicht erläutert die einzelnen Lösungsparameter.

Art des Elements	Gibt Auskunft, welches Produkt oder welche Produktkombination verwendet wird.
Anzahl	Gibt die Anzahl der einzelnen Elemente an.
Elemente	Gibt die detaillierte Bezeichnung der Elemente an.
Widerstand	Gibt den Tragwiderstand der entsprechenden Lösung an. Bei der Bemessungssoftware wird ebenfalls die Last bei Flachdecken bzw. Reaktion bei Bodenplatten, welche innerhalb des Nachweisschnittes angreift, zum Tragwiderstand addiert (Siehe Eingabeparameter „ <i>Bemessungswert der Durchstanzlast</i> “)
Kosten	Gibt die Kosten relativ zur teuersten Lösung an. Dadurch kann die wirtschaftlichste Lösung gefunden werden.
ψ_R	Gibt die Rotation beim Bruch an. Diese Information wird für die Einhaltung der Verformungsbedingung benötigt (SIA 262, 4.1.4.2.6; 4.1.4.2.5; 4.3.6.1.2) (Siehe Exkurse: Was ist die beste Lösung? / Bruchwiderstand und Bruchrotation).
$V_{Rd,s}/V_d$	Gibt an, ob das Verhältnis des Widerstandanteils der Durchstanzbewehrung $V_{Rd,s}$ zum Bemessungswert V_d grösser oder kleiner als 0.5 ist. Diese Information wird für die Einhaltung der Verformungsbedingungen benötigt (SIA 262, 4.3.6.1.2; 4.3.6.1.3) (Siehe Exkurs: Was ist die beste Lösung?)

Exkurs: Was ist die beste Lösung?

Die Frage, die sich der Ingenieur stellt, ist: Welches ist nun die beste Lösung? In früheren Normengenerationen war es in der Regel – sofern keine speziellen konstruktiven Anforderungen vorhanden waren – jeweils so, dass die Lösung umso wirtschaftlicher und somit besser war, je weniger Durchstanzbewehrung benötigt wurde. Dadurch, dass die Norm SIA 262 nicht nur ausschliesslich die Tragsicherheit bezüglich der Traglast verlangt, sondern auch Anforderungen an das Verformungsvermögen der Tragstruktur formuliert, gibt es nun wesentlich mehr Parameter zu berücksichtigen, um die optimale Lösung zu finden. Die Bemessungssoftware liefert deshalb verschiedene Lösungen, welche die Tragsicherheit bezüglich der Traglast erfüllen. Die F.J. Aschwanden AG ist überzeugt, dass der Ingenieur besser als die Bemessungssoftware entscheiden kann, welche Lösung für das spezifische Problem die beste ist. Deshalb gibt die Bemessungssoftware nicht nur eine Lösung aus, die womöglich zu einem erheblichen Mehraufwand für den Ingenieur führt, sondern eine Anzahl von möglichen Lösungen.

Für die Beurteilung der Lösungen gibt es dennoch gewisse Regeln, die in der Bemessungssoftware als Hinweise in der Lösungstabelle und im Report dargestellt sind. Es gilt zu vermerken, dass diese Hinweise strikt auf die geforderten normativen Bestimmungen verweisen, die in jedem Fall – auch wenn keine DURA Durchstanzverstärkung zum Einsatz kommt – eingehalten werden müssen.

Hinweis 1: $\psi < 0.008$ (SIA 262, 4.1.4.2.6)

Gemäss Norm SIA 262 sollte dieser Wert vermieden werden. In der Praxis lässt sich dies nicht immer umsetzen, da vielfach unterschiedliche Spannweiten bei gleichbleibender Plattenstärke vorhanden sind. Soweit möglich, sollte in diesem Fall die Biegebewehrung bei den kürzeren Spannweiten reduziert werden, um ein möglichst grosses Verformungsvermögen zu erhalten, ohne jedoch plastische Umlagerungen zu generieren.

Hinweis 2: $\psi < 0.020$ (SIA 262, 4.1.4.2.5)

Gemäss Norm SIA 262 dürfen Schnittkräfte nicht ohne rechnerischen Nachweis des Verformungsvermögens umgelagert werden. Dies soll verhindern, dass Platten konstruiert werden, die versagen, bevor sich die in der Bemessung angenommene Momentenverteilung einstellen kann. Da diese Grenze in der Praxis nur schwer zu erreichen ist, muss für die Umlagerung von Schnittkräften, z.B. Momentumlagerung vom Stützenbereich in den Feldbereich, ein Verformungsnachweis geführt werden. Dies kann z.B. anhand einer nichtlinearen FEM-Berechnung erfolgen, was allerdings einen erheblichen Mehraufwand für den Ingenieur bedeutet. Wird die Bewehrung jedoch anhand der Bemessungsmomente einer linear-elastischen Berechnung (z.B. mittels FEM-Berechnung) bestimmt, muss diese Ziffer nicht beachtet werden.

Hinweis 3: $\psi < 0.020$ und $V_{Rd,s}/V_d < 0.5$ (SIA 262, 4.3.6.1.2)

Gemäss Norm SIA 262 müssen Schnittkräfte aus aufgezwungenen Verformungen berücksichtigt werden, falls die Rotation kleiner als 0.020 und das Verhältnis des Widerstandanteils der Durchstanzbewehrung zum Bemessungswert kleiner als 0.5 ist. Wie bereits unter Hinweis 2 vermerkt, ist die Grenze der Rotation in der Praxis nur schwer zu erreichen. Falls der Ingenieur die Schnittkräfte infolge Kriechen, Schwinden, differentiellen Setzungen usw. in der Bemessung nicht berücksichtigen möchte, ist es am einfachsten, bei allen durchstanzkritischen Stellen Durchstanzbewehrung anzuordnen, die mindestens 50% der Bemessungslast übernimmt. Es gilt anzumerken, dass ein Stahlpilz allein nicht als Durchstanzbewehrung gilt. In diesem Fall wird empfohlen, einen Stahlpilz in Kombination mit DURA Körben zu verwenden. Dies hat zudem den Vorteil, dass ein Pilz mit geringerer Abmessung gewählt werden kann.

Hinweis 4: $V_{Rd,s}/V_d < 0.5$ (SIA 262, 4.3.6.1.3)

Gemäss Norm SIA 262 muss eine Sicherung gegen Totaleinsturz angeordnet werden, falls das Verhältnis des Widerstandanteils der Durchstanzbewehrung zum Bemessungswert kleiner als 0.5 ist. Um diese Bedingung zu erfüllen, empfiehlt es sich, bei allen durchstanzkritischen Stellen Durchstanzbewehrung anzuordnen, die mindestens 50% der Bemessungslast übernimmt. Dies spart einen erheblichen Anteil an Längsbewehrung auf der Biegedruckseite der Platte und erspart dem Ingenieur eine zusätzliche zeitintensive Dimensionierung der Einsturzsicherung.

Hinweis 5: $\psi \geq 0.020$ und $V_{Rd,s}/V_d \geq 0.5$

Aufgrund der Hinweise 1 bis 4 ergibt sich die Schlussfolgerung, dass keine weiteren Berechnungen und Massnahmen notwendig sind, falls die Rotation ψ grösser oder gleich 0.020 und das Verhältnis $V_{Rd,s}/V_d$ grösser oder gleich 0.5 ist.

Zusammengefasst kann festgehalten werden, dass die Lösungen mit grössten Lastreserven bzw. grösstem Verformungsvermögen die grösste Tragsicherheit für das Gesamtbauwerk aufweisen. Dies kann allerdings zu Mehrkosten führen. Wird auf plastische Umlagerungen verzichtet, kann vielfach bei geringen bis mittleren Lasten eine Korblösung ohne Mehraufwand eine ideale und wirtschaftliche Lösung darstellen. Bei mittleren bis grossen Durchstanzlasten ist meistens eine Kombination von S-Elementen und Körben oder von Stahlpilz und Körben die ideale Lösung. In Anbetracht der Bedingungen an das Verformungsverhalten sollte auf Platten ohne Durchstanzbewehrung gänzlich verzichtet werden.

Aus all diesen verschiedenen Gründen liegt der Entscheid einzig beim projektierenden Bauingenieur und nicht bei der Software, welches die optimale Lösung für das spezifische Projekt ist. Er muss entscheiden, ob er die gegebenenfalls zusätzlich erforderlichen, zum Teil komplexen und zeitintensiven Modellierungen der Tragstruktur durchführen möchte oder sich für eine Lösung mit DURA Durchstanzbewehrung entscheidet, die nicht nur den Tragwiderstand der Platte, sondern auch das erforderliche Verformungsvermögen ermöglicht.

4. Beispiele: Grundlagen

Die Bemessung des DURA Durchstanzsystems wird anhand von Beispielen erläutert. Für die Beispiele werden folgende Materialien verwendet:

Betonsorte	C25/30	f_{cd}	16.7 N/mm ²
		τ_{cd}	1.0 N/mm ²
		f_{bd}	2.4 N/mm ²
Grösstkorndurchmesser		d_g	32 mm
Bewehrungsstahl	B500B	f_{sd}	435 N/mm ²

5. Beispiel 1: Rechteckige Innenstütze

Abschätzung Tragwiderstand mit Diagrammen

Eine erste Abschätzung des Tragwiderstands kann mit den Aschwanden Diagrammen im Anhang dieses Dokuments erfolgen. Für die Abschätzung bedarf es lediglich der Plattenstärke und des Stützenquerschnitts.

Durchstanzlast	$V_d = 1100$ kN	Querschnitt	$a_x = 400$ mm $a_y = 200$ mm
----------------	-----------------	-------------	----------------------------------

Plattenstärke	$h = 350$ mm
---------------	--------------

Bei einer rechteckigen Innenstütze ergibt sich für den Wert a :

$$a = \frac{a_x + a_y}{2} = \frac{400 + 200}{2} = 300 \text{ mm}$$

Es zeigt sich, dass der zu erwartende Widerstand ohne Durchstanzbewehrung bei etwa $V_{Rd,c0} = 850$ kN ist. Bei Decken mit DURA Durchstanzbewehrung liegt der maximale Durchstanzwiderstand bei etwa $V_{Rd,cc0} = 1300$ kN. D. h., der erforderliche Tragwiderstand kann voraussichtlich mit DURA Körben erreicht werden.

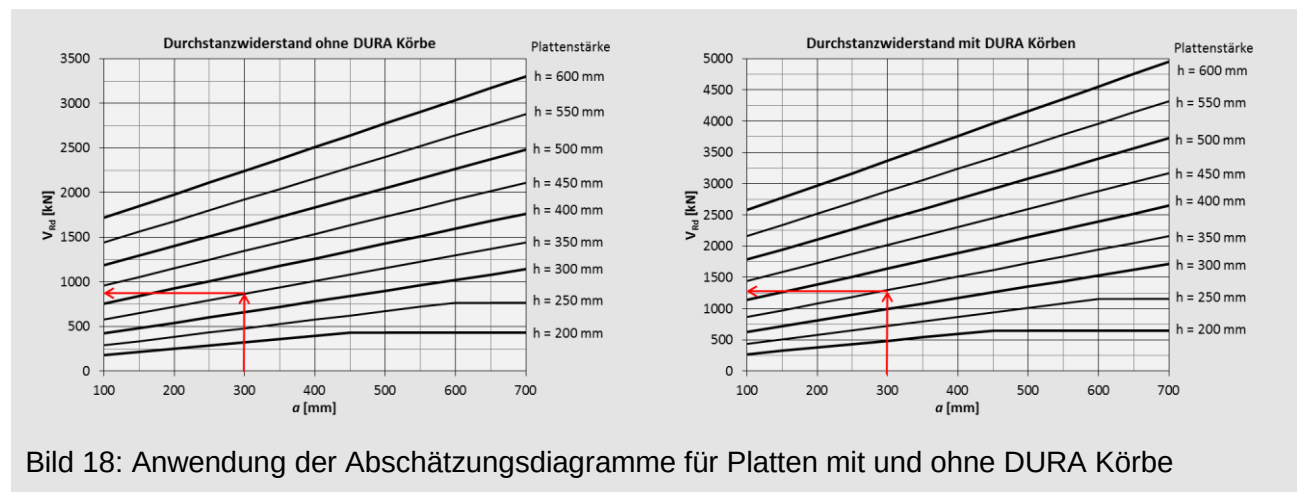


Bild 18: Anwendung der Abschätzungsdiagramme für Platten mit und ohne DURA Körbe

Näherungsstufe 2 Bemessung

Die eigentliche Bemessung des Beispiels wird auf Näherungsstufe 2 durchgeführt. Für die Berechnung auf Näherungsstufe 2 sind folgende Angaben erforderlich.

Grundlagen

Eingabeparameter	Wert	Hinweise zur Wahl der Parameter
Berechnungsgrundlage	Gutachten	Die Bemessung erfolgt auf Basis des DURA Gutachtens.
Plattentyp	Flachdecke	
Ermüdungssichere Körbe verwenden	Nein	Bei diesem Beispiel werden keine ermüdungssicheren Körbe benötigt.

Material

Eingabeparameter	Wert	Hinweise zur Wahl der Parameter
Betonsorte	C25/30	
Grösstkorndurchmesser	32 mm	
Bewehrungsstahl	B500B	

Stützegeometrie

Eingabeparameter	Wert	Hinweise zur Wahl der Parameter
Querschnitt	$a_x = 400 \text{ mm}$ $a_y = 200 \text{ mm}$	Bei rechteckigen Innenstützen muss für die Berechnung mit der Software die längere Seitenlänge immer in x-Richtung eingegeben werden ($a_x \geq a_y$).
Stützeineinsenkung	$h_A = 0 \text{ mm}$	Die Stützeineinsenkung wird für dieses Beispiel als 0 mm angenommen.

Plattengeometrie und Aussparungen

Eingabeparameter	Wert	Hinweise zur Wahl der Parameter
Plattenstärke	$h = 350 \text{ mm}$	
Max. Spannweiten	$l_x = 7000 \text{ mm}$ $l_y = 6000 \text{ mm}$	

Einwirkungen

Eingabeparameter	Wert	Hinweise zur Wahl der Parameter
Durchstanzlast	$V_d = 1100 \text{ kN}$	
Nutzlast	$q_d = 10 \text{ kN/m}^2$	
Aufgezwungene Verformungen	Nicht berücksichtigen	Bei der Bemessung wird versucht, die Bedingungen der Ziffer SIA 262, 4.3.6.1.2 zu erfüllen. D. h., Schnittkräfte von aufgezwungenen Verformungen werden in diesem Beispiel nicht berücksichtigt.
Stützeinspannmomente und Quadrant der Lastresultierenden	$ M_{xd} = 30 \text{ kNm}$ $ M_{yd} = 60 \text{ kNm}$ Quadrant = II	Da die Stütze grössere Steifigkeit um die y-Achse aufweist ist es plausibel, dass der Betrag des Moments M_{yd} grösser als M_{xd} ist.

Bewehrung

Eingabeparameter	Wert	Hinweise zur Wahl der Parameter
Bewehrungsüberdeckung oben und unten	$c_o = 20 \text{ mm}$ $c_u = 20 \text{ mm}$	
Bewehrung x-Richtung	1./4. Lage $\varnothing 14 \text{ mm } s=100$ $\varnothing 10 \text{ mm } s=100$	4. Lage 1. Lage
Bewehrung y-Richtung	2./3. Lage $\varnothing 14 \text{ mm } s=100$ $\varnothing 10 \text{ mm } s=100$	3. Lage 2. Lage

Stahlpilz

Eingabeparameter	Wert	Hinweise zur Wahl der Parameter
Stahlpilz	$h_{p,max} = 250 \text{ mm}$ $h_{zp} = 40 \text{ mm}$	Es werden Werte eingegeben, die den Pilz zwischen den Bewehrungslagen platzieren.

Diese Eingaben ergeben einen Durchstanzwiderstand ohne Massnahme von 803.8 kN und eine Bruchrotation von $\psi_R = 0.0061$. Es kann festgestellt werden, dass der Tragwiderstand ohne Massnahmen nicht erfüllt ist. Weiter wurden bei der Schnittkraftermittlung die aufgezungenen Verformungen nicht berücksichtigt. D. h., gemäss SIA 262, 4.3.6.1.2 muss entweder die Plattenrotation grösser als 0.020 oder es muss eine Durchstanzbewehrung verwendet werden, die mindestens 50% der Bemessungslast übernimmt. Da die Rotation unter 0.008 ist, sollte auch bezüglich des Verformungsverhaltens eine Durchstanzbewehrung verwendet werden.

Resultate

Widerstand ohne V_{Rd} 803.8 kN
Durchstanzmassnahme ψ_R 0.0061

Art des Elements	Anzahl	Elemente	Widerstand	Kosten	ψ_R	$V_{Rd,s} / V_d$
☐ Korb	2	DURA-70	$V_{Rd} = 1305$ kN	25%	0.0123	> 0.5
☐ Korb	1	DURA-90	$V_{Rd} = 1189$ kN	19%	0.0107	> 0.5
☐ Korb	1	DURA-110	$V_{Rd} = 1309$ kN	26%	0.0123	> 0.5
☐ Pilz/Korb	1	DURA 60/24-KE1.N22.E	$V_{Rd} = 1114$ kN	86%	0.0136	> 0.5
	4	DURA-70				
☐ Pilz/Korb	1	DURA 60/19-GE2.H22.E	$V_{Rd} = 1148$ kN	84%	0.0138	> 0.5
	4	DURA-70				
☐ S-Element	1	DURA-S-20-400-310-1	$V_{Rd} = 1148$ kN	49%	0.0101	> 0.5
	1	DURA-S-20-200-265-2				
☐ S-Element/Korb	1	DURA-S-20-400-310-1	$V_{Rd} = 1463$ kN	100%	0.0151	> 0.5
	4	DURA-S-20-200-265-2				

Mehr Ergebnisse

Bild 19: Beispiel 1: Lösungstabelle

Bei diesem Beispiel wurden keine plastischen Umlagerungen gemacht, da die Bewehrungen anhand einer linear-elastischen Schnittkraftberechnung bestimmt wurden. D. h., selbst wenn die Bruchrotation geringer als 0.02 ist, muss kein zusätzlicher Nachweis geführt werden. Aus diesem Grund wird für dieses Beispiel ein DURA-90 Korb gewählt. Die Tragsicherheit bezüglich der Traglast ist mit einem Durchstanzwiderstand von $V_{Rd} = 1189$ kN erfüllt. Ausserdem gibt es mit einer Bruchrotation von $\psi_R = 0.0107$ und einem $V_{Rd,s} / V_d > 0.5$ keine weiteren Nachweise zu führen.

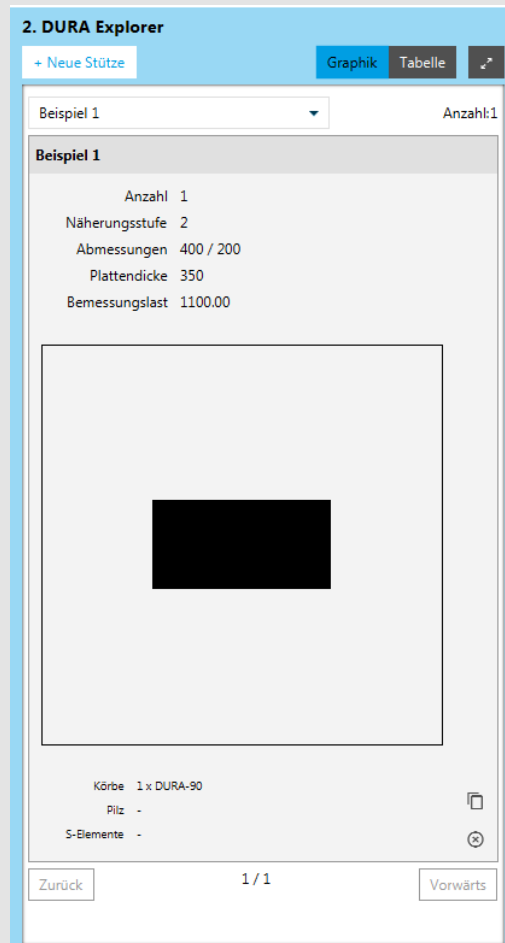
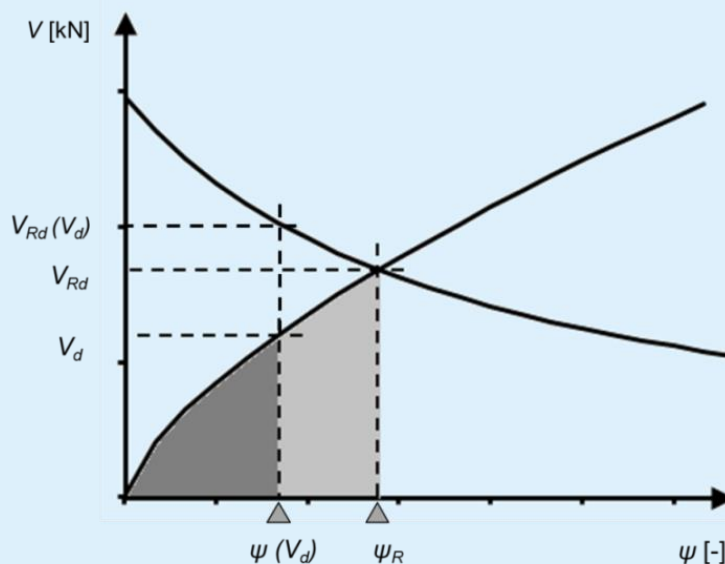


Bild 20: Beispiel 1: Detaillierte Angaben zur gewählten Korblösung im DURA Explorer

Exkurs: Bruchwiderstand und Bruchrotation

Für das Verständnis der Gleichungen in der Norm SIA 262 bezüglich Durchstanzen ist es wichtig, gewisse Werte und deren Zusammenhänge zu erkennen. In der Norm sind allerdings verschiedene Werte nicht exakt beschrieben, deshalb werden an dieser Stelle folgende Begriffe wie die Bemessungslast V_d , die fiktive Rotation $\psi(V_d)$, der fiktive Tragwiderstand $V_{Rd}(V_d)$, der Bruchwiderstand V_{Rd} und die Bruchrotation ψ_R eingeführt. Die Bemessungsquerkraft V_d gilt als Einwirkung, auf welche die Platte bemessen wird. Die fiktive Rotation ist der Wert, den man erhält, wenn man gemäss Gleichung 59 der Norm SIA 262 die Rotation bestimmt. Dabei wird die Berechnung von m_{sd} auf dem gleichen Einwirkungsniveau wie die Bemessungsquerkraft V_d durchgeführt. Bei Näherungsstufe 2 ist es direkt ersichtlich, da in SIA 262, 4.3.6.4.7 für die Bestimmung von m_{sd} die Bemessungskraft V_d verwendet wird. Aber auch bei der Bemessung auf Näherungsstufe 3 gehören die Werte m_{sd} und V_d zu einer gewissen Einwirkungssituation ($g_d + q_d$). Daher korrespondieren diese Werte ebenfalls. Würde sich z.B. die Einwirkung $g_d + q_d$ erhöhen, würde sich (bei einer linear-elastischen Berechnung) m_{sd} und V_d im gleichen Masse vergrössern.

Zu jeder Einwirkungssituation ($g_d + q_d$, V_d , m_{sd}) kann mit Gleichung 59 eine fiktive Rotation bestimmt werden. Diese Rotation ergibt sich gemäss Theorie, falls auf der Platte genau die Bemessungslast V_d (bzw. $g_d + q_d$) wirkt. Diese Rotation sagt aber noch nichts über das tatsächliche Rotationsvermögen der Platte aus. Deshalb macht es theoretisch wenig Sinn, diesen Wert für die Einhaltung der Verformungskriterien zu verwenden. Für den Tragsicherheitsnachweis wird mit dieser fiktiven Rotation ein fiktiver Tragwiderstand berechnet. Dieser fiktive Tragwiderstand muss grösser als die Bemessungsquerkraft V_d sein, um den Tragsicherheitsnachweis zu erfüllen. Allerdings sagt der fiktive Tragwiderstand genau wie die fiktive Rotation nichts über das tatsächliche Tragvermögen der Platte aus.



Das tatsächliche Tragvermögen und Rotationsvermögen ergibt sich durch die Bruchlast und die Bruchrotation. Deshalb werden in der Bemessungssoftware diese Werte berechnet und ausgegeben. Für diese Berechnung ist allerdings ein iteratives Vorgehen notwendig, denn diese Werte erhält man, falls die Querkraft zur Bestimmung der Rotation gleich dem Tragwiderstand ist. Dies ist die Last und die dazugehörige Rotation, die man in Theorie erhält, wenn man die Platte sukzessive belastet, bis die Stütze durch die Platte durchstanz. Deshalb werden diese Werte in der Bemessungssoftware als Bruchwiderstand V_{Rd} und Bruchrotation ψ_R bezeichnet.

Handüberprüfung der Lösung

Für eine sichere Bemessung ist es zwingend erforderlich, die von der Software berechneten Resultate anhand von einfachen Handrechnungen auf deren Plausibilität zu überprüfen. Dabei ist keine komplette Nachrechnung notwendig. Allerdings ist durch die Komplexität der Norm bereits eine Handüberprüfung mit wesentlichem Aufwand verbunden.

Material	$f_{cd} = 16.7 \text{ N/mm}^2$	$f_{bd} = 2.4 \text{ N/mm}^2$	Bewehrungsfläche	$A_{sx} = 1539 \text{ mm}^2/\text{m}$
	$\tau_{cd} = 1.0 \text{ N/mm}^2$	$f_{sd} = 435 \text{ N/mm}^2$		$A_{sy} = 1539 \text{ mm}^2/\text{m}$
Statische Höhe	$d_x = 350 - 20 - \frac{14}{2} = 323 \text{ mm}$		Bewehrungsgehalt	$\rho_x = 0.48\%$
	$d_y = 323 - 14 = 309 \text{ mm}$			$\rho_y = 0.50\%$
	$d = 316 \text{ mm}$			
	$d_v = 316 \text{ mm}$			

Überprüfung k_e -Wert

Als erstes wird der k_e -Wert überprüft. Bei einer Innenstütze ohne Aussparungen (d. h., der Schwerpunkt des Nachweisschnittes befindet sich im Stützenzentrum) ergibt sich die Exzentrizität e_u anhand der Stützeineinspannmomente und der dazugehörigen Einwirkung V_d :

$$e_u = \frac{\sqrt{M_{xd}^2 + M_{yd}^2}}{V_d} = \frac{\sqrt{30^2 + (-60)^2}}{1100} = 61.0 \text{ mm}$$

Der Durchmesser einer in einen flächengleichen Kreis umgewandelten Fläche innerhalb des Nachweisschnittes ergibt sich bei einer Innenstütze als:

$$b = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot [(a_x + d_v) \cdot (a_y + d_v) - d_v^2 \cdot \left(1 - \frac{\pi}{4}\right)]}$$

$$b = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot [(400 + 316) \cdot (200 + 316) - 316^2 \cdot \left(1 - \frac{\pi}{4}\right)]} = 666 \text{ mm}$$

Mithilfe von b und e_u lässt sich der Beiwert k_e bestimmen:

$$k_e = \frac{1}{1 + \frac{e_u}{b}} = \frac{1}{1 + \frac{61}{666}} = 0.92$$

Es zeigt sich, dass der von Hand berechnete k_e -Wert mit dem k_e -Wert der Software übereinstimmt.

Überprüfung Rotation

Für die Überprüfung der Rotation muss in einem ersten Schritt der Biege- und Torsionswiderstand in x- und y-Richtung ermittelt werden:

$$m_{Rd} = \rho \cdot d^2 \cdot f_{sd} \cdot \left(1 - \frac{\rho \cdot f_{sd}}{2 \cdot f_{cd}}\right)$$

$$m_{Rd,x} = 0.0047 \cdot 323^2 \cdot 435 \cdot \left(1 - \frac{0.0048 \cdot 435}{2 \cdot 16.7}\right) \cdot 10^{-3} = 204 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Rd,y} = 0.0050 \cdot 309^2 \cdot 435 \cdot \left(1 - \frac{0.0050 \cdot 435}{2 \cdot 16.7}\right) \cdot 10^{-3} = 194 \text{ kNm/m}$$

Dabei wurde die Druckbewehrung vernachlässigt. Die Bemessungssoftware berücksichtigt allerdings die Druckbewehrung für die Berechnung des Biege- und Torsionswiderstandes.

Zusätzlich sind zur Bestimmung der Rotation die Abstände zwischen den Stützenachsen und den Momentennullpunkten sowie die Stützstreifenbreite erforderlich:

$$r_{sx} = 0.22 L_x = 1540 \text{ mm}$$

$$r_{sy} = 0.22 L_y = 1320 \text{ mm}$$

$$b_s = 1.5 \cdot \sqrt{r_{sx} \cdot r_{sy}} = 2139 \text{ mm}$$

Bei der Bestimmung der Mittelwerte der Momente in den Stützstreifen ist folgendes zu beachten: Bei der Überprüfung der Resultate der Software wird nicht – wie bei einer Handbemessung – die Bemessungskraft V_d , sondern der von der Bemessungssoftware ausgegebene Widerstand V_{Rd} verwendet. Da einerseits das Resultat für den Widerstand ohne Durchstanzbewehrung und andererseits der Widerstand der gewählten Korblösung überprüft werden sollen, werden die Mittelwerte der Momente in den Stützstreifen für beide Fälle in x- und y-Richtung bestimmt:

$$m_{sd,i} = V_{Rd} \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{|e_{u,i}|}{2b_s}\right)$$

$$e_{ux} = \frac{M_{yd}}{V_d} = \frac{-60}{1100} = -54.5 \text{ mm}$$

$$e_{uy} = \frac{M_{xd}}{V_d} = \frac{30}{1100} = 27.3 \text{ mm}$$

$$m_{sd,x} = 803 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{|-54.5|}{2 \cdot 2139}\right) = 111 \text{ kNm/m}$$

$$m_{sd,y} = 803 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{|27.3|}{2 \cdot 2139}\right) = 105 \text{ kNm/m}$$

$$m_{sd,x} = 1189 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{|-54.5|}{2 \cdot 2139} \right) = 164 \text{ kNm/m}$$

$$m_{sd,y} = 1189 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{|27.3|}{2 \cdot 2139} \right) = 156 \text{ kNm/m}$$

Mithilfe der vorgängig bestimmten Parameter lassen sich die Rotationen wiederum für die Lösung ohne und die Lösung mit Durchstanzbewehrung bestimmen:

$$\psi_i = 1.5 \cdot \frac{r_{si}}{d} \cdot \frac{f_{sd}}{E_s} \cdot \left(\frac{m_{sd,i}}{m_{Rd,i}} \right)^{3/2}$$

Ohne Durchstanzbewehrung

$$\psi_x = 1.5 \cdot \frac{1540}{316} \cdot \frac{435}{205000} \cdot \left(\frac{111}{204} \right)^{3/2} = \underline{0.006}$$

$$\psi_y = 1.5 \cdot \frac{1320}{316} \cdot \frac{435}{205000} \cdot \left(\frac{105}{194} \right)^{3/2} = 0.005$$

Mit Durchstanzbewehrung

$$\psi_x = 1.5 \cdot \frac{1540}{316} \cdot \frac{435}{205000} \cdot \left(\frac{164}{204} \right)^{3/2} = \underline{0.011}$$

$$\psi_y = 1.5 \cdot \frac{1320}{316} \cdot \frac{435}{205000} \cdot \left(\frac{156}{194} \right)^{3/2} = 0.010$$

Es zeigt sich, dass die massgebenden Rotationen mit derjenigen aus der Bemessungssoftware übereinstimmen.

Überprüfung des Tragwiderstandes

Für die Überprüfung der Tragwiderstände werden in einem ersten Schritt der Umfang des Nachweisschnittes bei der Stütze u_0 sowie der Umfang des Nachweisschnittes ausserhalb des Korbes u_1 bestimmt. Der Umfang des Nachweisschnittes im Bereich der Stütze ergibt sich als:

$$a_x \leq 3 \cdot d_{v0} \quad a_y \leq 3 \cdot d_{v0}$$

$$k_e \cdot u_0 = k_e \cdot [2 \cdot (a_x + a_y) + d_{v0} \cdot \pi]$$

$$k_e \cdot u_0 = 0.92 \cdot [2 \cdot (400 + 200) + 316 \cdot \pi] = 2013 \text{ mm}$$

Da die Schubverteilung entlang des äusseren Nachweisschnittes gleichmässiger ist als in Stützennähe, darf der k_e -Wert für die Berechnung des Umfangs des äusseren Nachweisschnittes erhöht werden. Der erhöhte k_e -Wert kann wie folgt abgeschätzt werden:

$$d_{v1} = 350 - 20 - 14 - 20 - 10 = 286 \text{ mm}$$

$$b = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \left[(a_{Korb} + d_{v1})^2 - d_{v1}^2 \cdot \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \right]}$$

$$b = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \left[(900 + 286)^2 - 286^2 \cdot \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \right]} = 1330 \text{ mm}$$

$$k_{e1} = \frac{1}{1 + \frac{e_u}{b}} = \frac{1}{1 + \frac{61}{1330}} = 0.96$$

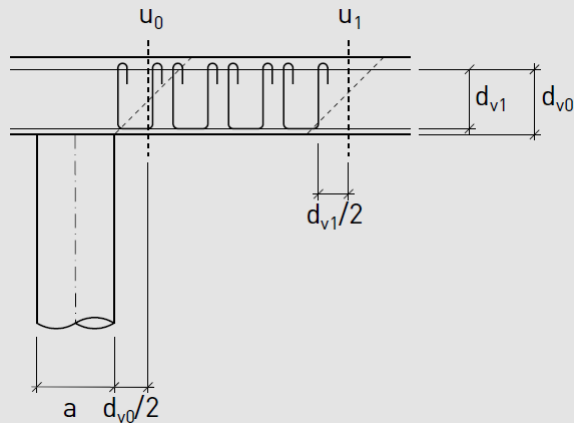


Bild 21: Nachweisschnitte bei einer DURA Korblösung

$$k_{e1} \cdot u_1 = k_{e1} \cdot [4 \cdot a_{Korb} + d_{v1} \cdot \pi]$$

$$k_{e1} \cdot u_1 = 0.96 \cdot [4 \cdot 900 + 286 \cdot \pi] = 4301 \text{ mm}$$

Der k_r -Wert lässt sich mithilfe der von der Software ausgegebenen Rotationen, die bereits vorgängig überprüft wurden, bestimmen. Dies wiederum für den Fall ohne und mit Durchstanzbewehrung.

$$k_r = \frac{1}{0.45 + 0.18 \cdot \psi \cdot d \cdot k_g} \leq 2.0$$

$$k_r = \frac{1}{0.45 + 0.18 \cdot 0.0061 \cdot 316 \cdot 1.0} = 1.25$$

$$k_r = \frac{1}{0.45 + 0.18 \cdot 0.0107 \cdot 316 \cdot 1.0} = 0.94$$

Der Tragwiderstand ohne Durchstanzbewehrung ergibt sich als:

$$V_{Rd,c0} = k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d_{v0} \cdot k_e \cdot u_0$$

$$V_{Rd,c0} = 1.25 \cdot 1.0 \cdot 316 \cdot 2013 \cdot 10^{-3} = \underline{795 \text{ kN}} \approx 803 \text{ kN}$$

Es zeigt sich, dass der von Hand berechnete Tragwiderstand gut mit der Lösung der Software übereinstimmt.

Bei der Bemessungssoftware wird ebenfalls die Last, die innerhalb des Nachweisschnittes angreift, zum Tragwiderstand V_{Rd} addiert. Bei Flachdecken ist dieser Anteil jedoch in der Regel gering und kann daher bei einer Handüberprüfung vernachlässigt werden. Bei Bodenplatten kann die Reaktion infolge der zulässigen Bodenpressung innerhalb des Nachweisschnittes jedoch relevant sein und sollte daher auch bei der Handüberprüfung berücksichtigt werden.

Für die Überprüfung des Tragwiderstands der gewählten Korblösung sind jeweils alle drei Nachweise – Betondruckdiagonale, Durchstanzen im Bereich des Korbes und Durchstanzen ausserhalb des Korbes – zu überprüfen. Der Widerstand der Betondruckdiagonale bei der Bemessung nach Gutachten ergibt sich aus:

$$V_{Rd,cc0} = 2.5 \cdot k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d_{v0} \cdot k_e \cdot u_0 \leq 3.5 \cdot \tau_{cd} \cdot d_{v0} \cdot k_e \cdot u_0$$

$$V_{Rd,cc0} = 2.5 \cdot 0.94 \cdot 1.0 \cdot 316 \cdot 2013 \cdot 10^{-3} = \underline{1495 \text{ kN}} > 1189 \text{ kN}$$

Es zeigt sich, dass der berechnete Tragwiderstand grösser als der Wert der Software ist. D. h., dies ist nicht der massgebende Nachweis.

Der Tragwiderstand ausserhalb des DURA Korbes ergibt sich anhand des Umfangs des Nachweisschnittes ausserhalb des Korbes:

$$V_{Rd,c1} = k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d_{v1} \cdot k_{e1} \cdot u_1$$

$$V_{Rd,c1} = 0.94 \cdot 1.0 \cdot 286 \cdot 4301 \cdot 10^{-3} = \underline{1156 \text{ kN} \cong 1189 \text{ kN}}$$

Es zeigt sich, dass der von Hand berechnete Widerstand etwa gleich dem von der Software berechneten massgebenden Widerstand und kleiner als der Widerstand der Betondruckdiagonale ist. D. h., dies ist höchstwahrscheinlich der massgebende Nachweis.

Für den Nachweis im Bereich des DURA Korbes ist als erstes die Spannungen in der Durchstanzbewehrung anhand der von der Software ausgegebenen Rotation zu ermitteln. Hierfür benötigt man den Stabdurchmesser der Durchstanzbewehrung. Dieser ist in der DURA Produktdokumentation dargestellt. Bei einem DURA-90 Korb ist $\varnothing_{bg} = 10 \text{ mm}$. Dies führt zu folgenden Stahlspannungen in der Durchstanzbewehrung:

$$\sigma_{sd,bg} = \frac{E_{s,bg} \cdot \psi}{6} \left(1 + \frac{f_{bd}}{f_{sd,Bg}} \cdot \frac{d}{\varnothing_{bg}} \right) \leq f_{sd,Bg}$$

$$\sigma_{sd,bg} = \frac{205000 \cdot 0.0107}{6} \left(1 + \frac{2.4}{435} \cdot \frac{316}{10} \right) = 429 \text{ N/mm}^2 < 435 \text{ N/mm}^2$$

Die Fläche der Durchstanzbewehrung für die gewählte DURA Korblösung lässt sich anhand des Durchstanzbewehrungsgehalts bestimmen. Der Durchstanzbewehrungsgehalt ist ebenfalls in der Produktdokumentation aufgeführt und beträgt bei einem DURA-90: $\rho_w = 0.79\%$. Bei Berechnung nach DURA Gutachten ergibt sich für die anrechenbare Durchstanzbewehrung:

$$A_{s,bg0} = \left[2 \cdot (a_x + a_y) + 2 \cdot \left(0.25 + \frac{0.75}{2} \right) \cdot d_{v0} \cdot \pi \right] \cdot 0.75 d_{v0} \cdot \rho_w$$

$$A_{s,bg0} = [2 \cdot (400 + 200) + 1.25 \cdot 316 \cdot \pi] \cdot 0.75 \cdot 316 \cdot 0.79\% = 4570 \text{ mm}^2$$

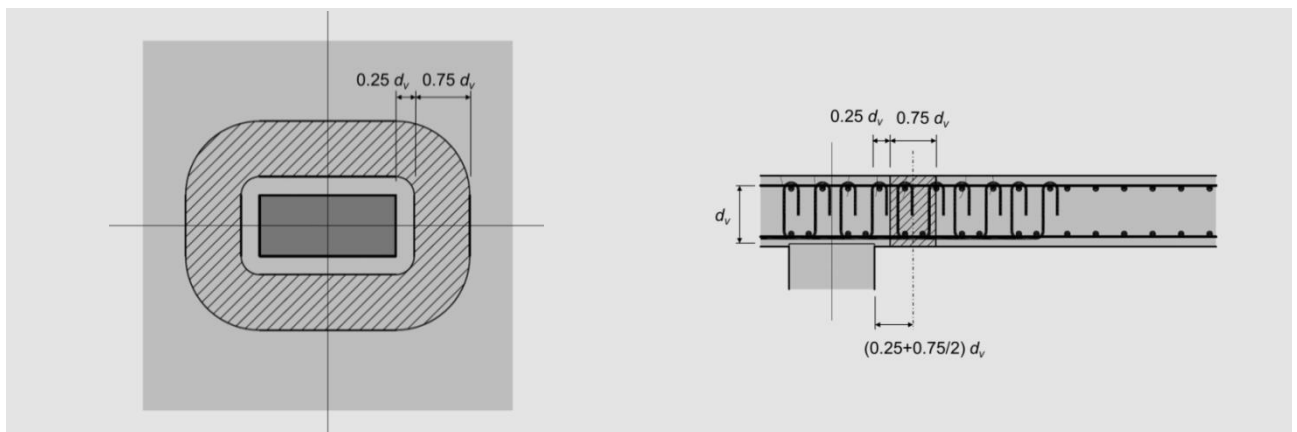


Bild 22: Zu berücksichtigender Bereich der Durchstanzbewehrung gemäss DURA Gutachten

Mithilfe der Spannungen und der Fläche der Durchstanzbewehrung ergibt sich der Tragwiderstand als:

$$V_{Rd,cs0} = k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d_{v0} \cdot u + k_e \cdot \sigma_{sd,bg} \cdot A_{s,bg0}$$

$$V_{Rd,cs0} = 0.94 \cdot 1.0 \cdot 316 \cdot 2013 + 0.92 \cdot 429 \cdot 4570 = \underline{2402 \text{ kN} > 1189 \text{ kN}}$$

Es zeigt sich, dass der von Hand berechnete Widerstand um einiges grösser ist als der von der Software berechnete massgebende Widerstand ($\Delta V_{Rd} > 85\%$) und ebenfalls um einiges grösser als der Widerstand ausserhalb der Durchstanzbewehrung. D. h., dies ist nicht der massgebende Nachweis.

Es kann ebenfalls gezeigt werden, dass die Angabe der Software $V_{Rd,s}/V_d > 0.5$ zutrifft (Bemessung nach Gutachten):

$$V_{Rd,s0} = k_e \cdot f_{sd} \cdot A_{s,bg0} = 0.92 \cdot 435 \cdot 4570 = 1829 \text{ kN} > \underline{\frac{V_d}{2} = 550 \text{ kN}}$$

Wie bereits vermutet, ist der Nachweis ausserhalb der Durchstanzbewehrung der massgebende Nachweis. Der von Hand berechnete Wert stimmt gut mit der Lösung der Software überein. Demzufolge kann das Resultat der Software als richtig angenommen werden.

Handüberprüfung einer Lösung mit Stahlpilz und Körben

Wird als Lösung eine Kombination von Körben mit einem Stahlpilz gewählt, kann die Handüberprüfung in ähnlicher Weise wie bei einer reinen Korblösung geführt werden. Allerdings wird bei Lösungen mit Stahlpilz und Kombinationen von Stahlpilz mit Körben in den meisten Fällen der Widerstand des Stahlpilzes und nicht der Durchstanzwiderstand der Platte massgebend. Da der Widerstand des Stahlpilzes durch die F.J. Aschwanden AG garantiert wird, muss dieser nicht selber vom Ingenieur überprüft werden. Es kann jedoch nachgewiesen bzw. überprüft werden, ob die Platte nicht massgebend wird. D.h., der Durchstanzwiderstand der Platte muss grösser oder gleich dem in der Software angegebenen Widerstand sein. Eine Überprüfung der Rotation ist in diesem Fall schwieriger, da die Rotation für den Durchstanzwiderstand der Platte bestimmt wird. Wie dieses Beispiel aber zeigt, kann die Bruchrotation ebenfalls von Hand abgeschätzt bzw. überprüft werden.

Als Beispiel werden dieselben Eingabewerte wie vorgängig verwendet. Die Bemessung nach Gutachten berücksichtigt das Zusammenwirken von Stahlbetonplatte und Stahlpilz. Um den Aufwand der Handüberprüfung einer Lösung mit Stahlpilz zu begrenzen, wird von einer Bemessung nach SIA 262:2013 statt nach Gutachten ausgegangen und nachfolgend dargestellt:

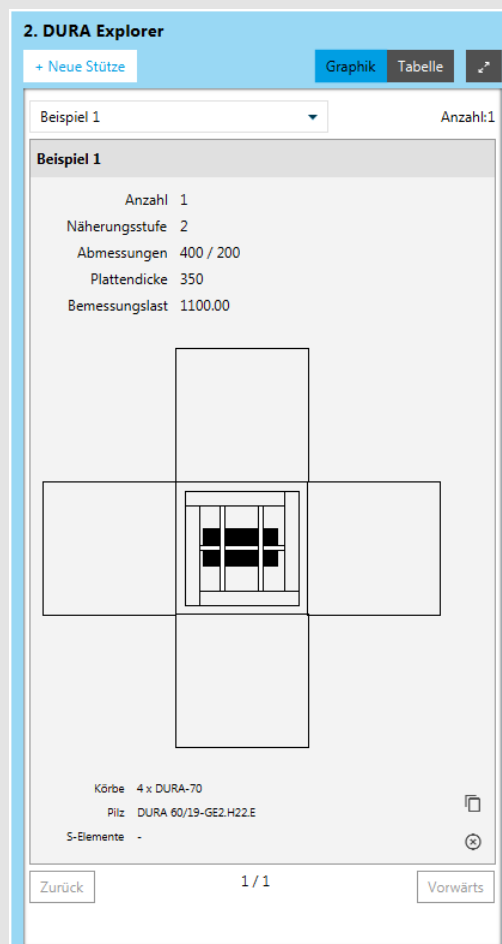


Bild 23: Beispiel 1: Angaben zur einer Stahlpilzlösung in Kombination mit Körben

Überprüfung Tragwiderstand

Für die Berechnung des Widerstandes ausserhalb des Pilzes muss die schubwirksame statische Höhe bestimmt werden:

$$d_{v2} = h - c_o - \frac{\phi_{4Lg} + \phi_{3Lg}}{2} - h_A - h_{zp}$$

$$d_{v2} = 350 - 20 - 14 - 0 - 40 = 276 \text{ mm}$$

Beim Stahlpilz stützen sich die Schubkräfte beim Steg des Randprofils ab und nicht am Ende des Flansches. Deshalb müssen für die Berechnung des Umfangs des äusseren Nachweisschnittes die Abstände der Profilstege ermittelt werden. Die Grösse des Randprofils wird allerdings aus marktwirtschaftlichen Gründen nicht von der Software ausgegeben. Für eine Handüberprüfung lässt sich aber die Breite des Randprofils einfach abschätzen. Für dieses Beispiel wird angenommen, dass die Breite des Randprofils pro Profil etwa 10% der Pilzgrösse entspricht. Dies ergibt schliesslich die Länge bzw. Breite von:

$$c_{eff} \cong 0.8 \cdot 600 = 480 \text{ mm}$$

Da die Schubverteilung entlang des Nachweisschnittes ausserhalb des Stahlpilzes wie bei den Körben ebenfalls gleichmässiger verteilt ist als im Bereich der Stützen, darf der k_e -Wert für die Berechnung des Umfangs des äusseren Nachweisschnittes erhöht werden. Der erhöhte k_e -Wert kann wie folgt abgeschätzt werden:

$$b = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \left[(480 + 276)^2 - 276^2 \cdot \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \right]} = 977 \text{ mm}$$

$$k_e = \frac{1}{1 + \frac{e_u}{b}} = \frac{1}{1 + \frac{61}{977}} = 0.94$$

Der Umfang des äusseren Nachweisschnittes ergibt sich als:

$$k_e \cdot u_2 = 0.94 \cdot [4 \cdot 480 + 276 \cdot \pi] = 2787 \text{ mm}$$

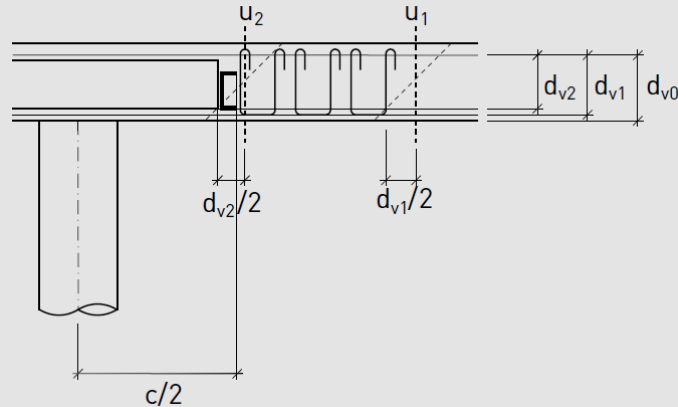


Bild 24: Nachweisschnitte bei einer DURA Stahlpilzlösung in Kombination mit DURA Körben

Mithilfe der Rotation aus der Software kann der k_r -Wert berechnet werden:

$$k_r = \frac{1}{0.45 + 0.18 \cdot \psi \cdot d \cdot k_g} \leq 2.0$$

$$k_r = \frac{1}{0.45 + 0.18 \cdot 0.0124 \cdot 316 \cdot 1.0} = 0.87$$

Für den Nachweis ausserhalb des Pilzes können die DURA Körbe mitberücksichtigt werden:

$$\sigma_{sd,bg} = \frac{E_{s,bg} \cdot \psi}{6} \left(1 + \frac{f_{bd}}{f_{sd,Bg}} \cdot \frac{d}{\phi_{bg}} \right) \leq f_{sd,Bg}$$

$$\sigma_{sd,bg} = \frac{205000 \cdot 0.0124}{6} \left(1 + \frac{2.4}{435} \cdot \frac{316}{10} \right) = 498 \text{ N/mm}^2 \rightarrow 435 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{s,bg2} = 4 \cdot 480 \cdot 0.65 \cdot 276 \cdot 0.79\% = 2721 \text{ mm}^2$$

Der Tragwiderstand kann bei DURA Pilzen in Kombination mit DURA Körben ebenfalls mit dem additiven Modell berechnet werden:

$$V_{Rd,cs2} = k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d_v \cdot k_e \cdot u_2 + k_e \cdot \sigma_{sd,bg} \cdot A_{s,bg}$$

$$V_{Rd,cs2} = 0.87 \cdot 1.0 \cdot 276 \cdot 2787 + 0.94 \cdot 435 \cdot 2721 = \underline{1782 \text{ kN} > 1148 \text{ kN}}$$

Es zeigt sich, dass der Tragwiderstand der Handüberprüfung deutlich grösser ist als der Widerstand gemäss der Software.

Es kann auch gezeigt werden, dass die Angabe der Software $V_{Rd,s}/V_d > 0.5$ zutrifft (Bemessung nach Norm):

$$V_{Rd,s2} = k_e \cdot \sigma_{sd,bg} \cdot A_{s,bg} = 0.94 \cdot 435 \cdot 2721 = 1113 \text{ kN} > \frac{V_d}{2} = 550 \text{ kN}$$

Zusätzlich muss wiederum überprüft werden, ob der Nachweis der Betondruckdiagonale erfüllt wird:

$$V_{Rd,cc2} = 2.0 \cdot k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d_{v2} \cdot k_e \cdot u_2$$

$$V_{Rd,cc2} = 2 \cdot 0.87 \cdot 1.0 \cdot 276 \cdot 2787 = 1332 \text{ kN} > 1148 \text{ kN}$$

Es zeigt sich, dass der Tragwiderstand der Handüberprüfung grösser ist als der Widerstand gemäss der Software.

Für eine abschliessende Nachrechnung muss ebenfalls der Nachweis ausserhalb der Körbe geführt werden. Dieser Nachweis ist analog wie vorgängig bei der Nachrechnung der Körbe zu führen.

Da in diesem Beispiel die Diagonaldistanz des äusseren Nachweisschnittes grösser als $2 \cdot 1.5 d_{v1}$ ist, ergibt sich für den Umfang des Nachweisschnittes ausserhalb der Körbe:

$$k_e \cdot u_1 = 0.94 \cdot [4 \cdot 700 + 286 \cdot \pi + 4 \cdot 2 \cdot 1.5 \cdot 286] = 6703 \text{ mm}$$

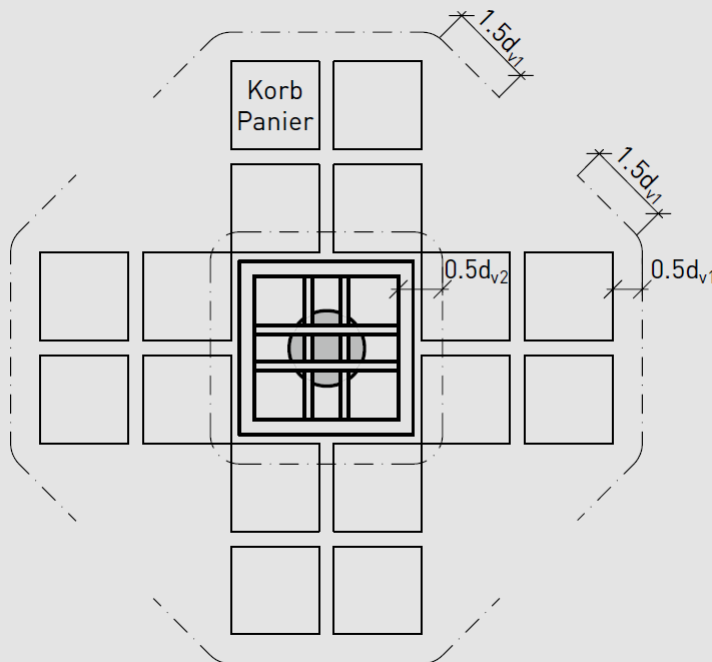


Bild 25: Innerer und äusserer Nachweisschnitt bei einem Stahlpils in Kombination mit Körben

Dies führt zu einem Tragwiderstand ausserhalb der DURA Körbe von

$$V_{Rd,c1} = 0.87 \cdot 1.0 \cdot 286 \cdot 6703 = \underline{1668 \text{ kN} > 1148 \text{ kN}}$$

Es zeigt sich, dass der Tragwiderstand der Handüberprüfung grösser ist als der Widerstand gemäss der Software.

Wie bereits erwähnt, ist der Nachweis des Widerstands des Stahlpilzes massgebend. Die von Hand berechneten Werte sind höher als die Lösung der Software. Demzufolge kann das Resultat der Software als sicher angenommen werden.

Überprüfung Rotation

Für die Überprüfung der Rotation lassen sich die mittleren Biegemomente im Stützstreifen anhand des massgebenden Durchstanzwiderstands der Handüberprüfung ermitteln. In diesem Beispiel ist der Widerstand der Betondruckdiagonale ($V_{Rd,cc2} = 1332 \text{ kN}$) massgebend:

$$m_{sd,i} = V_{Rd} \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{e_{u,i}}{2b_s} \right)$$

$$m_{sd,x} = 1332 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{|-54.5|}{2 \cdot 2139} \right) = 183 \text{ kNm/m}$$

$$m_{sd,y} = 1332 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{|27.3|}{2 \cdot 2139} \right) = 175 \text{ kNm/m}$$

Mithilfe der vorgängig bestimmten Parameter lassen sich die Rotationen bestimmen:

$$\psi_i = 1.5 \cdot \frac{r_{si}}{d} \cdot \frac{f_{sd}}{E_s} \cdot \left(\frac{m_{sd,i}}{m_{Rd,i}} \right)^{3/2}$$

$$\psi_x = 1.5 \cdot \frac{1540}{316} \cdot \frac{435}{205000} \cdot \left(\frac{183}{203} \right)^{3/2} = \underline{0.013 \approx 0.012}$$

$$\psi_y = 1.5 \cdot \frac{1320}{316} \cdot \frac{435}{205000} \cdot \left(\frac{175}{193} \right)^{3/2} = 0.011$$

Die Rotation entspricht in etwa der Bruchrotation der Software.

Exkurs: Was ist der k_{sys} -Wert? / Berechnung nach Gutachten

Gemäss SIA 262, 4.3.6.5.8 darf der Faktor 2 in Gleichung (69) erhöht werden, wenn eine besonderes wirksame Durchstanzbewehrung angeordnet wird. Dieser Faktor 2 wird deshalb oft auch als Systembeiwert bzw. k_{sys} bezeichnet. Wie der Name bereits andeutet, ist der Systembeiwert unter anderem vom Durchstanzsystem abhängig. Allerdings ist zu beachten, dass dieser Wert kein physikalischer Parameter ist, sondern für jedes System experimentell bestimmt werden muss. D. h., der k_{sys} ist nicht ausschliesslich vom Durchstanzsystem, sondern auch von verschiedenen anderen Parametern, wie z.B. von der Anordnung der Durchstanzbewehrung, der Platten- und Stützegeometrie und dem Biegebewehrungsgehalt abhängig. Es ist deshalb darauf zu achten, wie der k_{sys} -Wert für das jeweilige System bestimmt wurde – insbesondere in Anbetracht dessen, dass er teilweise als Marketinginstrument gebraucht wird. Um die Qualität eines Gutachtens bzw. die Bestimmung des k_{sys} -Werts zu beurteilen, können folgende Anhaltspunkte betrachtet werden:

Verfügbarkeit des Gutachtens

Um die Qualität des Gutachtens beurteilen zu können, muss es für den Ingenieur einsehbar sein. Das DURA Gutachten ist zusammen mit den ausführlichen Dokumentationen in den Aschwanden Ordnern enthalten und ebenfalls auf der Aschwanden Webseite als Download verfügbar.

Aktualität des Gutachtens

Das Gutachten bzw. die Bestimmung des k_{sys} -Wertes sollte wie die Bemessung auf dem neusten Stand der Technik sein. Demzufolge sollte sich das Gutachten auf die aktuell gültige Bemessungsnorm beziehen. Für das DURA Gutachten wurden daher aufgrund der Normrevision die Durchstanzversuche neu ausgewertet und die k_{sys} -Werte neu bestimmt. D. h., das DURA Gutachten bezieht sich auf die Bemessungsgrundlage der Norm SIA 262:2013.

Anzahl Versuche

Eine experimentelle Bestimmung eines Parameters bedingt eine gewisse Anzahl an Versuchen mit der Variation von allen entscheidenden Faktoren. Deshalb wurden für das DURA Gutachten 24 Versuche mit DURA Durchstanzbewehrung (Körbe, S-Elemente, Stahlpilze sowie Kombinationen) durchgeführt und ausgewertet. Dabei wurden ausschliesslich Plattenausschnitte im Massstab 1:1 verwendet und die wichtigsten Parameter variiert, um eine repräsentative statistische Auswertung zu ermöglichen.

Anordnung der Durchstanzbewehrung

Die Anordnung der Durchstanzbewehrung hat einen wesentlichen Einfluss auf den Systembeiwert. Deshalb ergeben sich bei gewissen Durchstanzsystemen zusätzliche Verlegebedingungen, die zum Teil in der Praxis nur sehr schwierig einzuhalten sind. Obwohl sich bei einigen Gutachten die Verlegetoleranzen bei nur 1 bis 2 cm bewegen, müssen sie zwingend eingehalten werden, da der k_{sys} -Wert mit exakt diesen Abständen bestimmt wurde. Werden diese Abstände nicht eingehalten, muss teilweise mit einem geringeren k_{sys} bzw. einem geringeren Sicherheitsniveau gerechnet werden. Schliesslich kann ein Gutachten bzw. der darin enthaltene k_{sys} -Wert nur seriös angewendet werden, wenn die Anordnung in der Praxis der Anordnung in den Versuchen entspricht. In den Versuchen für das DURA

Gutachten wurden die Körbe beispielsweise durchwegs über die Stütze geführt, so wie es in der Praxis ebenfalls ausgeführt wird. Das heisst zwar, dass an vielen Stellen Durchstanzbewehrung vorhanden ist, die nicht direkt an den Durchstanzwiderstand angerechnet werden darf. Allerdings ist diese nichtanrechenbare Durchstanzbewehrung notwendig, um eine sichere und robuste Bemessung mit einem erhöhten k_{sys} -Wert auch für reale Fälle garantieren zu können, ohne dabei spezielle, zum Teil unrealistische Verlegetoleranzen zu fordern. Deshalb sind bei der Anwendung des DURA Gutachtens keine verschärften Verlegevorschriften zu beachten.

Anwendbarkeit in der Praxis

Verschiedene Gutachten haben spezielle Klauseln. Je nachdem wird die Verantwortung vollumfänglich dem Anwender des Gutachtens zugeschoben, sprich: die Verantwortung liegt beim Bauingenieur. Es ist daher darauf zu achten, ob das Gutachten nur für Laborversuche oder aber auch für reale Fälle angewendet werden darf. Das DURA Gutachten beinhaltet keinerlei solche Klauseln und ist daher auch für reale Fälle anwendbar.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass bei einer Bemessung nach Gutachten, wie z.B. mit einem erhöhten k_{sys} -Wert, ebenfalls alle relevanten Randbedingungen berücksichtigt werden müssen. Die Umsetzung der Bemessungsgrundlagen, d. h., die Randbedingungen, sind sowohl bei der Projektierung als auch auf der Baustelle, z.B. mit entsprechenden Kontrollen der Verlegebedingungen, sicherzustellen.

6. Beispiel 2: Quadratische Randstütze

Abschätzung Tragwiderstand

Eine erste Abschätzung des Tragwiderstands kann mit den Diagrammen im Anhang dieses Dokuments erfolgen. Für die Abschätzung bedarf es lediglich der Plattenstärke und des Stützenquerschnitts.

Durchstanzlast	$V_d = 379 \text{ kN}$	Querschnitt	$a_x = 250 \text{ mm}$ $a_y = 250 \text{ mm}$
Plattenstärke	$h = 300 \text{ mm}$	Randabstand	$a_R = 50 \text{ mm}$

Bei rechteckigen Randstützen kann der Wert a wie folgt bestimmt werden:

$$a = \frac{a_x + 2(a_y + a_R)}{3} = \frac{250 + 2(250 + 50)}{3} = 283 \text{ mm}$$

Es zeigt sich, dass der zu erwartende Widerstand ohne Durchstanzbewehrung bei etwa 285 kN ist. Bei Decken mit Durchstanzbewehrung liegt der maximale Durchstanzwiderstand bei etwa 420 kN. D. h., der erforderliche Tragwiderstand kann voraussichtlich mit DURA Körben erreicht werden.

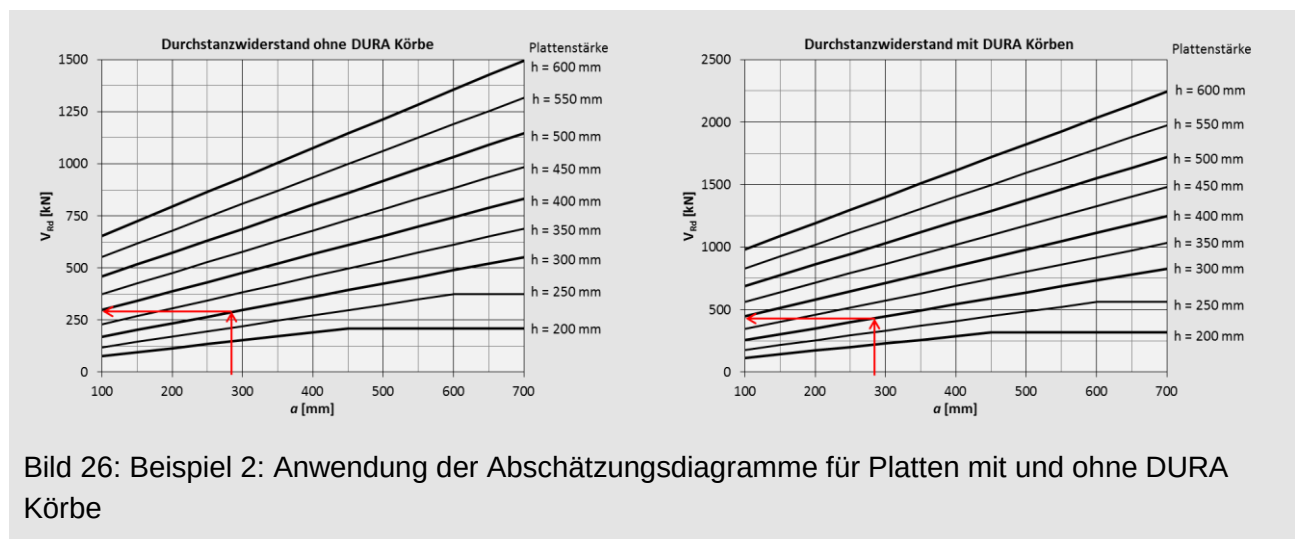


Bild 26: Beispiel 2: Anwendung der Abschätzungsdiagramme für Platten mit und ohne DURA Körbe

Näherungsstufe 2 Bemessung

Die eigentliche Bemessung des Beispiels wird auf Näherungsstufe 2 durchgeführt. Für die Berechnung auf Näherungsstufe 2 sind folgende Angaben erforderlich.

Grundlagen

Eingabeparameter	Wert	Hinweise zur Wahl der Parameter
Berechnungsgrundlage	Norm SIA 262:2013	Die Bemessung erfolgt nach Norm ($k_{\text{sys}}=2.0$)
Plattentyp	Flachdecke	
Ermüdungssichere Körbe verwenden	Nein	Bei diesem Beispiel werden keine ermüdungssicheren Körbe benötigt.

Material

Eingabeparameter	Wert	Hinweise zur Wahl der Parameter
Betonsorte	C25/30	
Grösstkorndurchmesser	32 mm	
Bewehrungsstahl	B500B	

Stützengeometrie

Eingabeparameter	Wert	Hinweise zur Wahl der Parameter
Querschnitt	$a_x = 250 \text{ mm}$ $a_y = 250 \text{ mm}$ $a_R = 50 \text{ mm}$	
Stützeineinsenkung	$h_A = 0 \text{ mm}$	Die Stützeineinsenkung wird für dieses Beispiel als 0 mm angenommen.

Plattengeometrie und Aussparungen

Eingabeparameter	Wert	Hinweise zur Wahl der Parameter
Plattenstärke	$h = 300 \text{ mm}$	
Max. Spannweiten	$l_x = 8000 \text{ mm}$ $l_y = 6000 \text{ mm}$	l_x ist jeweils senkrecht und l_y parallel zum Plattenrand.

Einwirkungen

Eingabeparameter	Wert	Hinweise zur Wahl der Parameter
Durchstanzlast	$V_d = 379 \text{ kN}$	
Nutzlast	$q_d = 10 \text{ kN/m}^2$	
Aufgezwungene Verformungen	Nicht berücksichtigen	Bei der Bemessung wird versucht, die Bedingungen der Ziffer SIA 262, 4.3.6.1.2 zu erfüllen. D. h., Schnittkräfte von aufgezwungenen Verformungen werden in diesem Beispiel nicht berücksichtigt.
Stützeinspannmomente und Quadrant der Lastresultierenden	$ M_{xd} = 1 \text{ kNm}$ $ M_{yd} = 34 \text{ kNm}$ Quadrant = IV	Die Stützeinspannmomente wurden anhand einer FEM-Berechnung bestimmt.

Bewehrung

Eingabeparameter	Wert	Hinweise zur Wahl der Parameter
Bewehrungsüberdeckung oben und unten	$c_o = 20 \text{ mm}$ $c_u = 20 \text{ mm}$	
Bewehrung x-Richtung	2./3. Lage $\emptyset 10 \text{ mm } s=100$ $\emptyset 10 \text{ mm } s=100$	3. Lage 2. Lage
Bewehrung y-Richtung	1./4. Lage $\emptyset 14 \text{ mm } s=100$ $\emptyset 10 \text{ mm } s=100$	4. Lage 1. Lage

Diese Eingaben ergeben einen Durchstanzwiderstand ohne Massnahme von 337 kN und eine Bruchrotation von $\psi_R = 0.0105$. Es kann festgestellt werden, dass der Tragwiderstand ohne Massnahmen nicht erfüllt ist. Weiter wurden bei der Schnittkraftermittlung die aufgezwungenen Verformungen nicht berücksichtigt. D. h., gemäss SIA 262, 4.3.6.1.2 muss entweder die Plattenrotation grösser als 0.02 sein, oder es muss eine Durchstanzbewehrung verwendet werden, die mindestens 50% der Bemessungslast übernimmt. Da die Rotation weit unter 0.02 ist, muss auch bezüglich des Verformungsverhaltens eine Durchstanzbewehrung verwendet werden.

Bei diesem Beispiel wurden keine plastischen Umlagerungen gemacht, da die Bewehrungen anhand einer elastischen Schnittkraftberechnung bestimmt wurden. D. h., selbst wenn die Bruchrotation geringer als 0.02 ist, muss kein zusätzlicher Nachweis geführt werden. Aus diesem Grund wird für dieses Beispiel ein DURA-90 Korb gewählt. Die Tragsicherheit bezüglich der Traglast ist mit einem Durchstanzwiderstand von $V_{Rd} = 485 \text{ kN}$ erfüllt. Ausserdem gibt es mit einer Bruchrotation von $\psi_R = 0.018$ und einem Verhältnis $V_{Rd,s}/V_d > 0.5$ keine weiteren Nachweise zu führen.

— Resultate

Widerstand ohne V_{Rd} 337.6 kN
 Durchstanzmassnahme ψ_R 0.0105

	Art des Elements	Anzahl	Elemente	Widerstand	Kosten	ψ_R	$V_{Rd,s} / V_d$
☐	Korb	2	DURA-70	$V_{Rd} = 485$ kN	50%	0.0182	> 0.5
☒	Korb	1	DURA-90	$V_{Rd} = 485$ kN	37%	0.0182	> 0.5
☐	S-Element/Korb	1	DURA-SR-12-280-231-2	$V_{Rd} = 485$ kN	100%	0.0182	> 0.5
		1	DURA-S-12-250-260-1				
		2	DURA-70				

Art des Elements: Korb Anzahl & Elemente: 1x DURA-90 V_{Rd} : 485 kN Kosten: 37% ψ_R : 0,0182 $V_{Rd,s} / V_d$: > 0.5

Bild 27: Beispiel 2: Lösungstabelle

2. DURA Explorer

+ Neue Stütze

Graphik Tabelle

Beispiel2 Anzahl: 2

Beispiel2

Anzahl 1
 Näherungsstufe 2
 Abmessungen 250 / 250
 Plattendicke 300
 Bemessungslast 379.00

Körbe 1 x DURA-90
 Pilz -
 S-Elemente -

Zurück 2 / 2 Vorwärts

Beispiel 1

Bild 28: Beispiel 1: Detaillierte Angaben zur gewählten Korblösung

In diesem Beispiel liefert die Abschätzung der Traglast im Vergleich zu den Resultaten der Berechnung auf Näherungsstufe 2 relativ konservative Werte. Dies erklärt sich dadurch, dass der k_e -Wert in diesem Beispiel mit 0.94 deutlich grösser als der Näherungswert der Norm (0.70) ist. Würde man die Abschätzung mit diesem Verhältnis multiplizieren, ergibt sich:

$$V_{Rd,c} = 285 \cdot \frac{0.94}{0.70} = 382 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,cc0} = 420 \cdot \frac{0.94}{0.70} = 564 \text{ kN}$$

Im Vergleich zur Berechnung des Tragwiderstandes ohne Durchstanzbewehrung auf Näherungsstufe 2 ist nun eine Differenz von ca. 13% vorhanden und bei der Berechnung des Tragwiderstandes mit Durchstanzbewehrung von ca. 16%. Allerdings, wie später gezeigt wird, ist bei diesem Beispiel der Abschätzungswert sogar näher bei den Resultaten einer Berechnung nach Näherungsstufe 3 als die Resultate der Berechnung auf Näherungsstufe 2.

Wie bereits erwähnt, gilt es in diesem Beispiel anzumerken, dass der berechnete k_e -Wert verglichen mit dem Näherungswert relativ hoch ist. Dies liegt daran, dass die Betonstütze mit einer Seitenlänge von 250 mm eine geringe Steifigkeit besitzt und deshalb nur eine geringe Stützeinspannung vorhanden ist. Dies kann auch bei der Betrachtung der Schubspannungsverteilung im Nachweisschnitt gezeigt werden. Bild 29 zeigt die resultierende Schubspannungsverteilung entlang des Nachweisschnitts (die Abrundungen in den Ecken des Nachweisschnitts sind nicht dargestellt).

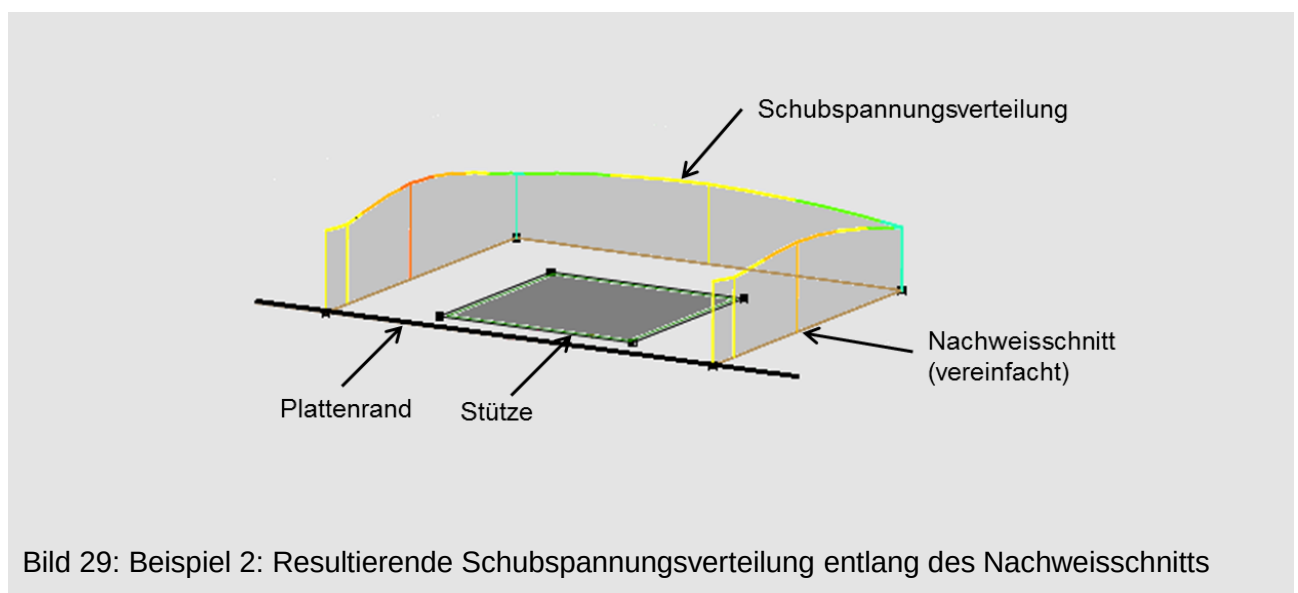


Bild 29: Beispiel 2: Resultierende Schubspannungsverteilung entlang des Nachweisschnitts

Näherungsstufe 3 Bemessung

Bei regelmässig gestützten Innenstützen entsprechen die Resultate bei einer Bemessung auf Näherungsstufe 2 etwa derjenigen einer Berechnung auf Näherungsstufe 3. Daher lohnt sich der zusätzliche Aufwand in den wenigsten Fällen. Bei Rand- und Eckstützen sowie in Bereichen von Wandenden und Wandecken kann sich jedoch eine genauere Untersuchung lohnen. Für eine Bemessung auf Näherungsstufe 3 sind folgende zusätzliche Angaben mithilfe eines FEM-Programms zu bestimmen. Die Daten können am einfachsten auf dem FEM-Datenblatt (Anhang C) notiert und anschliessend in die Software übertragen werden.

Stützenbezeichnung	<i>Beispiel 2 Randstütze</i>			
Querkraft	V_d [kN]	<i>379</i>		
Stützenkopfmoment	$ M_{xd} $ [kNm]	<i>1</i>		
	$ M_{yd} $ [kNm]	<i>34</i>		
	Quadrant	<i>IV</i>		
Näherungsstufe 3	x_1	x_2	y_1	y_2
Spannweite I [mm]	<i>8000</i>	<i>-</i>	<i>6000</i>	<i>5000</i>
Nullpunktabstand r_s [mm] ¹⁾	<i>471</i>	<i>-</i>	<i>1566</i>	<i>1593</i>
Bemessungsmoment m_{sd} [kNm/m]	<i>34</i>	<i>-</i>	<i>110</i>	<i>93</i>
Stützstreifenbreite	b_{sx} [mm]	<i>850</i>	b_{sy} [mm]	<i>966</i>
¹⁾ Bei Rand- und Eckstützen zu beachten	$2/3 b_{srx}$ [mm]	<i>567</i>	$2/3 b_{sry}$ [mm]	<i>-</i>

Bild 30: Beispiel 2: Zusammenstellung der Resultate aus der FEM-Berechnung

Die Breiten der Stützstreifen können anhand der Nullpunktabstände r_s und des Randabstands a_R bestimmt werden. Für die Berechnung der Stützstreifenbreite gilt generell die Gleichung SIA 262 (60):

$$b_s = 1.5 \cdot \sqrt{r_{sx} \cdot r_{sy}}$$

Bei Näherungsstufe 1 und 2 ist bei unterschiedlichen angrenzenden Spannweiten gemäss SIA 262, 4.3.6.4.4 jeweils die grössere Spannweite für die Werte r_{sx} und r_{sy} zu berücksichtigen. Für Näherungsstufe 3 wird allerdings in der Norm SIA 262 keine Angabe gemacht, welches r_{sx} und r_{sy} zu berücksichtigen ist. Da die Stützstreifenbreite durch die Spannweiten in alle Richtungen beeinflusst wird, empfiehlt es sich, für Näherungsstufe 3 folgenden Ansatz zu verwenden:

$$b_s = 1.5 \cdot \sqrt[4]{r_{sx1} \cdot r_{sx2} \cdot r_{sy1} \cdot r_{sy2}}$$

Bei der Randstütze im Beispiel ergibt sich die Stützstreifenbreite zu:

$$b_s = 1.5 \cdot \sqrt[3]{r_{sx1} \cdot r_{sy1} \cdot r_{sy2}}$$

$$b_s = 1.5 \cdot \sqrt[3]{471 \cdot 1566 \cdot 1593} = 1583$$

$$b_{sx} = a_{sy} + 2 \cdot (a_{sx} + a_R) = 250 + 2 \cdot (250 + 50) = 850 \text{ mm} < b_s$$

$$b_{sy} = \frac{b_s}{2} + \frac{a_x}{2} + a_R = \frac{1583}{2} + \frac{250}{2} + 50 = 966 \text{ mm}$$

Da in diesem Fall der gemessene Nullpunktsabstand $r_{s,x1} < 2/3 b_{sx}$ ist, gilt gemäss SIA 262, 4.3.6.4.8: $r_{s,x1} = 2/3 b_{sx} = 567 \text{ mm}$. Die Bemessungssoftware überprüft diese Bedingung automatisch. D. h., selbst wenn in der Eingabe $r_{s,x1} = 471 \text{ mm}$ eingegeben wird, rechnet die Bemessungssoftware mit $r_{s,x1} = 567 \text{ mm}$.

Bei der Berechnung auf Näherungsstufe 3 zeigt sich, dass der Tragwiderstand ohne Durchstanzbewehrung erreicht wird.

The screenshot shows a window titled 'Resultate' with a table of results. The table has two rows: 'Widerstand ohne V_{Rd} ' with a value of 387.3, and 'Durchstanzmassnahme ψ_R ' with a value of 0.0080. The unit 'kN' is indicated on the right. Below the table, a message states: 'Es ist keine Durchstanzbewehrung erforderlich.'

Parameter	Value	Unit
Widerstand ohne V_{Rd}	387.3	kN
Durchstanzmassnahme ψ_R	0.0080	

Es ist keine Durchstanzbewehrung erforderlich.

Bild 31: Beispiel 2: Lösung bei einer Berechnung auf Näherungsstufe 3

Da aber die Rotation gleich 0.008 ist, die Schnittkräfte aus aufgezwungenen Verformungen nicht berücksichtigt wurden und keine Einsturzsicherung vorgesehen ist, wird trotzdem eine Durchstanzbewehrung angeordnet. Um in diesem Fall in der Software eine Lösung zu erhalten, wird die Bemessungskraft V_d von 379 kN auf 392 kN ($V_{Rd,c} + 5 \text{ kN}$) erhöht, und die Biegemomente im Stützstreifen und die Stützeinspannmomente werden im Verhältnis $V_{d,neu}/V_{d,alt} = 392/379 = 1.03$ angepasst.

Die neuen Biegemomente im Stützstreifen sind:

	x_1	y_1	y_2
m_{sd} [kNm/m]	35	114	96

und die neuen Stützeinspannmomente:

$$|M_{xd}| = 1 \text{ kNm}$$

$$|M_{yd}| = 35 \text{ kNm}$$

Quadrant = IV

Dies führt zur Lösung mit einem DURA-90 Korb, die eine Bruchrotation von 0.0142 ermöglicht und einen Widerstandsanteil der Durchstanzbewehrung von mindestens 50% V_d hat.

— Resultate

Widerstand ohne V_{Rd} 386.8 kN

Durchstanzmassnahme ψ_R 0.0080

Art des Elements	Anzahl	Elemente	Widerstand	Kosten	ψ_R	$V_{Rd,s} / V_d$
☐ Korb	2	DURA-70	$V_{Rd} = 567 \text{ kN}$	50%	0.0142	> 0.5
☒ Korb	1	DURA-90	$V_{Rd} = 567 \text{ kN}$	37%	0.0142	> 0.5
☐ S-Element/Korb	1	DURA-SR-12-280-231-2	$V_{Rd} = 568 \text{ kN}$	100%	0.0142	> 0.5
	1	DURA-S-12-250-260-1				
	2	DURA-70				

Art des Elements: Korb Anzahl & Elemente: 1x DURA-90 V_{Rd} : 567 kN Kosten: 37% ψ_R : 0.0142 $V_{Rd,s} / V_d$: > 0.5

Bild 32: Beispiel 2: Bestimmung der Durchstanzbewehrung zur Erfüllung der Verformungskriterien

Handüberprüfung der Lösung

Für eine sichere Bemessung ist es zwingend erforderlich, die von der Software berechneten Resultate anhand von einfachen Handrechnungen auf deren Plausibilität zu überprüfen. Dabei ist keine komplette Nachrechnung notwendig. Allerdings ist durch die Komplexität der Norm bereits eine Handüberprüfung mit wesentlichem Aufwand verbunden.

Material	$f_{cd} = 16.7 \text{ N/mm}^2$	$f_{bd} = 2.4 \text{ N/mm}^2$	Bewehrungsfläche	$A_{sx} = 785 \text{ mm}^2/\text{m}$
	$\tau_{cd} = 1.0 \text{ N/mm}^2$	$f_{sd} = 435 \text{ N/mm}^2$		$A_{sy} = 1539 \text{ mm}^2/\text{m}$
Statische Höhe	$d_x = d_y - \frac{14 + 10}{2} = 261 \text{ mm}$		Bewehrungsgehalt	$\rho_x = 0.30\%$
	$d_y = 300 - 20 - \frac{14}{2} = 273 \text{ mm}$			$\rho_y = 0.56\%$
	$d = 267 \text{ mm}$			
	$d_v = 267 \text{ mm}$			

Überprüfung k_e -Wert

Als erstes wird der k_e -Wert überprüft. Bei einer quadratischen Randstütze ohne Aussparungen ergibt sich aus:

$$e_{u,x} = \frac{M_{yd}}{V_d} - \frac{2 \cdot \left(a_x + a_R + \frac{d_v}{2}\right) \cdot \left(\frac{\frac{d_v}{2} - a_R}{2}\right) + (a_y + d_v) \cdot \left(\frac{a_x + d_v}{2}\right)}{2 \cdot \left(a_x + a_R + \frac{d_v}{2}\right) + (a_y + d_v)}$$

$$e_{u,x} = \frac{34000}{379} - \frac{2 \cdot \left(250 + 50 + \frac{267}{2}\right) \cdot \left(\frac{\frac{267}{2} - 50}{2}\right) + (250 + 267) \cdot \left(\frac{250 + 267}{2}\right)}{2 \cdot \left(250 + 50 + \frac{267}{2}\right) + (250 + 267)}$$

$$e_{u,x} = 89.7 - 122.7 = -33.0 \text{ mm}$$

$$e_{u,y} = \frac{M_{xd}}{V_d} = \frac{-1000}{379} = -2.6 \text{ mm}$$

$$e_u = \sqrt{e_{u,x}^2 + e_{u,y}^2} = 33.1 \text{ mm}$$

$$b = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \left[\left(a_x + \frac{d_v}{2} + a_R\right) \cdot (a_y + d_v) - \frac{d_v^2}{2} \cdot \left(1 - \frac{\pi}{4}\right) \right]}$$

$$b = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \left[\left(250 + \frac{267}{2} + 50\right) \cdot (250 + 267) - \frac{267^2}{2} \cdot \left(1 - \frac{\pi}{4}\right) \right]} = 525 \text{ mm}$$

$$k_e = \frac{1}{1 + \frac{e_u}{b}} = \frac{1}{1 + \frac{33.1}{525}} = 0.94$$

Es zeigt sich, dass der von Hand berechnete k_e -Wert mit dem k_e -Wert der Software übereinstimmt.

Überprüfung Rotation

Für die Überprüfung der Rotation muss in einem ersten Schritt der Biege Widerstand in x- und y-Richtung ermittelt werden:

$$m_{Rd} = \rho \cdot d^2 \cdot f_{sd} \cdot \left(1 - \frac{\rho \cdot f_{sd}}{2 \cdot f_{cd}}\right)$$

$$m_{Rd,x} = 0.0030 \cdot 261^2 \cdot 435 \cdot \left(1 - \frac{0.0030 \cdot 435}{2 \cdot 16.7}\right) \cdot 10^{-3} = 85.4 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Rd,y} = 0.0056 \cdot 273^2 \cdot 435 \cdot \left(1 - \frac{0.0056 \cdot 435}{2 \cdot 16.7}\right) \cdot 10^{-3} = 168 \text{ kNm/m}$$

Mithilfe der Parameter aus der FEM-Berechnung lassen sich die Rotationen für den Tragwiderstand ohne Durchstanzbewehrung bestimmen. Die Biegemomente im Stützstreifen müssen allerdings entsprechend dem Verhältnis $V_{Rd}/V_d = 387/379 = 1.021$ erhöht werden, um die Rotation beim Bruch zu erhalten:

$$\psi_i = 1.2 \cdot \frac{r_{si}}{d} \cdot \frac{f_{sd}}{E_s} \cdot \left(\frac{m_{sd,i}}{m_{Rd,i}}\right)^{3/2}$$

$$\psi_x = 1.2 \cdot \frac{567}{267} \cdot \frac{435}{205000} \cdot \left(\frac{34.7}{85.4}\right)^{3/2} = 0.001$$

$$\psi_{y1} = 1.2 \cdot \frac{1566}{267} \cdot \frac{435}{205000} \cdot \left(\frac{112.3}{168}\right)^{3/2} = 0.008$$

$$\psi_{y2} = 1.2 \cdot \frac{1593}{267} \cdot \frac{435}{205000} \cdot \left(\frac{95.0}{168}\right)^{3/2} = 0.006$$

Es zeigt sich, dass die massgebende Rotation mit derjenigen aus der Bemessungssoftware übereinstimmt.

Überprüfung des Tragwiderstandes

Für die Überprüfung der Tragwiderstände wird in einem ersten Schritt der Umfang des Nachweisschnittes bei der Stütze u_0 bestimmt:

$$k_e \cdot u_0 = k_e \cdot \left[2 \cdot (a_x + a_R) + a_y + d_v \cdot \frac{\pi}{2}\right]$$

$$k_e \cdot u_0 = 0.94 \cdot \left[2 \cdot (250 + 50) + 250 + 267 \cdot \frac{\pi}{2}\right] = 1193 \text{ mm}$$

Der k_r -Wert lässt sich mithilfe der von der Software ausgegebenen Rotationen, die bereits vorgängig überprüft wurden, bestimmen.

$$k_r = \frac{1}{0.45 + 0.18 \cdot \psi \cdot d \cdot k_g} \leq 2.0$$

$$k_r = \frac{1}{0.45 + 0.18 \cdot 0.008 \cdot 267 \cdot 1.0} = 1.20$$

$$V_{Rd,c0} = k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d_v \cdot k_e \cdot u_0$$

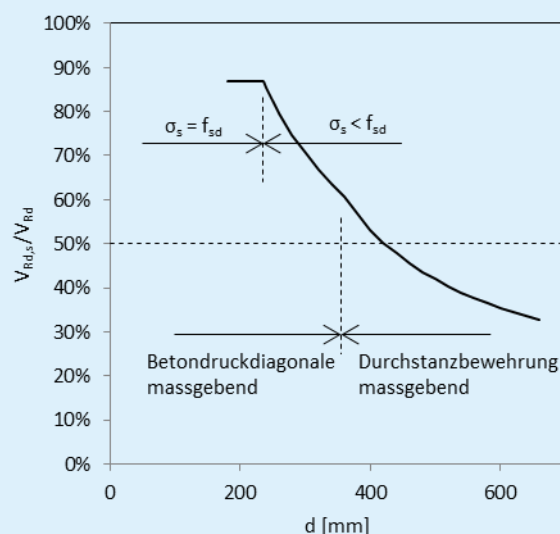
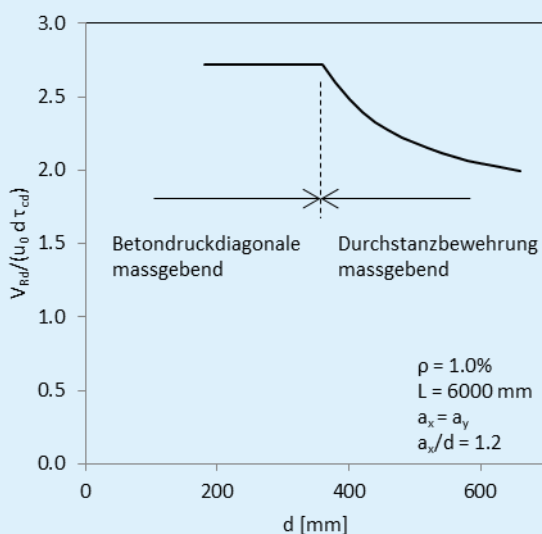
$$V_{Rd,c0} = 1.20 \cdot 1.0 \cdot 267 \cdot 1193 \cdot 10^{-3} = \underline{\underline{382 \text{ kN} \approx 387 \text{ kN}}}$$

Es zeigt sich, dass der berechnete Tragwiderstand etwa dem der Software entspricht.

Exkurs: Wissenswertes über Bodenplatten / Einzelfundamente

Grundsätzlich werden die Bodenplatten gleich wie die Flachdecken bemessen. Es gibt allerdings Unterschiede bei den Verformungsbedingungen. Die Ziffer 4.1.4.2.6, „Rotationen kleiner als 0.008 sollten vermieden werden“, und 4.1.4.2.5, „Schnittgrössen dürfen bei Rotation kleiner als 0.02 nicht ohne rechnerischen Nachweis des Verformungsvermögens umgelagert werden“, beziehen sich gemäss SIA 262:2013 explizit auf Flachdecken. Dementsprechend kann davon ausgegangen werden, dass sie nicht für Bodenplatten anzuwenden sind. Die DURA Bemessungssoftware gibt deshalb keine Hinweise zu diesen Bedingungen, falls als Plattentyp „Bodenplatte“ ausgewählt wurde.

In Bezug auf Bodenplatten ergibt sich allerdings auch eine problematische Situation mit dem neuen Bemessungsansatz der revidierten Norm SIA 262:2013. Dies betrifft zwar nicht nur Bodenplatten sondern auch gedrungene Flachdecken, aber im Fall von Bodenplatten ist die Problematik am offensichtlichsten. Bei der Bemessung der Durchstanzbewehrung wird davon ausgegangen, dass die Durchstanzbewehrung durch die Plattenrotation aktiviert wird. Bei Bodenplatten bzw. gedungenen Flachdecken ergeben sich erwartungsgemäss nur geringe Rotationen. Dies führt gemäss dem zugrundeliegenden Modell zu geringen Spannungen in der Durchstanzbewehrung (SIA 262:2013, Gl. (68)). Dies kann anhand der nachfolgenden Diagramme gezeigt werden. Bei geringer statischer Höhe ist der Widerstand vielfach durch die Betondruckdiagonale begrenzt. Bei grösserer statischer Höhe wechselt der massgebende Nachweis infolge der geringen Spannungen in der Durchstanzbewehrung zum Versagen innerhalb des durchstanzbewehrten Bereichs. Beim nachfolgenden Beispiel (Diagramm links) nimmt der berechnete Widerstand ab einer statischen Höhe von ca. 350 mm (entspricht in etwa einer Plattendicke von $h = 400$ mm) rasch ab. Dies führt dazu, dass nur noch ein geringer Widerstandsgewinn durch die Durchstanzbewehrung entsteht. Dies verunmöglicht praktisch die Erfüllung von Bedingung (66) der Norm SIA 262:2013 ($V_{Rd,s} > 0.5 V_d$), wie das Diagramm rechts zeigt.



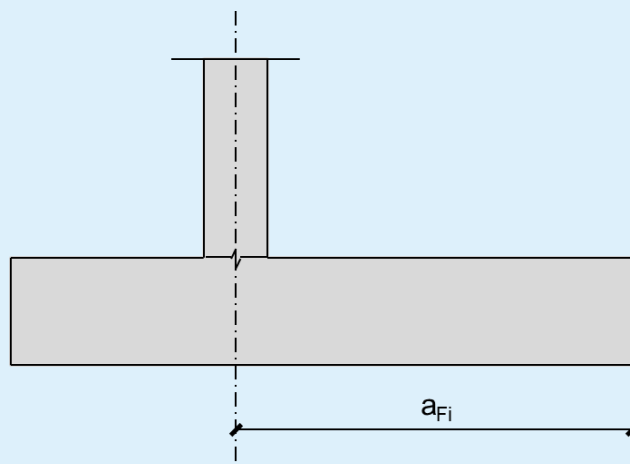
Die Normkommission SIA 262 hat dieses Problem ebenfalls erkannt und arbeitet, gemäss Auskunft der Normkommission, an einer Ergänzung zur Norm SIA 262:2013. Da diese Problematik allerdings schon länger bekannt ist, hat die F.J. Aschwanden AG zur Einführung der revidierten Norm einen zusätzlichen Bemessungsansatz hinzugefügt, der ebenfalls im DURA Gutachten erläutert ist. Dabei wird davon ausgegangen, dass bei gedrunen Platten, wie z.B. Bodenplatten, die Aktivierung der Durchstanzbewehrung infolge von Schubverformungen stattfindet und diese somit die Fließspannung erreicht. Da allerdings für eine vollständige Aktivierung der Durchstanzbewehrung grosse Schubverformungen notwendig sind, ist mit einem vollständigen Verlust des Traganteils des Betons an den Durchstanzwiderstand zu rechnen. D.h., in diesem Fall darf lediglich der Anteil der Durchstanzbewehrung ohne jeglichen Traganteil des Betons an den Durchstanzwiderstand angerechnet werden. Dieser Bemessungsansatz wird in der DURA Bemessungssoftware bei der Berechnung nach Norm SIA 262:2013 und nach Gutachten verwendet. Dies ist insofern speziell, da dies in der Berechnungsgrundlage „nach Norm SIA 262:2013“ die einzige Abweichung gegenüber der Norm SIA 262:2013 darstellt. Aufgrund der zurzeit mangelhaften Grundlage der Norm und der Absicherung durch Versuche ist dieses Vorgehen jedoch als angemessen zu betrachten.

Einzelfundamente können generell wie Bodenplatten behandelt werden. Dabei können die Eingabeparameter für die Spannweiten l_x und l_y folgendermassen bestimmt werden:

$$l_x = a_{Fx}/0.22$$

$$l_y = a_{Fy}/0.22$$

wobei a_{Fx} die längere Distanz zwischen Stützenzentrum und Fundamentrand in x-Richtung und a_{Fy} die längere Distanz zwischen Stützenzentrum und Fundamentrand in y-Richtung ist.



7. Beispiel 3: Wandecke

Modellierung

Die Modellierung erfolgt linear-elastisch ungerissen mit einer FE-Software. Dabei werden die Decken und Wände als Schalenelemente modelliert und monolithisch miteinander verbunden. Die Wände sind am Fuss linienförmig aufgelagert.

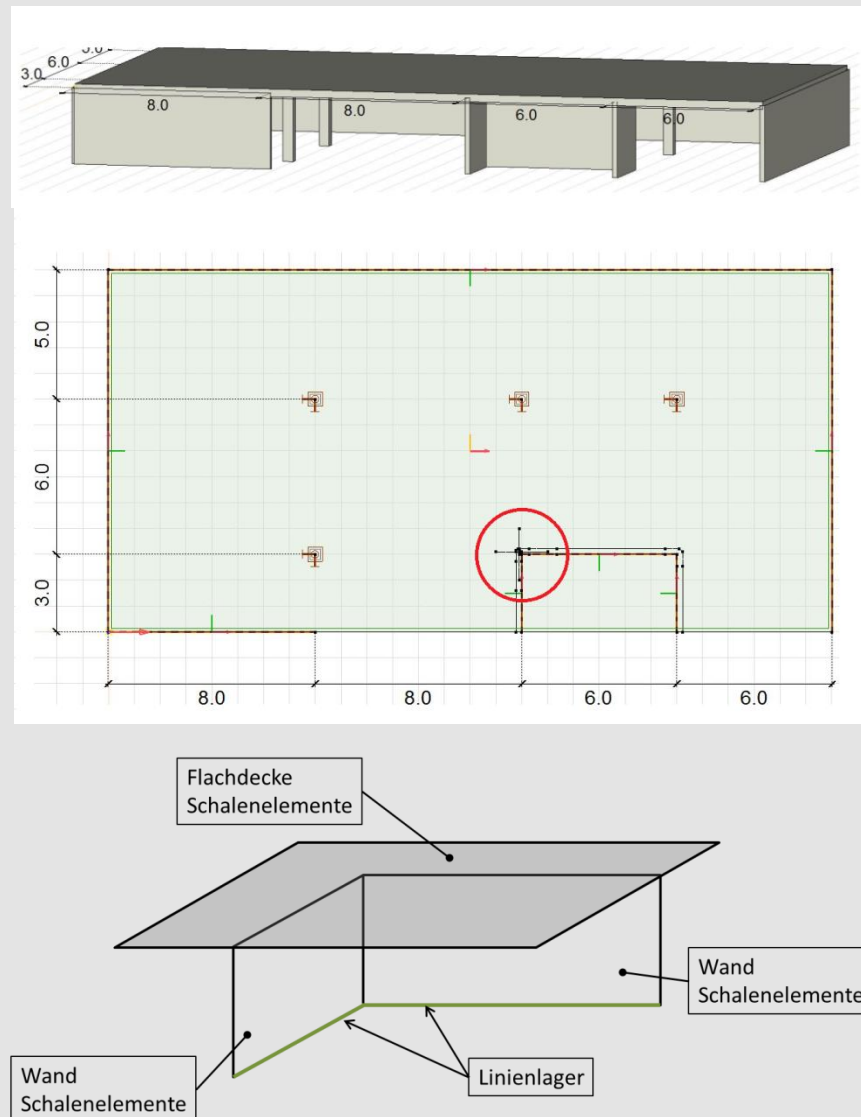


Bild 33: Beispiel 3: Bemessungssituation und Modellierung

Da in diesem Fall die Durchstanzeinwirkung nicht wie bei Stützen direkt anhand der Reaktion bestimmt werden kann, wird die Bemessungslast anhand des Querkraftverlaufs im Nachweisschnitt bestimmt. Bei Wandecken ist die Nachweisschnittlänge gemäss Norm mit 1.5 dv vom Eckpunkt anzunehmen (siehe Figur 22c, SIA 262:2013).

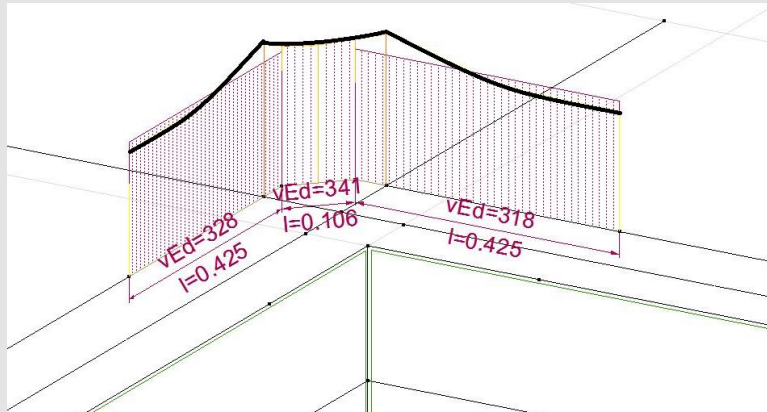


Bild 34: Beispiel 3: Bemessungssituation und Modellierung

Die Integration der Querkräfte entlang des Nachweisschnittes ergibt die Bemessungslast für den Durchstanznachweis ($V_d = 310$ kN). Es gilt darauf hinzuweisen, dass bei der Eingabe in die Software die Bemessungslast noch um die Last, welche innerhalb des Nachweisschnittes angreift erhöht werden muss ($V_d = 313$ kN), da die Bemessungssoftware diese automatisch in der Bemessung berücksichtigt und den Durchstanzwiderstand um den entsprechenden Wert vergrößert.

Abschätzung Tragwiderstand

Eine erste Abschätzung des Tragwiderstands kann mit den Diagrammen im Anhang dieses Dokuments erfolgen. Für die Abschätzung bei Wandecken bedarf es lediglich der Plattenstärke:

Durchstanzlast $V_d = 310$ kN Plattenstärke $h = 300$ mm

Der zu erwartende Widerstand ohne Durchstanzbewehrung beträgt etwa 260 kN. Bei Decken mit Durchstanzbewehrung liegt der maximale Durchstanzwiderstand bei etwa 400 kN. D. h., der erforderliche Tragwiderstand kann voraussichtlich mit DURA Körben erreicht werden.

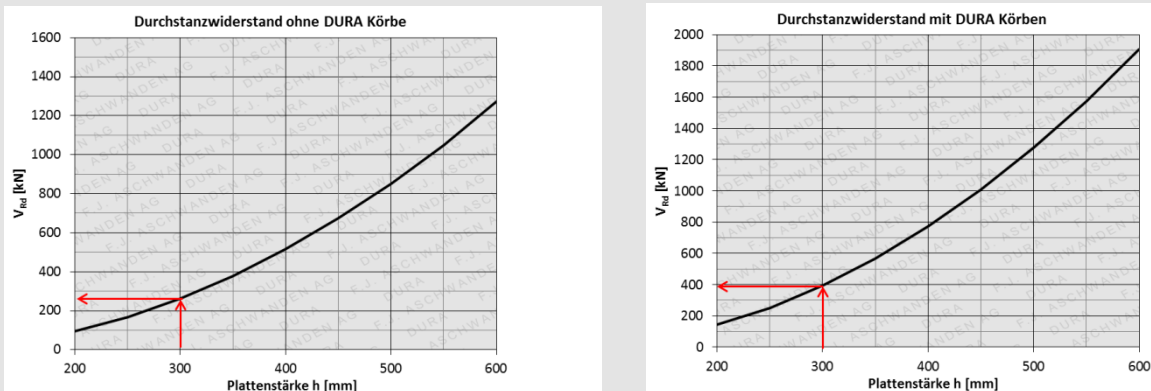


Bild 35: Beispiel 3: Anwendung der Abschätzungsdiagramme für Platten mit und ohne DURA Körbe

Näherungsstufe 3 Bemessung

Die eigentliche Bemessung des Beispiels wird auf Näherungsstufe 3 durchgeführt. Bei Wandecken kann eine normkonforme Berechnung nur auf Näherungsstufe 3 ausgeführt werden.

Grundlagen

Eingabeparameter	Wert	Hinweise zur Wahl der Parameter
Berechnungsgrundlage	Norm SIA 262:2013	Die Bemessung erfolgt nach Norm ($k_{\text{sys}}=2.0$)
Plattentyp	Flachdecke	
Ermüdungssichere Körbe verwenden	Nein	Bei diesem Beispiel werden keine ermüdungssicheren Körbe benötigt.

Material

Eingabeparameter	Wert	Hinweise zur Wahl der Parameter
Betonsorte	C25/30	
Grösstkorndurchmesser	32 mm	
Bewehrungsstahl	B500B	

Stützegeometrie

Eingabeparameter	Wert	Hinweise zur Wahl der Parameter
Querschnitt	$a_x = 200 \text{ mm}$ $a_y = 200 \text{ mm}$	
Stützeinsenkung	$h_A = 0 \text{ mm}$	Die Stützeinsenkung wird für dieses Beispiel als 0 mm angenommen.

Plattengeometrie und Aussparungen

Eingabeparameter	Wert	Hinweise zur Wahl der Parameter
Plattenstärke	$h = 300 \text{ mm}$	

Eingabe Näherungsstufe 3

Eingabeparameter	Wert	Hinweise zur Wahl der Parameter
Spannweiten	$L_{x1} = 8000 \text{ mm}$ $L_{y2} = 6000 \text{ mm}$	
Nullpunktabstände	$r_{sx1} = 1570 \text{ mm}$ $r_{sy2} = 1170 \text{ mm}$	
Mittlere Biegemomente im Stützstreifen	$m_{sdx1} = 134 \text{ kNm/m}$ $m_{sdy2} = 105 \text{ kNm/m}$	

Stützenbezeichnung	Beispiel 3 Wandecke			
Querkraft	V _d [kN]	313		
Stützenkopfmoment <i>Berechnung von k_e mit Querkraftverlauf im Nachweisschnitt</i>	M _{xd} [kNm]	—		
	M _{yd} [kNm]	—		
	Quadrant	— $k_e = \frac{325}{372} = 0.87$		
Näherungsstufe 3	x ₁	x ₂	y ₁	y ₂
Spannweite l [mm]	8000	—	—	6000
Nullpunktabstand r _s [mm] ¹⁾	1570	—	—	1170
Bemessungsmoment m _{sd} [kNm/m]	134	—	—	105
Stützstreifenbreite	b _{sx} [mm]	2000	b _{sy} [mm]	2000
¹⁾ Bei Rand- und Eckstützen zu beachten	2/3 b _{srx} [mm]	—	2/3 b _{sy} [mm]	—

Bild 36: Beispiel 3: Zusammenstellung der Resultate aus der FEM-Berechnung

Da bei dieser Modellierungsmethode keine Stützeneinspannmomente bestimmt werden können, wird der k_e-Wert anhand der Querkraftverteilung im Nachweisschnitt ermittelt:

$$k_e = \frac{v_{d,mittel}}{v_{d,max}} = \frac{325}{372} = 0.87$$

Der k_e-Wert berücksichtigt den ungleichmässigen Verlauf der Querkraftbeanspruchung entlang des Nachweisschnittes. Für den Nachweis der Tragsicherheit wird der maximale Wert der Querkraft v_{d,max} dem Widerstand v_{Rd} gegenübergestellt. Die Norm SIA 262:2013 berücksichtigt diesen Umstand durch den Reduktionsfaktor k_e für den Nachweisschnitt. D.h., die einwirkende Querkraft wird auf k_e·u₀ verteilt. Daraus folgt, dass auf die reduzierte Länge v_{d,max} wirkt. Aus dieser Betrachtung kann k_e aus v_{d,mittel} und v_{d,max} bestimmt werden.

Einwirkungen

Eingabeparameter	Wert	Hinweise zur Wahl der Parameter
Durchstanzlast	V _d = 313 kN	
Nutzlast	q _d = 11.3 kN /m ²	
Aufgezwungene Verformungen	Nicht berücksichtigt	Bei der Bemessung wird versucht, die Bedingungen der Ziffer SIA 262, 4.3.6.1.2 zu

erfüllen. D. h., Schnittkräfte von aufgezwungenen Verformungen werden in diesem Beispiel nicht berücksichtigt.

k_e -Wert 0.87

Bewehrung

Eingabeparameter	Wert	Hinweise zur Wahl der Parameter
Bewehrungsüberdeckung oben und unten	$c_o = 20 \text{ mm}$ $c_u = 20 \text{ mm}$	
Bewehrung x-Richtung	1./4. Lage $\varnothing 14 \text{ mm } s=100$ $\varnothing 10 \text{ mm } s=100$	4. Lage 1. Lage
Bewehrung y-Richtung	2./3. Lage $\varnothing 14 \text{ mm } s=100$ $\varnothing 10 \text{ mm } s=100$	3. Lage 2. Lage

Diese Eingaben ergeben einen Durchstanzwiderstand ohne Durchstanzbewehrung von 275 kN und eine Bruchrotation von $\psi_R = 0.009$. Es kann festgestellt werden, dass der Tragwiderstand ohne Massnahmen nicht erfüllt ist.

Resultate

Widerstand ohne V_{Rd}	275.4	kN
Durchstanzmassnahme ψ_R	0.0086	

Art des Elements	Anzahl	Elemente	Widerstand	Kosten	ψ_R	$V_{Rd,s} / V_d$
☒ Korb	1	DURA-70	$V_{Rd} = 349 \text{ kN}$	32%	0.0123	> 0.5
☐ S-Element/Korb	1	DURA-SR-12-379-260-1	$V_{Rd} = 402 \text{ kN}$	100%	0.0152	> 0.5
	1	DURA-SR-12-379-231-2				
	1	DURA-70				

Art des Elements: Korb Anzahl & Elemente: 1x DURA-70 V_{Rd} : 349 kN Kosten: 32% ψ_R : 0.0123 $V_{Rd,s} / V_d$: > 0.5

Bild 37: Beispiel 2: Lösungstabelle

Bei diesem Beispiel wurden keine plastischen Umlagerungen gemacht, da die Bewehrungen anhand einer elastischen Schnittkraftberechnung bestimmt wurden. D. h., selbst wenn die Bruchrotation geringer als 0.02 ist, muss kein zusätzlicher Nachweis geführt werden. Aus diesem Grund wird für dieses Beispiel ein DURA-70 Korb gewählt. Die Tragsicherheit bezüglich der Traglast ist mit einem Durchstanzwiderstand von $V_{Rd} = 349 \text{ kN}$ erfüllt. Ausserdem gibt es mit einer Bruchrotation von $\psi_R = 0.012$ und einem Verhältnis $V_{Rd,s} / V_d > 0.5$ keine weiteren Nachweise zu führen.

Die Berechnung nach Näherungsstufe 3 bestätigt das Ergebnis der Abschätzung des Tragwiderstands aus den Diagrammen des Anhang A.

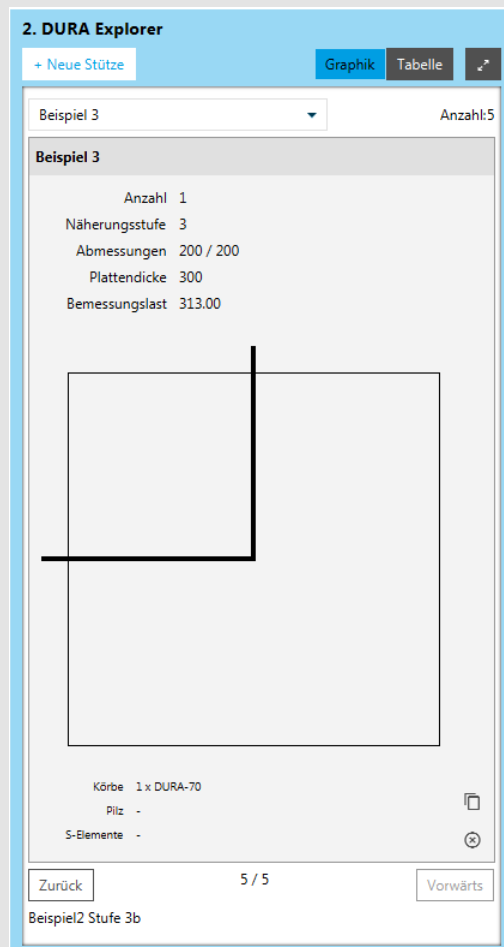


Bild 38: Beispiel 3: Detaillierte Angaben zur gewählten Korblösung

Handüberprüfung der Lösung

Für eine sichere Bemessung ist es zwingend erforderlich, die von der Software berechneten Resultate anhand von einfachen Handrechnungen auf deren Plausibilität zu überprüfen.

Material	$f_{cd} = 16.7 \text{ N/mm}^2$	$f_{bd} = 2.4 \text{ N/mm}^2$	Bewehrungsfläche	$A_{sx} = 1539 \text{ mm}^2/\text{m}$
	$\tau_{cd} = 1.0 \text{ N/mm}^2$	$f_{sd} = 435 \text{ N/mm}^2$		$A_{sy} = 1539 \text{ mm}^2/\text{m}$
Statische Höhe	$d_x = 300 - 20 - \frac{14}{2} = 273 \text{ mm}$		Bewehrungsgehalt	$\rho_x = 0.56\%$
	$d_y = 300 - 20 - 14 - \frac{14}{2} = 259 \text{ mm}$			$\rho_y = 0.59\%$
	$d = 266 \text{ mm}$			
	$d_v = 266 \text{ mm}$			

Überprüfung Rotation

Für die Überprüfung der Rotation muss in einem ersten Schritt der Biege widerstand in x- und y-Richtung ermittelt werden:

$$m_{Rd} = \rho \cdot d^2 \cdot f_{sd} \cdot \left(1 - \frac{\rho \cdot f_{sd}}{2 \cdot f_{cd}}\right)$$

$$m_{Rd,x} = 0.0056 \cdot 273^2 \cdot 435 \cdot \left(1 - \frac{0.0056 \cdot 435}{2 \cdot 16.7}\right) \cdot 10^{-3} = 168 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Rd,y} = 0.0059 \cdot 259^2 \cdot 435 \cdot \left(1 - \frac{0.0059 \cdot 435}{2 \cdot 16.7}\right) \cdot 10^{-3} = 159 \text{ kNm/m}$$

Mithilfe der Parameter aus der FEM-Berechnung lassen sich die Rotationen bestimmen. Die Biegemomente im Stützstreifen müssen allerdings entsprechend dem Verhältnis V_{Rd}/V_d erhöht werden, um die Rotation beim Bruch zu erhalten. Für die Nachrechnung der Rotation ohne Durchstanzbewehrung ergibt sich $V_{Rd}/V_d = 275/313 = 0.879$ und für die Nachrechnung mit Durchstanzbewehrung ergibt sich $V_{Rd}/V_d = 349/313 = 1.115$.

$$\psi_i = 1.2 \cdot \frac{r_{si}}{d} \cdot \frac{f_{sd}}{E_s} \cdot \left(\frac{m_{sd,i}}{m_{Rd,i}}\right)^{3/2}$$

Ohne Durchstanzbewehrung

$$\psi_x = 1.2 \cdot \frac{1570}{266} \cdot \frac{435}{205000} \cdot \left(\frac{0.879 \cdot 134}{168}\right)^{3/2} = 0.009$$

$$\psi_y = 1.2 \cdot \frac{1170}{266} \cdot \frac{435}{205000} \cdot \left(\frac{0.879 \cdot 105}{159}\right)^{3/2} = 0.005$$

Mit Durchstanzbewehrung

$$\psi_x = 1.2 \cdot \frac{1570}{266} \cdot \frac{435}{205000} \cdot \left(\frac{1.115 \cdot 134}{168} \right)^{\frac{3}{2}} = \underline{0.013}$$

$$\psi_y = 1.2 \cdot \frac{1170}{266} \cdot \frac{435}{205000} \cdot \left(\frac{1.115 \cdot 105}{159} \right)^{\frac{3}{2}} = 0.007$$

Es zeigt sich, dass die massgebenden Rotationen mit denjenigen aus der Bemessungssoftware übereinstimmen.

Überprüfung des Tragwiderstandes

Für die Überprüfung der Tragwiderstände werden in einem ersten Schritt der Umfang des Nachweisschnittes bei der Wanddecke u_0 sowie der Umfang des Nachweisschnittes ausserhalb des Korbes u_1 bestimmt. Der Umfang des Nachweisschnittes im Bereich der Stütze ergibt sich als:

$$k_e \cdot u_0 = k_e \cdot d_v \cdot \left(2 \cdot 1.5 + \frac{\pi}{4} \right)$$

$$k_e \cdot u_0 = 0.87 \cdot 266 \cdot \left(2 \cdot 1.5 + \frac{\pi}{4} \right) = 876 \text{ mm}$$

Da die Schubverteilung entlang des äusseren Nachweisschnittes gleichmässiger ist als in Stützennähe, darf der k_e -Wert für die Berechnung des Umfangs des äusseren Nachweisschnittes erhöht werden. Der erhöhte k_e -Wert kann wie folgt abgeschätzt werden:

$$b_0 \cong 2.24 \cdot d_{v0} = 2.24 \cdot 266 = 596 \text{ mm}$$

$$e_u = \frac{1 - k_e}{k_e} \cdot b_0 = \frac{1 - 0.87}{0.87} \cdot 596 = 89 \text{ mm}$$

$$d_{v1} = 300 - 20 - 14 - 20 - 10 = 236 \text{ mm}$$

$$b_1 = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \left[(a_{Korb} + 0.5 \cdot d_{v1})^2 - \frac{d_{v1}^2}{4} \cdot \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \right]}$$

$$b_1 = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \left[(700 + 0.5 \cdot 236)^2 - \frac{236^2}{4} \cdot \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \right]} = 921 \text{ mm}$$

$$k_{e1} = \frac{1}{1 + \frac{e_u}{b_1}} = \frac{1}{1 + \frac{89}{921}} = \underline{0.91}$$

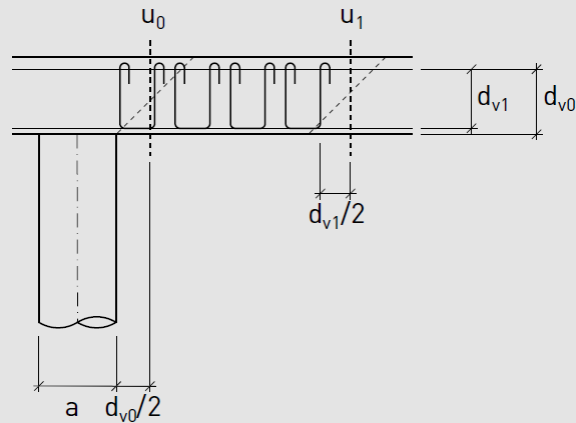


Bild 39: Nachweisschnitte bei einer DURA Korblösung

$$k_{e1} \cdot u_1 = k_e \cdot \left[2 \cdot a_{Korb} + d_{v1} \cdot \frac{\pi}{4} \right]$$

$$k_{e1} \cdot u_1 = 0.91 \cdot \left[2 \cdot 700 + 236 \cdot \frac{\pi}{4} \right] = 1446 \text{ mm}$$

Der k_r -Wert lässt sich mithilfe der von der Software ausgegebenen Rotationen, die bereits vorgängig überprüft wurden, bestimmen. Dies jeweils für den Fall mit und ohne Durchstanzbewehrung.

$$k_r = \frac{1}{0.45 + 0.18 \cdot \psi \cdot d \cdot k_g} \leq 2.0$$

$$k_r = \frac{1}{0.45 + 0.18 \cdot 0.0086 \cdot 266 \cdot 1.0} = 1.16$$

$$k_r = \frac{1}{0.45 + 0.18 \cdot 0.0123 \cdot 266 \cdot 1.0} = 0.96$$

Für die Überprüfung des Tragwiderstands ohne Durchstanzbewehrung ergibt sich aus:

$$V_{Rd,c0} = k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d_{v0} \cdot k_e \cdot u_0$$

$$V_{Rd,c0} = 1.16 \cdot 1.0 \cdot 266 \cdot 876 \cdot 10^{-3} = \underline{\underline{270 \text{ kN} \approx 275 \text{ kN}}}$$

Das Ergebnis entspricht dem Resultat der Software.

Für die Überprüfung des Tragwiderstands der gewählten Korblösung sind jeweils alle drei Nachweise – Betondruckdiagonale, Durchstanzen im Bereich des Korbes und Durchstanzen ausserhalb des Korbes – zu überprüfen. Der Widerstand der Betondruckdiagonale bei der Bemessung nach Norm ergibt sich aus:

$$V_{Rd,cc0} = 2.0 \cdot k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d_{v0} \cdot k_e \cdot u_0 \leq 3.5 \cdot \tau_{cd} \cdot d_{v0} \cdot k_e \cdot u_0$$

$$V_{Rd,cc0} = 2.0 \cdot 0.96 \cdot 1.0 \cdot 266 \cdot 876 \cdot 10^{-3} = \underline{447 \text{ kN}} > 349 \text{ kN}$$

Es zeigt sich, dass der berechnete Tragwiderstand deutlich grösser als der Wert der Software ist. D. h., dies ist nicht der massgebende Nachweis.

Der Tragwiderstand ausserhalb des DURA Korbes ergibt sich anhand des Umfangs des Nachweisschnittes ausserhalb des Korbes:

$$V_{Rd,c1} = k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d_{v1} \cdot k_{e1} \cdot u_1$$

$$V_{Rd,c1} = 0.96 \cdot 1.0 \cdot 236 \cdot 1446 \cdot 10^{-3} = \underline{328 \text{ kN}} \cong 349 \text{ kN}$$

Es zeigt sich, dass der von Hand berechnete Widerstand etwa gleich dem von der Software berechneten massgebenden Widerstand und kleiner als der Widerstand der Betondruckdiagonale ist. D. h., dies ist höchstwahrscheinlich der massgebende Nachweis. Die Abweichung ergibt sich, neben einigen Rundungsdifferenzen, durch den Lastabzug innerhalb des Nachweisschnittes der in der Handüberprüfung vernachlässigt wurde.

Für den Nachweis im Bereich des DURA Korbes ist als erstes die Spannung in der Durchstanzbewehrung anhand der von der Software ausgegebenen Rotation zu ermitteln. Hierfür benötigt man den Stabdurchmesser der Durchstanzbewehrung. Dieser ist in der DURA Produktdokumentation dargestellt. Bei einem DURA-70 Korb ist $\varnothing_{bg} = 10 \text{ mm}$. Dies führt zu folgenden Stahlspannungen in der Durchstanzbewehrung:

$$\sigma_{sd,bg} = \frac{E_{s,bg} \cdot \psi}{6} \left(1 + \frac{f_{bd}}{f_{sd,Bg}} \cdot \frac{d}{\varnothing_{bg}} \right) \leq f_{sd,Bg}$$

$$\sigma_{sd,bg} = \frac{205000 \cdot 0.0123}{6} \left(1 + \frac{2.4}{435} \cdot \frac{266}{10} \right) = 481 \text{ N/mm}^2 > 435 \text{ N/mm}^2$$

Die Fläche der Durchstanzbewehrung für die gewählte DURA Korblösung lässt sich anhand des Durchstanzbewehrungsgehalts bestimmen. Der Durchstanzbewehrungsgehalt ist ebenfalls in der Produktdokumentation aufgeführt und beträgt bei einem DURA-70: $\rho_w = 0.79\%$. Dies ergibt für die anrechenbare Durchstanzbewehrung:

$$A_{s,bg0} = \left[2 \cdot 1.5 \cdot d_v + 2 \left(0.35 + \frac{0.65}{2} \right) \cdot d_{v0} / 4 \cdot \pi \right] \cdot 0.65 d_{v0} \cdot \rho_w$$

$$A_{s,bg0} = [2 \cdot 1.5 \cdot 266 + 1.35 \cdot 266 / 4 \cdot \pi] \cdot 0.65 \cdot 266 \cdot 0.79\% = 1475 \text{ mm}^2$$

Mithilfe der Spannungen und der Fläche der Durchstanzbewehrung ergibt sich der Tragwiderstand als:

$$V_{Rd,cs0} = k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d_{v0} \cdot u + k_e \cdot \sigma_{sd,bg} \cdot A_{s,bg0}$$

$$V_{Rd,cs0} = 0.96 \cdot 1.0 \cdot 266 \cdot 876 + 0.86 \cdot 435 \cdot 1475 = 223.6 \text{ kN} + 551.8 \text{ kN} = \underline{775 \text{ kN} > 349 \text{ kN}}$$

Es zeigt sich, dass der von Hand berechnete Widerstand um einiges grösser ist als der von der Software berechnete massgebende Widerstand und ebenfalls um einiges grösser als der Widerstand ausserhalb der Durchstanzbewehrung. D. h., dies ist nicht der massgebende Nachweis.

Es kann ebenfalls gezeigt werden, dass die Angabe der Software $V_{Rd,s}/V_d > 0.5$ zutrifft:

$$V_{Rd,s0} = k_e \cdot \sigma_{sd} \cdot A_{s,bg0} = 552 \text{ kN} > \underline{\frac{V_d}{2} = 157 \text{ kN}}$$

Wie bereits vermutet, ist der Nachweis ausserhalb der Durchstanzbewehrung der massgebende Nachweis. Der von Hand berechnete Wert stimmt gut mit der Lösung der Software überein. Demzufolge ist das Resultat der Software plausibel.

Exkurs: Vorgespannte Flachdecken

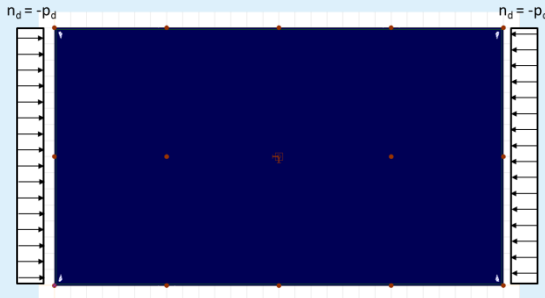
Generell hat die Vorspannung von Flachdecken neben den Vorteilen für die Biegetraglast und das Riss- und Durchbiegungsverhalten auch einen erheblichen Vorteil bezüglich des Durchstanzens von Flachdecken. In der Norm SIA 262:2013 kann die Wirkung der Vorspannung ebenfalls im Durchstanznachweis berücksichtigt werden. Da jedoch in der Norm der Informationsgehalt äusserst gering gehalten wurde, ist ohne zusätzliche Informationsbeschaffung kaum ein sicherer Nachweis möglich. Um etwas Klarheit zu schaffen, wird in diesem Dokument der Hintergrund des Modells aufgearbeitet und versucht dieser - soweit es möglich ist - verständlich darzulegen. Allerdings wird empfohlen bei der Durchstanzbemessung von Flachdecken mit Vorspannung vorteilhafterweise das Engineering Services von Aschwanden miteinzubinden. Dies gilt insbesondere für die Bestimmung des anrechenbaren Lastabzuges innerhalb des Nachweisschnittes infolge der Vorspannung, welcher von der Kabelgeometrie und von der Lage des Nachweisschnittes abhängig ist.

Grundsätzlich stellt sich bei Vorspannung die Frage nach der Bemessungsmethode. Zum einen kann generell die Vorspannung als einwirkende Schnittkraft (Umlenkkräfte und Ankerkräfte) oder als Eigenspannungszustand in der Querschnittsanalyse betrachtet werden. Obwohl nachfolgend beide Betrachtungsweisen dargelegt werden, wird für die einfachere Verständlichkeit empfohlen, bei der Bemessung die Vorspannung als Einwirkung zu betrachten.

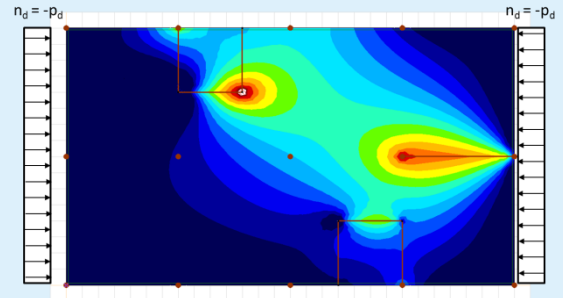
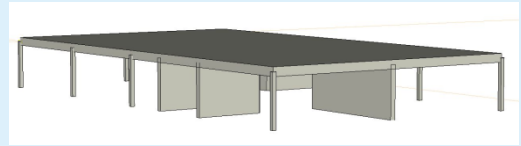
Eine weitere Herausforderung in der Anwendung des Durchstanznachweises stellt sich bezüglich der unterschiedlichen Wirkungsweisen der Vorspannung. Es muss zwischen Vorspannung mit und ohne Verbund unterschieden werden. Während mit Verbund die zusätzliche Tragreserve des Spannkabels infolge des zusätzlichen Spannungsaufbaus (über Verbund) bei der Plattenverformung bis zur Spannung f_{pd} erreicht werden kann, wirken bei Vorspannung ohne Verbund näherungsweise nur die Spannungen infolge der aufgetragenen Vorspannungskraft.

Weiter ist die Kraftverteilung infolge der Ankerkräfte zu beachten. Je nach Gebäudegeometrie kann es sein, dass die Druckkräfte in der Stahlbetonplatte infolge der Ankerkräfte nicht wie erhofft bei der betrachteten Stütze wirken. Dies kann der Fall sein, wenn gegen ein starres Widerlager gespannt wird. Allerdings kann es auch sein, dass die Druckwirkung bereits an anderen Orten abgebaut wird, wie z.B. bei parallel zur Spannrichtung verlaufenden Wänden. So muss zuerst für den Durchstanznachweis untersucht werden, ob die Druckkraft -als Membrankraft- tatsächlich bei der betrachteten Stütze wirkt. Schon allein aus diesem Grund empfiehlt sich eine Betrachtung der Vorspannung als Einwirkung. Das nachfolgende Bild zeigt den Normalkraftverlauf in der Flachdecke für zwei Situationen. Je nach Situation ergeben sich bei der Stütze unterschiedliche Normalkrafteinwirkungen.

a)



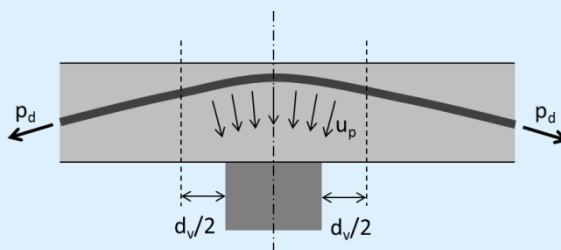
b)



Normalkraftverlauf in der Flachdecke je nach Randbedingungen: a) unbehindert und b) durch Wände behindert

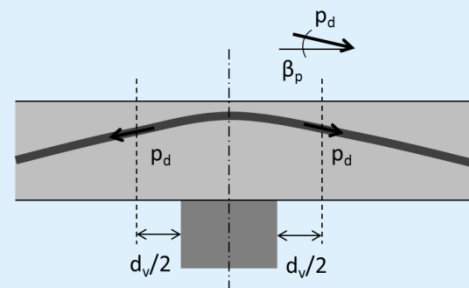
Die Norm SIA 262:2013 behandelt die Vorspannung für den Durchstanznachweis in Ziffer 4.3.6.2.6 und in Ziffer 4.3.6.4.3. Die erstgenannte Ziffer besagt, dass die innerhalb von Nachweisschnitt angreifende Umlenkraft –in der Regel ist dies die belastende Komponente der Umlenkraft- von der Einwirkung abgezogen werden kann. Dies bezieht sich auf die Betrachtung der Vorspannung als Einwirkung. Wird die Vorspannung als Eigenspannungszustand betrachtet, kann die günstige Wirkung der Vorspannung analog Ziffer 4.3.3.4.9 (Querkraft) berücksichtigt werden. Dabei wird die Querkrafteinwirkung um den vertikalen Anteil des geneigten Spanngliedes im Nachweisschnitt abgemindert.

Betrachtung als Einwirkung



$$\Delta V = \int_{-d_v/2}^{+d_v/2} u_p(x) dx$$

Betrachtung als Eigenspannungszustand



$$\Delta V = 2 \cdot p_d \cdot \sin \beta_p$$

Die Ziffer 4.3.6.4.3 besagt, dass in Gleichung (59) das Biegemoment im Stützstreifen m_{sd} mit $(m_{sd} - m_{Dd})$ und der Biege Widerstand m_{Rd} mit $(m_{Rd} - m_{Dd})$ ersetzt werden kann, wobei m_{Dd} das Dekompressionsmoment im Stützstreifen bezeichnet. Somit gilt grundsätzlich

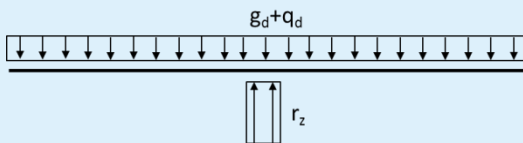
$$\left(\frac{m_{sd}}{m_{Rd}}\right) \rightarrow \left(\frac{m_{sd} - m_{Dd}}{m_{Rd} - m_{Dd}}\right)$$

Wobei sich in Anbetracht der verschiedenen Betrachtungen und Vorspanneigenschaften die Frage stellt, wie die jeweiligen Werte bestimmt werden. Diesbezüglich sind im Anhang E für die wichtigsten Fälle die Formeln zur Bestimmung dieser Werte zusammengestellt.

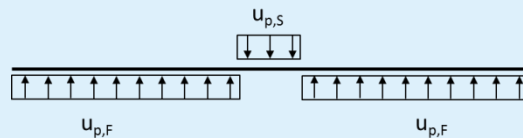
Das schwierige am Verständnis dabei ist, dass innerhalb dieser Gleichung (50) verschiedene Einflüsse der Vorspannung vorhanden sind. Zusätzlich kommt erschwerend dazu, dass je nach Betrachtungsweise diese Einflüsse an unterschiedlichen Stellen in der Gleichung auftreten. Für den Fall, dass die Vorspannung als Einwirkung betrachtet werden, ergeben sich folgende Einflüsse.

Das mittlere Biegemoment im Stützstreifen (m_{sd}) wird im Vergleich zum vorhanden Biegemoment ohne Berücksichtigung der Vorspannung in Abhängigkeit der Kabelgeometrie - infolge der Umlenkkräfte- reduziert. Dieser Effekt kann beim Durchstanznachweis allerdings nur auf Näherungsstufe 3 berücksichtigt werden.

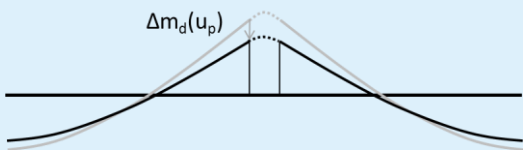
a) Einwirkungen und Stützenreaktion



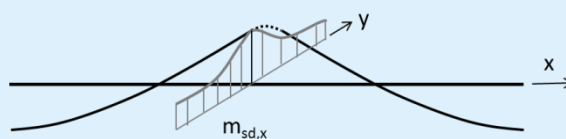
b) Umlenkkräfte gemäss Kabelgeometrie



c) Reduktion der Biegemomente infolge Umlenkkräfte



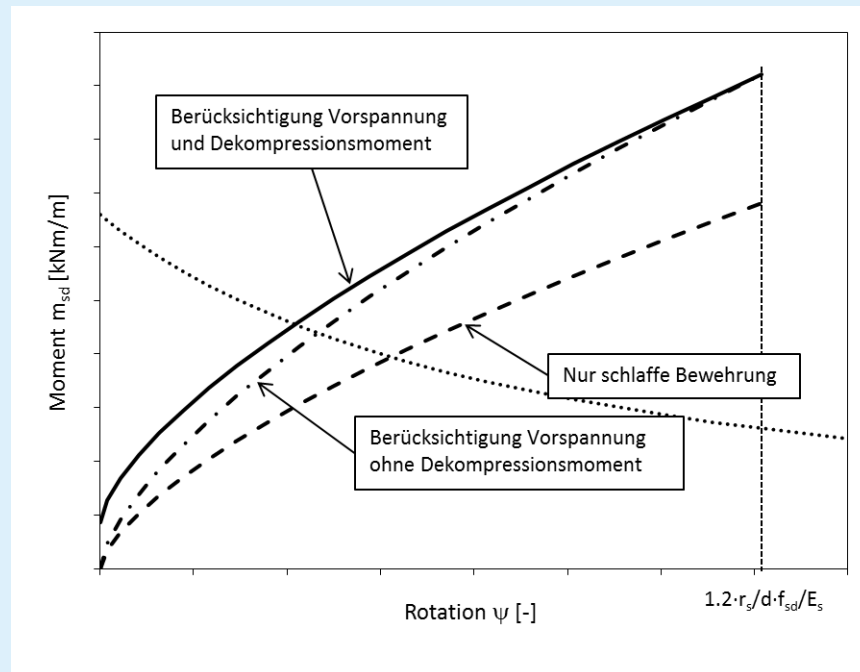
d) Bestimmung mittlere Biegemomente im Stützstreifen



Der Biege Widerstand m_{Rd} erhöht sich im Vergleich zum Biege Widerstand ohne Vorspannung. Allerdings ergibt sich diese Erhöhung nur wenn Verbund vorhanden ist oder wenn bei der betrachteten Stütze Normalkräfte infolge der Ankerkräfte wirken.

Falls Verbund vorhanden ist, kann zusätzlich noch die Differenz des Bemessungswerts des Spannstahlwiderstands und der Bemessungswert der Vorspannkraft ($a_p \cdot f_{pd} - p_d$) mobilisiert werden. Dies führt bei einer Exzentrizität des Spanngliedes zu einem Zuwachs des Biege Widerstandes. Falls bei der betrachteten Stütze Normalkraft infolge der Ankerkräfte wirken, erhöht sich der Biege Widerstand weiter infolge zusätzlicher Druckkraft im betrachteten Querschnitt.

Das Dekompressionsmoment berücksichtigt im Durchstanznachweis, dass infolge der Vorspannung die Rissbildung im Stahlbetonquerschnitt behindert wird. Mit zunehmender Rotation wird der Einfluss des Dekompressionsmoments geringer, wie im nachfolgenden Diagramm zu sehen ist.



Für den Fall, dass die Vorspannung als Eigenspannungszustand betrachtet wird, ist das mittlere Biegemoment im Stützstreifen (m_{sd}) gleich dem vorhandenen Biegemoment ohne Vorspannung. Allerdings wird in diesem Fall der Biegezugwiderstand deutlich erhöht, da nun für dessen Berechnung der Bemessungswert des Spannstahlwiderstands ($a_p \cdot f_{pd}$) mitberücksichtigt wird. Allerdings ist dies nur bei Vorspannung mit Verbund und falls bei der betrachteten Stütze Normalkraft infolge der Ankerkräfte wirken der Fall. Ansonsten sind nur Teilaspekte zu berücksichtigen (Siehe Anhang E). Das Dekompressionsmoment kann in ähnlicher Weise wie bei der Betrachtung der Vorspannung als Einwirkung ermittelt werden. Jedoch ist die Exzentrizität des Vorspanngliedes zu berücksichtigen.

8. Bezeichnungen

a	Äquivalente Stützenabmessung
a_{Korb}	Korbabmessung
a_R	Randabstand der Stütze in x-Richtung (Randstütze)
a_{Rx}, a_{Ry}	Randabstand der Stütze in x- bzw. y-Richtung (Eckstütze)
$A_{s,bg0}$	Bewehrungsfläche der Körbe im Bereich der Stütze
$A_{s,bg2}$	Bewehrungsfläche der Körbe ausserhalb des Stahlpilzes oder des S-Elementes
A_{sx}, A_{sy}	Bewehrungsfläche der Biegebewehrung in x- bzw. y-Richtung
a_x, a_y	Stützenabmessung in x- bzw. y-Richtung
b	Durchmesser in flächengleichen Kreis umgewandelter Fläche innerhalb des Nachweisschnittes
b_{srx}, b_{sry}	oberer Grenzwert für die repräsentative Breite des Stützstreifens quer zum Plattenrand
b_s	repräsentative Breite der Stützstreifen
b_{sx}, b_{sy}	repräsentative Breite des Stützstreifens in x- bzw. y-Richtung
c	Pilzabmessung
c_{eff}	Pilzabmessung ohne Randprofil
c_o	Bewehrungsüberdeckung oben
c_u	Bewehrungsüberdeckung unten
d	Mittlere statische Höhe
d_x, d_y	Statische Höhe der Bewehrung in x- bzw. y-Richtung
D_{max}	Grösstkorn der Gesteinskörnung
d_{v0}	Schubwirksame statische Höhe im Nachweisschnitt u_0
d_{v1}	Schubwirksame statische Höhe im Nachweisschnitt u_1
d_{v2}	Schubwirksame statische Höhe im Nachweisschnitt u_2
E_c	Elastizitätsmodul des Betons
E_s	Elastizitätsmodul der Biegebewehrung
$E_{s,bg}$	Elastizitätsmodul der Körbe
e_u	Exzentrizität der Resultierenden der Auflagerkraft
$e_{u,x}, e_{u,y}$	Exzentrizität der Resultierenden der Auflagerkraft in x- bzw. y-Richtung
Δe	Abstand des Schwerpunktes des Nachweisschnittes zur Stützenachse
f_{bd}	Bemessungswert der Verbundspannung
f_{cd}	Bemessungswert der Zylinderdruckfestigkeit des Betons
f_{ck}	Charakteristischer Wert der Zylinderdruckfestigkeit des Betons
f_{sd}	Bemessungswert der Fließgrenze der Biegebewehrung
$f_{sd,bg}$	Bemessungswert der Fließgrenze der Körbe

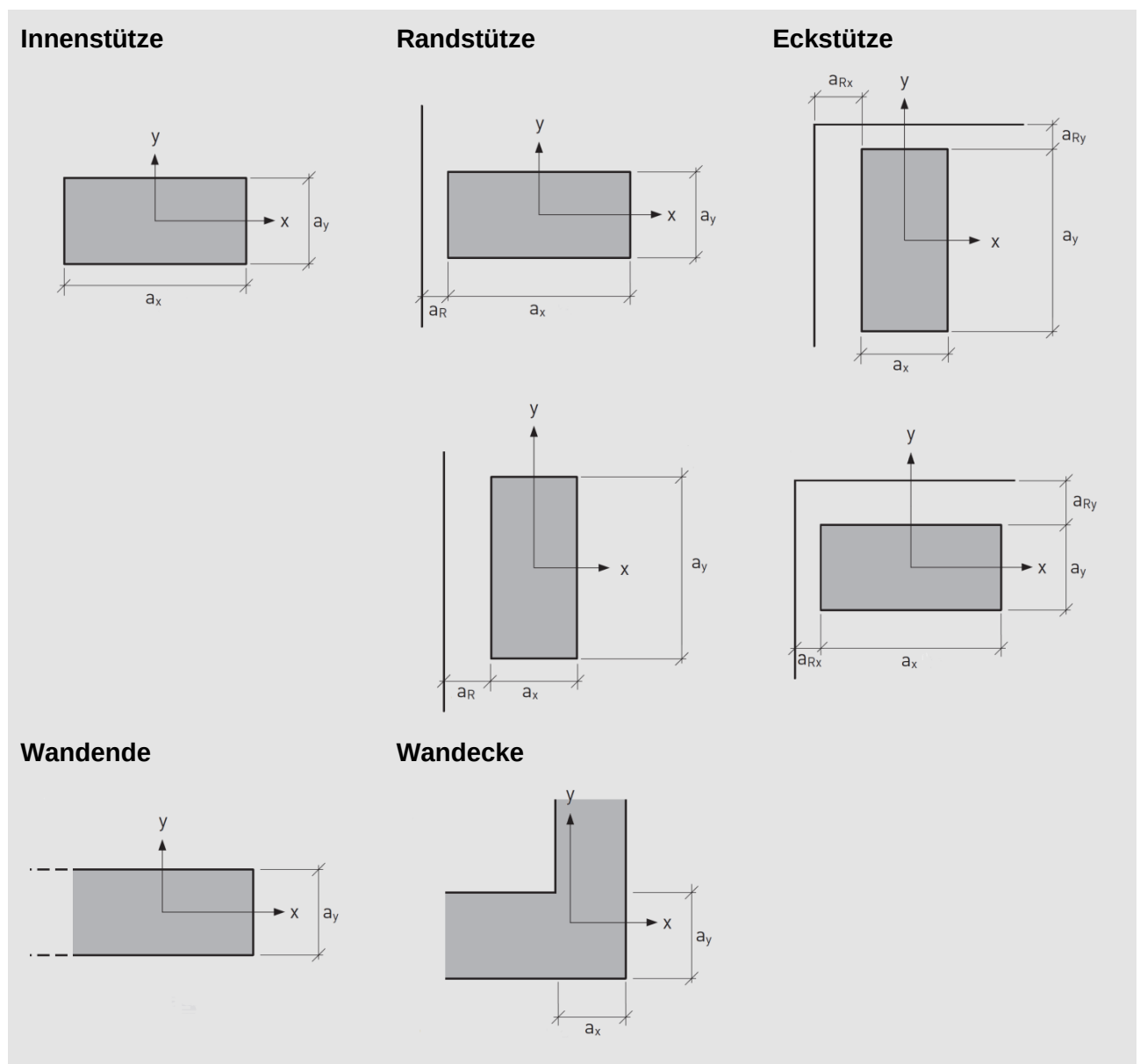
h	Plattenstärke
h_A	Stützeinsenkung
h_p	Pilzhöhe
h_{zp}	Höhenlage des Pilzes
I	Trägheitsmoment
k	Rotationssteifigkeit
k_e	Beiwert zur Berücksichtigung der ungleichen Schubspannungsverteilung entlang des Nachweisschnittes
k_g	Beiwert zur Berücksichtigung der Rissverzahnung
k_r	Beiwert zur Bestimmung des Durchstanzwiderstands von Platten
k_{sys}	Systembeiwert der Durchstanzbewehrung
l_x, l_y	Spannweite in x- bzw. y-Richtung
M_d	Resultierendes Stützeinspannmoment
m_{Dd}	Dekompressionsmoment
$m_{sd,x}, m_{sd,y}$	Bemessungsmoment im Stützstreifen in x- bzw. y-Richtung
$m_{Rd,x}, m_{Rd,y}$	Biegewiderstand im Stützstreifen in x- bzw. y-Richtung
M_{xd}, M_{yd}	Stützeinspannmomente um die x- bzw. y-Achse
ρ_x, ρ_y	Biegebewehrungsgehalt in x- bzw. y-Richtung
r_{sx}, r_{sy}	Abstand zwischen Stützenachse und Momentennullpunkt in x- bzw. y-Richtung
ρ_w	Durchstanzbewehrungsgehalt der Körbe
q_d	Verteilte Nutzlast
s	Stababstand der Bewehrung
$\sigma_{sd,Bg}$	Stahlspannungen in den Körben
σ_{Bd}	Bodenpressung
τ_{cd}	Bemessungswert der Schubspannungsgrenze
u_0	Umfang des Nachweisschnitts im Bereich der Stütze
u_1	Umfang des Nachweisschnitts ausserhalb der Körbe
u_2	Umfang des Nachweisschnitts ausserhalb des Stahlpilzes oder S-Elements
V_d	Bemessungswert der Durchstanzlast
V_{Rd}	Bemessungswert des Durchstanzwiderstands
$V_{Rd,s}$	Bemessungswert des Widerstands der Bügelbewehrung
$V_{Rd,c0}$	Bemessungswert des Durchstanzwiderstands des Betons im Bereich der Stütze
$V_{Rd,c1}$	Bemessungswert des Durchstanzwiderstands des Betons ausserhalb der Körbe

$V_{Rd,c2}$	Bemessungswert des Durchstanzwiderstands des Betons ausserhalb des Stahlpilzes
$V_{Rd,cc0}$	Bemessungswert des Durchstanzwiderstands bei Versagen der Betondruckdiagonale im Bereich der Stütze
$V_{Rd,cc2}$	Bemessungswert des Durchstanzwiderstands bei Versagen der Betondruckdiagonale ausserhalb des Stahlpilzes
$V_{Rd,s0}$	Bemessungswert des Durchstanzwiderstands der Durchstanzbewehrung im Bereich der Stütze
$V_{Rd,s2}$	Bemessungswert des Durchstanzwiderstands der Durchstanzbewehrung ausserhalb des Stahlpilzes
ψ	Plattenrotation
ψ_x, ψ_y	Plattenrotation in x- bzw. y-Richtung
ψ_R	Plattenrotation beim Bruch
$\emptyset$	Stützendurchmesser
$\emptyset_s$	Stabdurchmesser der Biegebewehrung
$\emptyset_{bg}$	Stabdurchmesser der Körbe

Anhang A: Diagramme zur Traglastabschätzung

Die nachfolgenden Diagramme dienen zur Abschätzung des Durchstanzwiderstandes von Platten mit und ohne DURA Durchstanzbewehrung. Diese Diagramme basieren auf einem von der F.J. Aschwanden AG fürs DURA System entwickelten, vereinfachten Bemessungsansatz. Durch die Vereinfachung sind Abweichungen im Vergleich zu den Tragwiderständen gemäss der Norm SIA 262:2013 zu erwarten.

Definitionen



Annahmen:

Beton C25/30

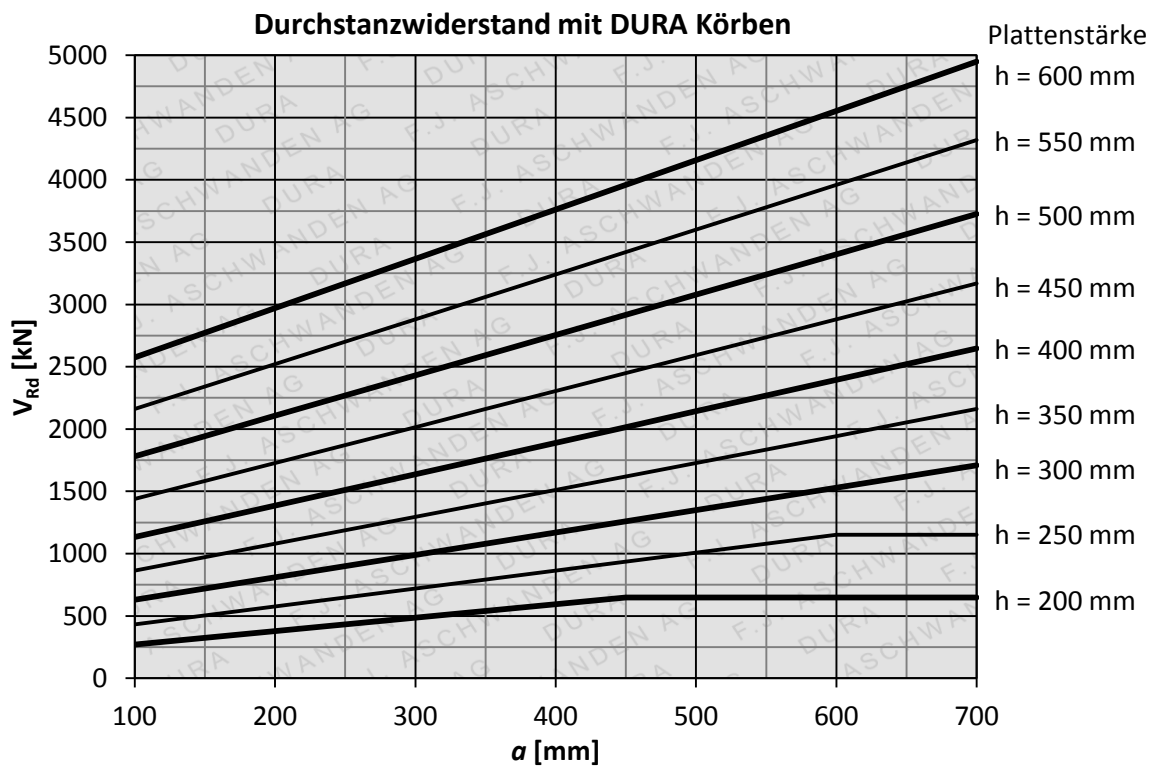
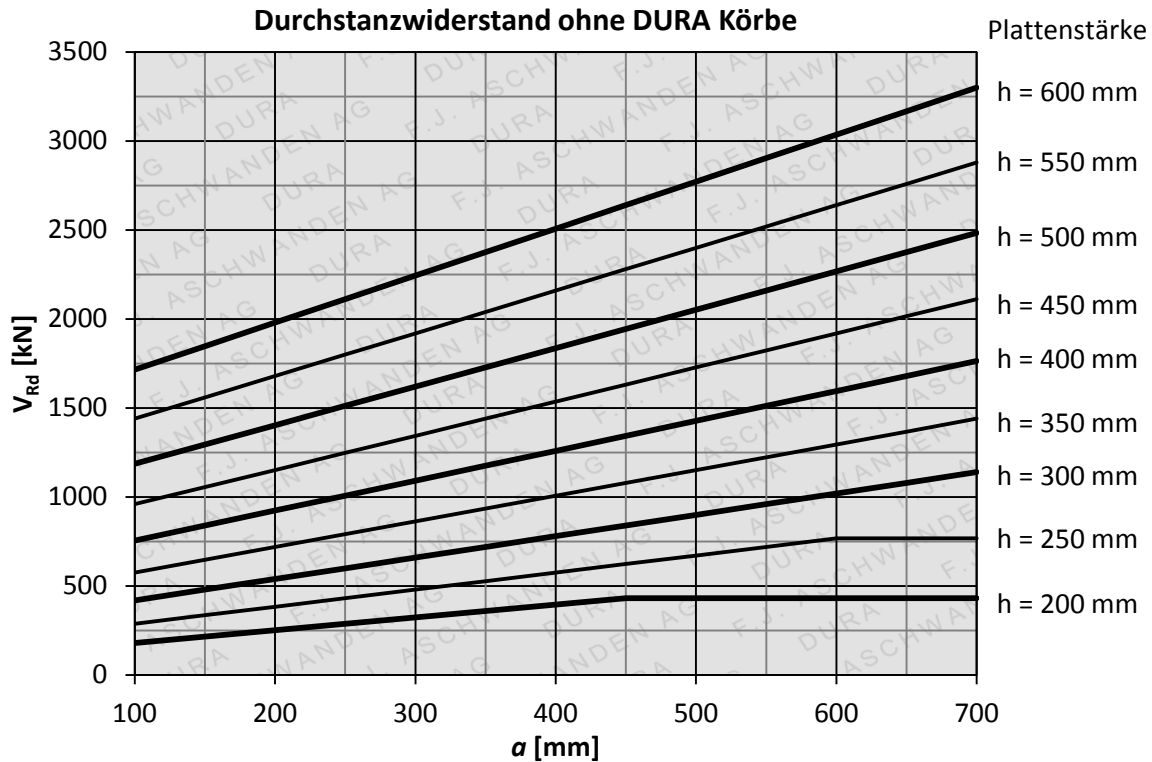
Bewehrungsstahl B500B

$d = h - 50 \text{ mm}$

Rechteckige Innenstützen

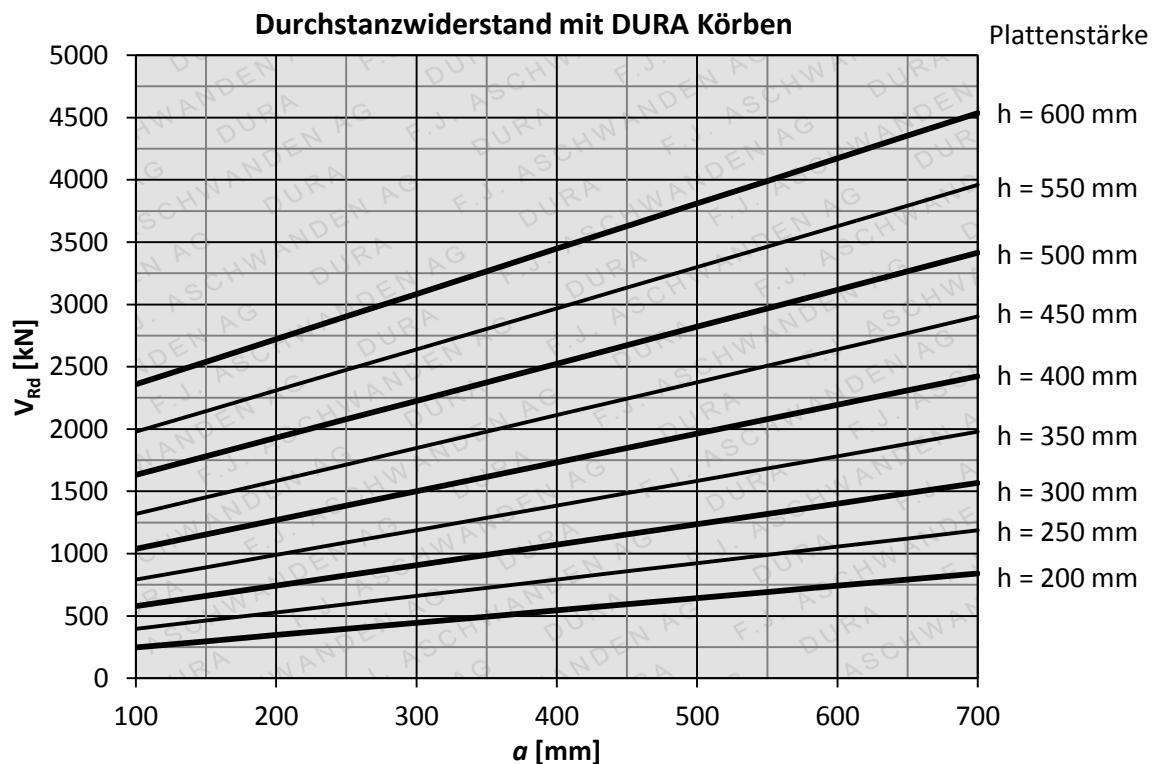
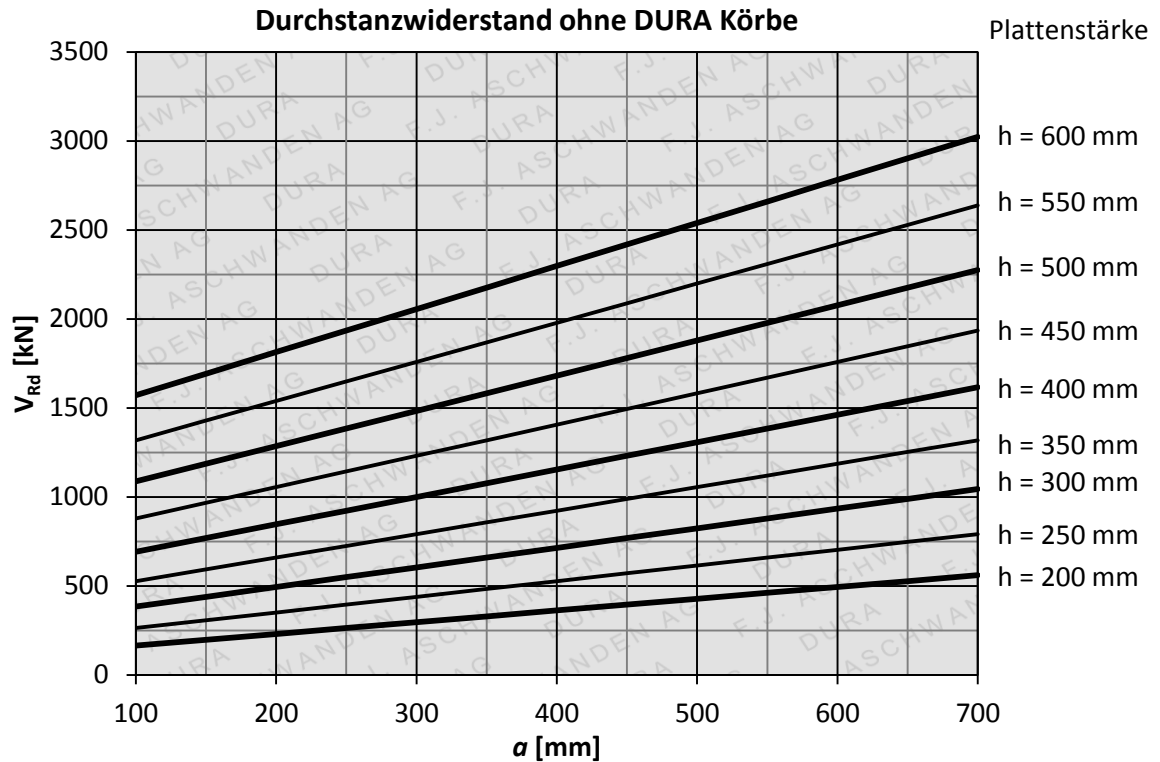
Quadratstütze: $a = a_x = a_y$

Rechteckstütze: $a = (a_x + a_y)/2$



Runde Innenstützen

Kreisstütze: $a = \emptyset$

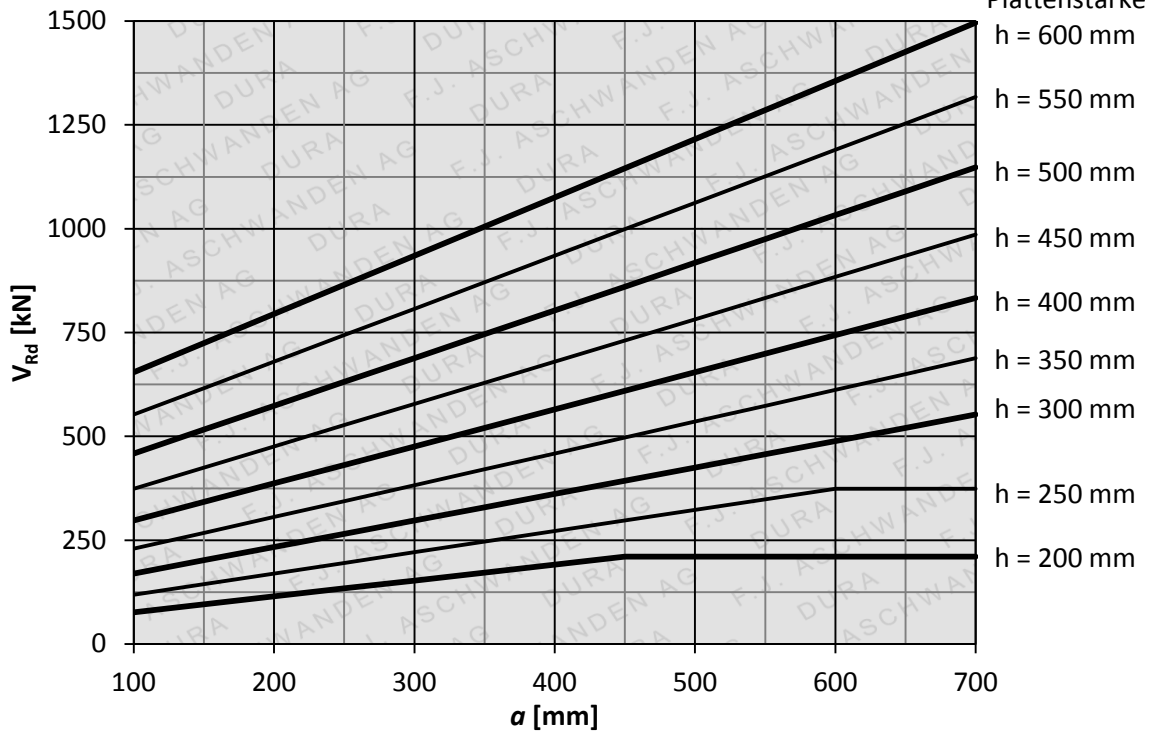


Randstützen

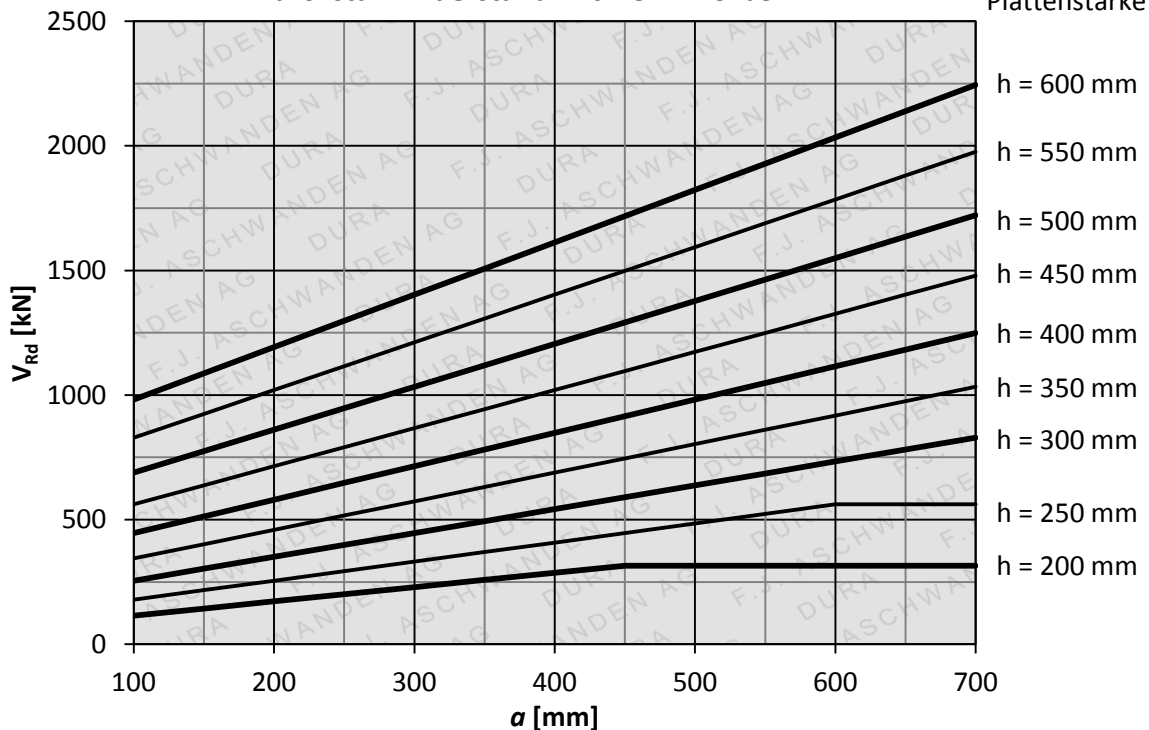
Rechteckstütze: $a = [a_x + 2 \cdot (a_y + a_R)] / 3$

Kreisstütze: $a = [\phi \cdot (\frac{\pi}{2} + 1) + 2a_R] / 3$

Durchstanzwiderstand ohne DURA Körbe

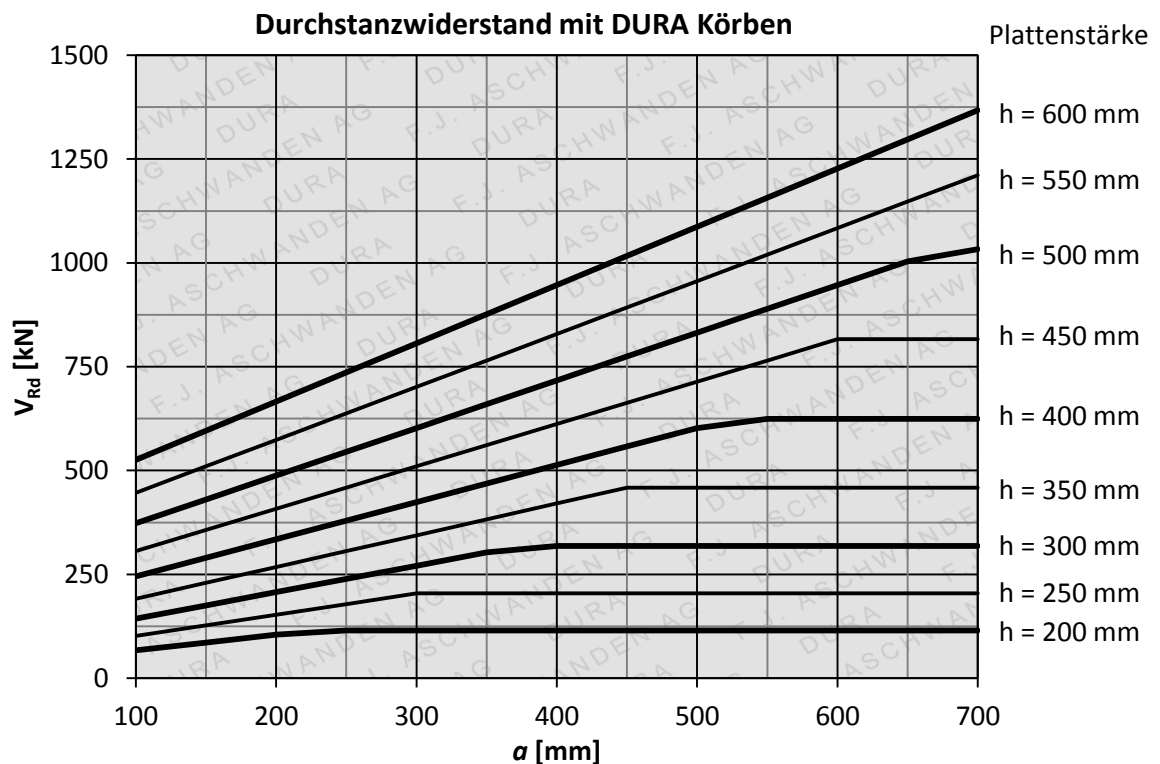
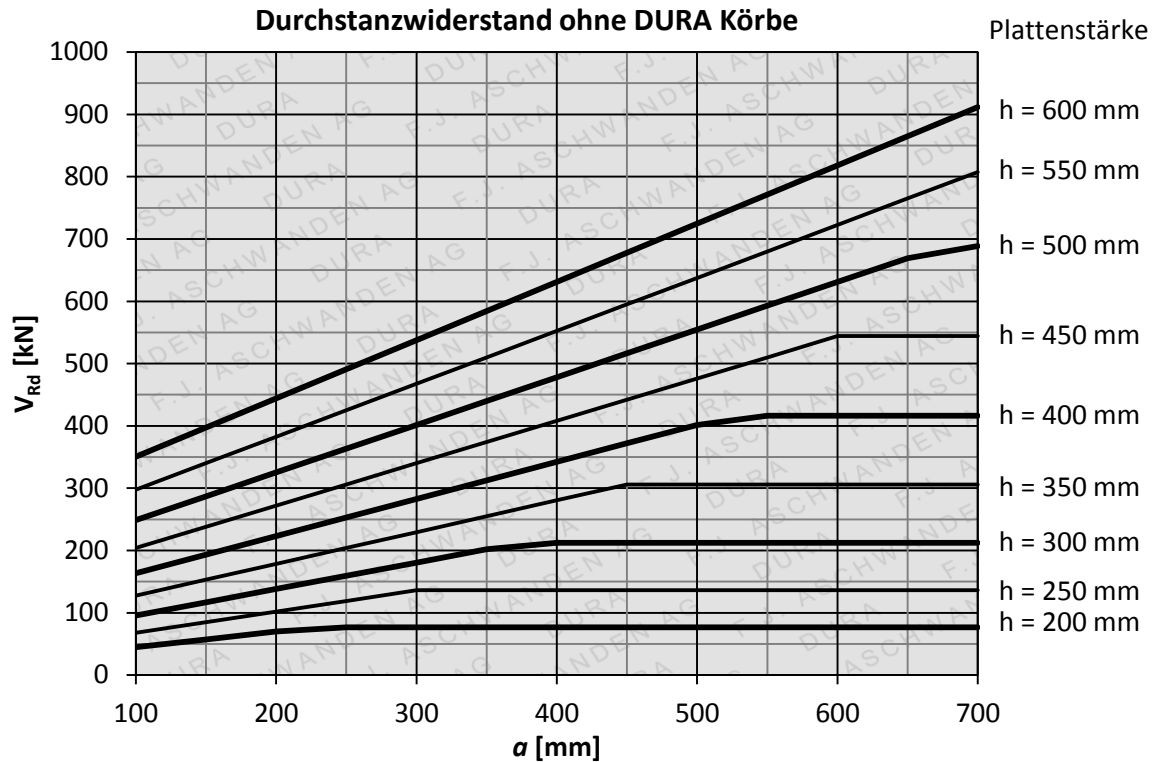


Durchstanzwiderstand mit DURA Körben



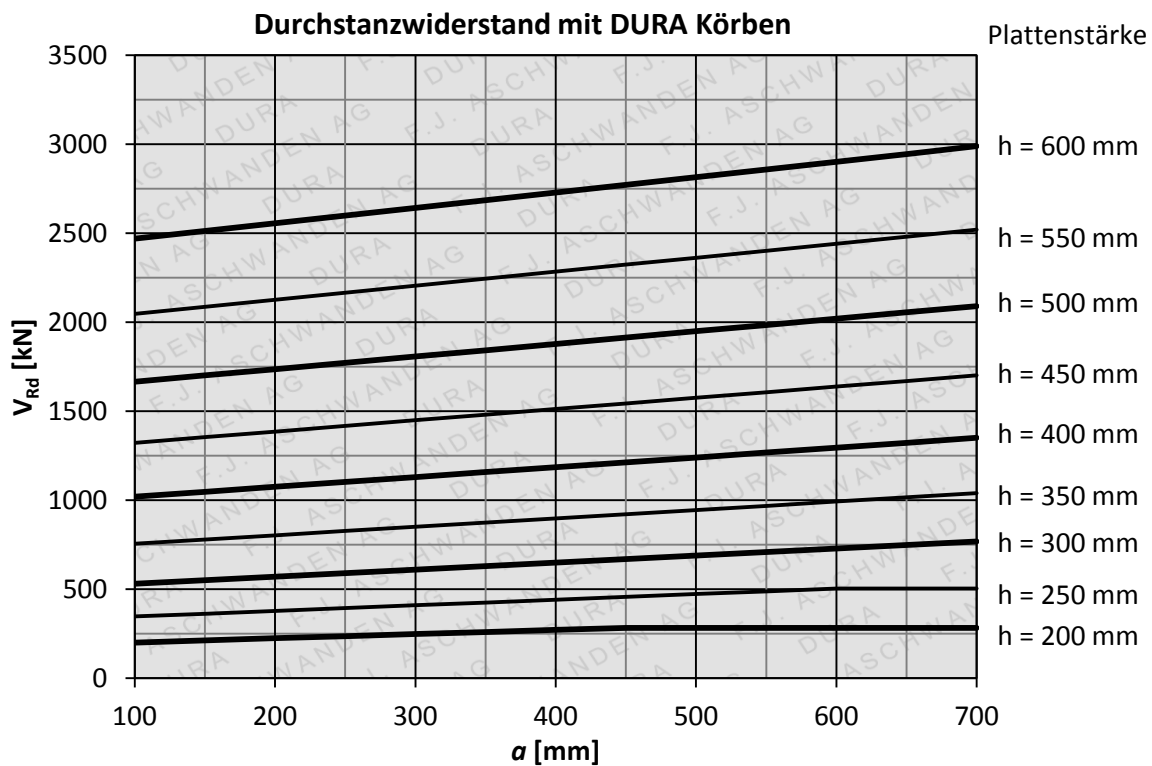
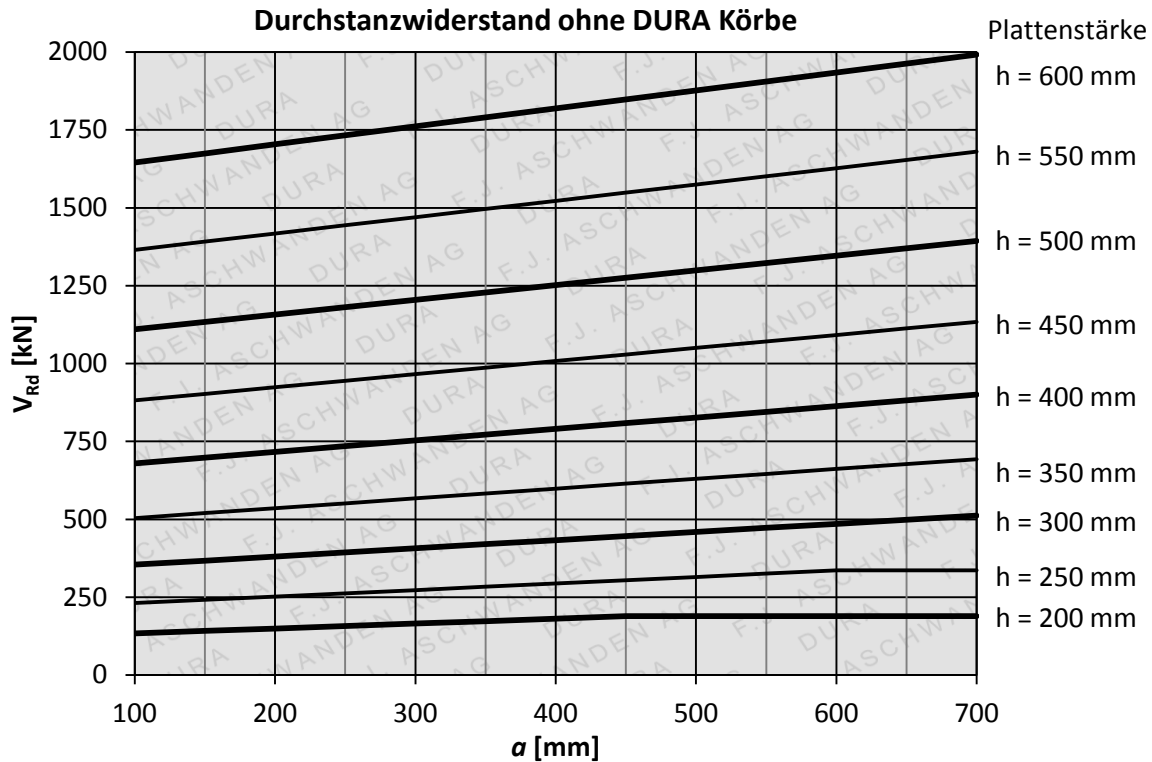
Eckstützen

Rechteckstütze: $a = [a_x + a_{Rx} + a_y + a_{Ry}] / 2$ Kreisstütze: $a = [\phi \cdot (\frac{\pi}{4} + 1) + a_{Rx} + a_{Ry}] / 3$



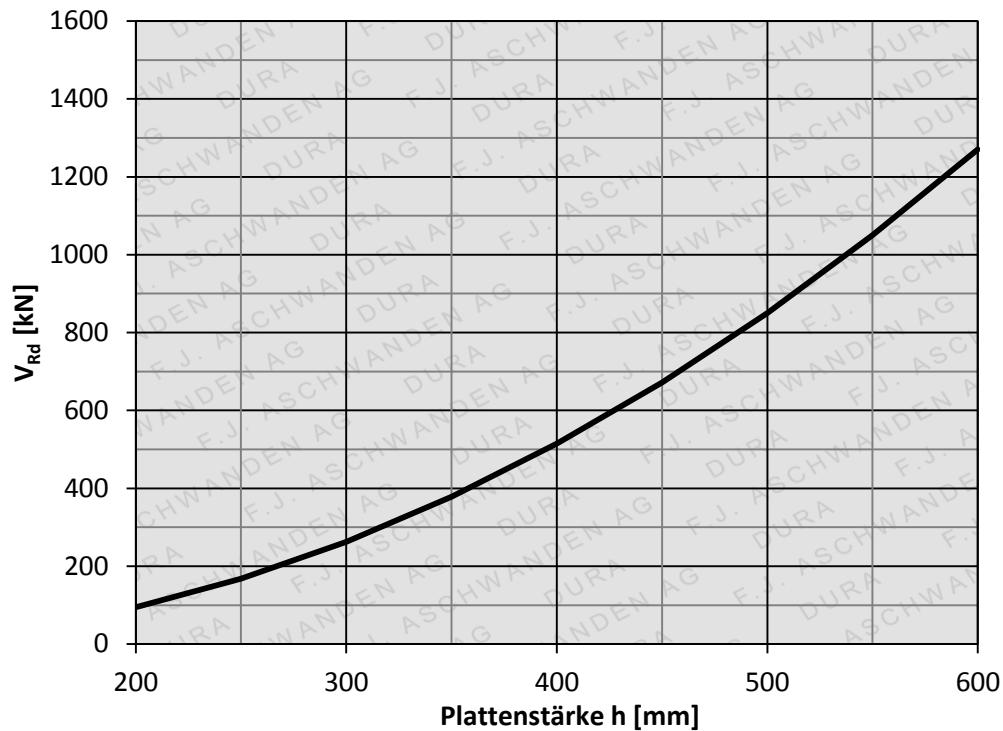
Wandenden

Wandende: $a = a_y$

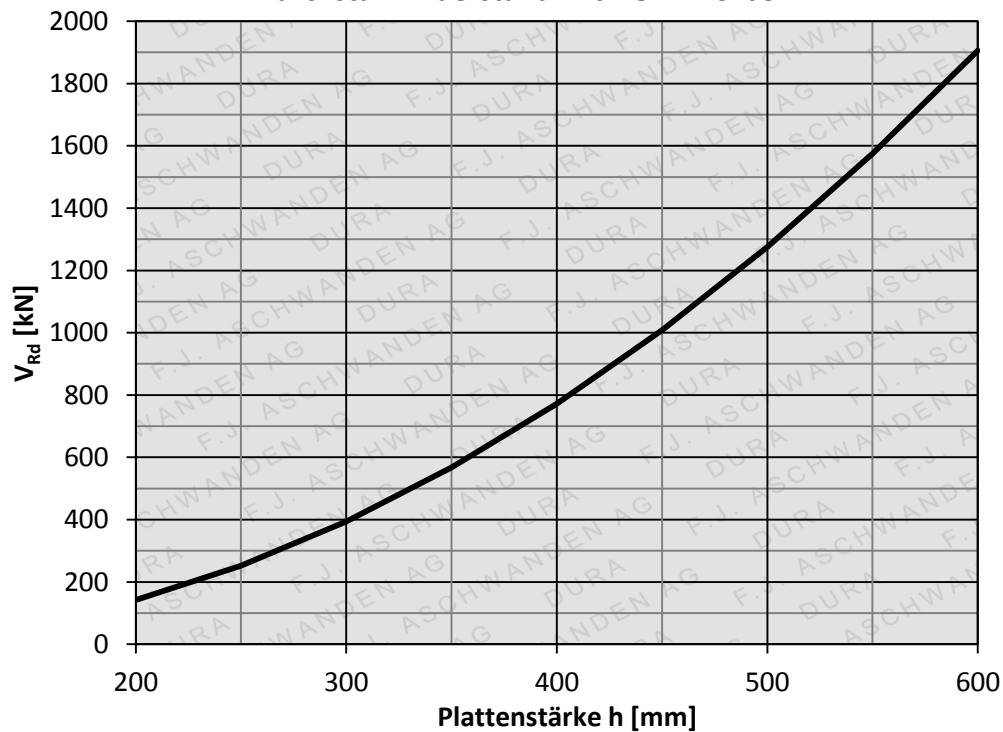


Wanddecke

Durchstanzwiderstand ohne DURA Körbe



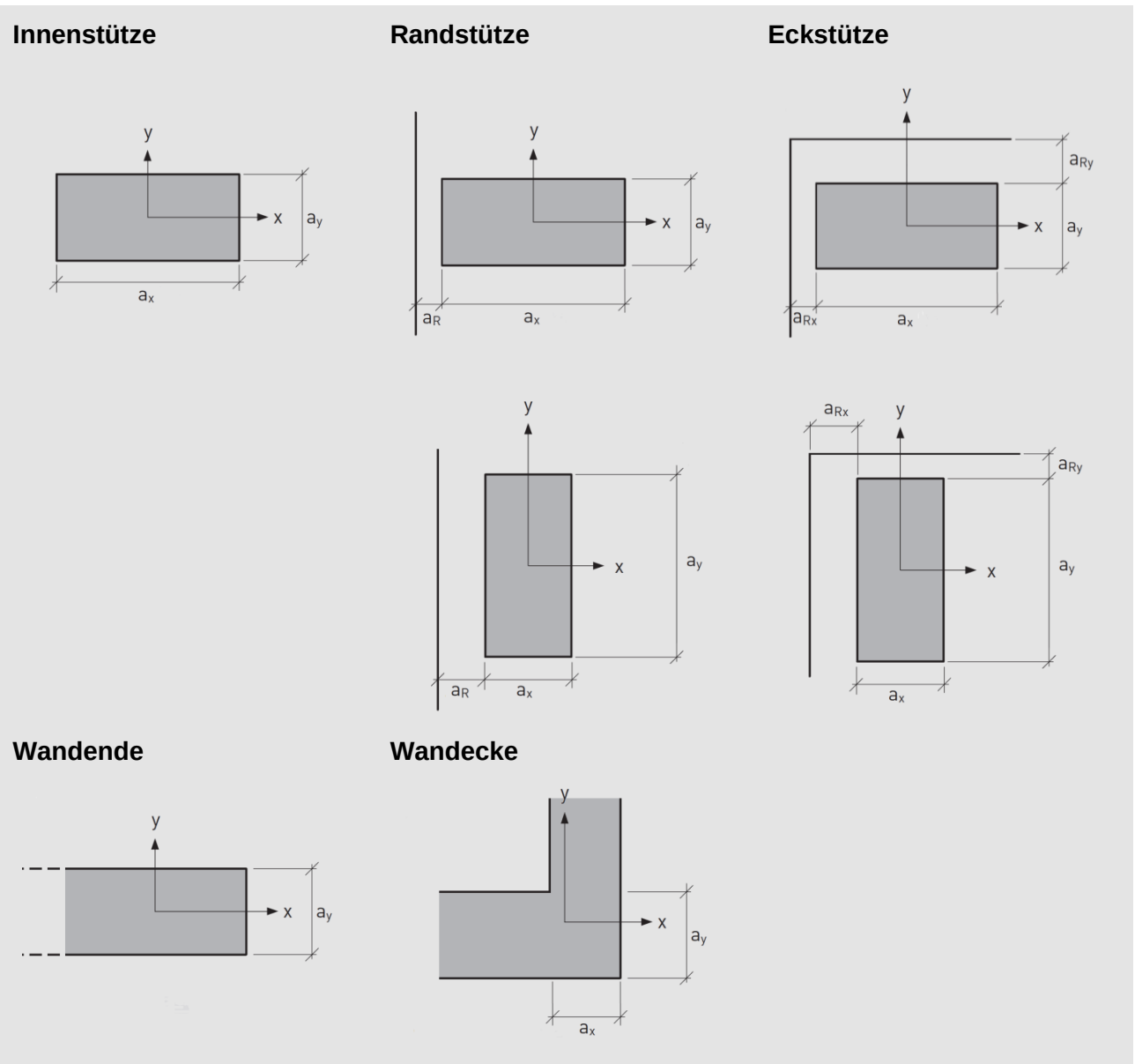
Durchstanzwiderstand mit DURA Körben

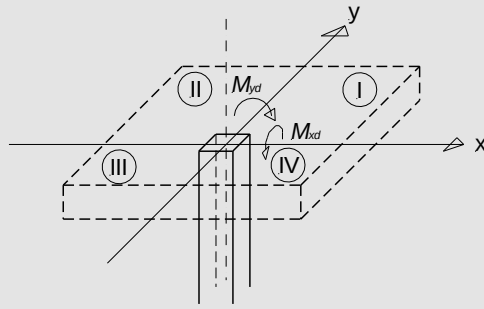


Anhang B: Hilfstabellen zur Bestimmung von k_e

Die Gleichungen in diesem Anhang sind nur gültig, wenn keine Unterbrüche im Nachweisschnitt vorhanden sind, wie z.B. bei Aussparungen oder bei grossen Stützenabmessungen (SIA 262:2013, Figur 22)!

Definitionen





Vorzeichenregelung für nachfolgende Gleichungen

Quadrant I	$M_{xd} = +$ ($e_{v,y} = +$) $M_{yd} = +$ ($e_{v,x} = +$)
Quadrant II	$M_{xd} = +$ ($e_{v,y} = +$) $M_{yd} = -$ ($e_{v,x} = -$)
Quadrant III	$M_{xd} = -$ ($e_{v,y} = -$) $M_{yd} = -$ ($e_{v,x} = -$)
Quadrant IV	$M_{xd} = -$ ($e_{v,y} = -$) $M_{yd} = +$ ($e_{v,x} = +$)

Innenstütze

$$e_u = \frac{\sqrt{M_{xd}^2 + M_{yd}^2}}{V}$$

Rechteck

$$b = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \left[(a_x + d_v) \cdot (a_y + d_v) - d_v^2 \cdot \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \right]}$$

Vereinfacht:

$$b \cong d_v \cdot \frac{9}{8} \sqrt{\left(\frac{a_x}{d_v} + 1 \right) \cdot \left(\frac{a_y}{d_v} + 1 \right) - \frac{3}{14}}$$

Kreis

$$e_u = \frac{\sqrt{M_{xd}^2 + M_{yd}^2}}{V}$$

$$b = \emptyset + d_v$$

Oval

$$e_u = \frac{\sqrt{M_{xd}^2 + M_{yd}^2}}{V}$$

$$b = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \left[(a_x - a_y) \cdot (a_y + d_v) + (a_y + d_v)^2 \cdot \frac{\pi}{4} \right]}$$

Randstütze

$$e_{u,x} = \frac{M_{yd}}{V} - \frac{2 \cdot \left(a_x + a_R + \frac{d_v}{2}\right) \cdot \left(\frac{\frac{d_v}{2} - a_R}{2}\right) + (a_y + d_v) \cdot \left(\frac{a_x + d_v}{2}\right)}{2 \cdot \left(a_x + a_R + \frac{d_v}{2}\right) + (a_y + d_v)}$$

$$e_{u,y} = \frac{M_{xd}}{V}$$

$$e_u = \sqrt{e_{u,x}^2 + e_{u,y}^2}$$

Rechteck

$$b = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \left[\left(a_x + \frac{d_v}{2} + a_R\right) \cdot (a_y + d_v) - \frac{d_v^2}{2} \cdot \left(1 - \frac{\pi}{4}\right) \right]}$$

Vereinfacht für $a_R = d_v/2$:

$$e_{u,x} = \frac{M_{yd}}{V} - \frac{(a_x + d_v) \cdot (a_y + d_v)}{2 \cdot (2a_x + a_y + 3d_v)}$$

$$b \cong \frac{9}{8} d_v \sqrt{\left(\frac{a_x}{d_v} + 1\right) \left(\frac{a_y}{d_v} + 1\right) + \frac{3}{28}}$$

$$e_{u,x} = \frac{M_{yd}}{V} - \frac{\frac{(\emptyset + d_v)^2}{2} - \left(\frac{\emptyset}{2} + a_R\right)^2}{(\emptyset + d_v) \cdot \frac{\pi}{2} + 2 \cdot \left(\frac{\emptyset}{2} + a_R\right)}$$

$$e_{u,y} = \frac{M_{xd}}{V}$$

$$e_u = \sqrt{e_{u,x}^2 + e_{u,y}^2}$$

Kreis

$$b = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \left[\left(\frac{\emptyset}{2} + a_R\right) \cdot (\emptyset + d_v) + (\emptyset + d_v)^2 \cdot \frac{\pi}{8} \right]}$$

Vereinfacht für $a_R = d_v/2$:

$$e_{u,x} = \frac{M_{yd}}{V} - \frac{\emptyset + d_v}{4 + 2\pi}$$

$$b \cong \frac{4}{5} \sqrt{\left(1 + \frac{\emptyset}{d_v}\right)^2 + \frac{\pi}{4}}$$

Eckstütze

$$e_{u,x} = \frac{M_{yd}}{V} - \frac{\frac{1}{2} \cdot \left[\left(a_x + a_{Rx} + \frac{d_v}{2} \right) \cdot \left(\frac{d_v}{2} - a_{Rx} \right) + \left(a_y + a_{Ry} + \frac{d_v}{2} \right) \cdot (a_x + d_v) \right]}{a_x + a_{Rx} + a_y + a_{Ry} + d_v}$$

$$e_{u,y} = \frac{M_{xd}}{V} + \frac{\frac{1}{2} \cdot \left[\left(a_y + a_{Ry} + \frac{d_v}{2} \right) \cdot \left(\frac{d_v}{2} - a_{Ry} \right) + \left(a_x + a_{Rx} + \frac{d_v}{2} \right) \cdot (a_y + d_v) \right]}{a_x + a_{Rx} + a_y + a_{Ry} + d_v}$$

$$e_u = \sqrt{e_{u,x}^2 + e_{u,y}^2}$$

$$b = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \left[\left(a_x + \frac{d_v}{2} + a_{Rx} \right) \cdot \left(a_y + \frac{d_v}{2} + a_{Ry} \right) - \frac{d_v^2}{4} \cdot \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \right]}$$

Rechteck

Vereinfacht für $a_{Rx} = a_{Ry} = d_v/2$:

$$e_{u,x} = \frac{M_{yd}}{V} - \frac{(a_x + d_v)(a_y + d_v)}{2(a_x + a_y + 2d_v)}$$

$$e_{u,y} = \frac{M_{xd}}{V} + \frac{(a_x + d_v)(a_y + d_v)}{2(a_x + a_y + 2d_v)}$$

$$b \cong \frac{9}{8} d_v \sqrt{\left(\frac{a_x}{d_v} + 1 \right) \left(\frac{a_y}{d_v} + 1 \right) - \frac{3}{56}}$$

$$e_{u,x} = \frac{M_{yd}}{V} - \frac{\frac{1}{4} \cdot \left[(\varnothing + d_v)^2 + (2a_{Ry} + \varnothing) \cdot (\varnothing + d_v) - 2 \left(\frac{\varnothing}{2} + a_{Rx} \right)^2 \right]}{(\varnothing + d_v) \cdot \frac{\pi}{4} + (\varnothing + a_{Rx} + a_{Ry})}$$

$$e_{u,y} = \frac{M_{xd}}{V} + \frac{\frac{1}{4} \cdot \left[(\varnothing + d_v)^2 + (2a_{Rx} + \varnothing) \cdot (\varnothing + d_v) - 2 \left(\frac{\varnothing}{2} + a_{Ry} \right)^2 \right]}{(\varnothing + d_v) \cdot \frac{\pi}{4} + (\varnothing + a_{Rx} + a_{Ry})}$$

$$e_u = \sqrt{e_{u,x}^2 + e_{u,y}^2}$$

Kreis

$$b = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \left[\left(\varnothing + \frac{d_v}{2} + a_{Rx} \right) \cdot \left(\varnothing + \frac{d_v}{2} + a_{Ry} \right) - \frac{(\varnothing + d_v)^2}{4} \cdot \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \right]}$$

Vereinfacht für $a_{Rx} = a_{Ry} = d_v/2$:

$$e_{u,x} = \frac{M_{yd}}{V} - \frac{3}{8 + 2\pi}(\varnothing + d_v) \cong \frac{M_{yd}}{V} - 0.21(\varnothing + d_v)$$

$$e_{u,y} = \frac{M_{xd}}{V} + \frac{3}{8 + 2\pi}(\varnothing + d_v) \cong \frac{M_{xd}}{V} + 0.21(\varnothing + d_v)$$

$$b = (\varnothing + d_v) \sqrt{\frac{12 + \pi}{4\pi}} \cong 1.1(\varnothing + d_v)$$

Wandende

$$e_{u,x} = \frac{M_{yd}}{V} - \frac{d_v^2 + (a_y + d_v) \cdot \left(\frac{5d_v}{4}\right)}{5d_v + a_y}$$

$$e_{u,y} = \frac{M_{xd}}{V}$$

$$e_u = \sqrt{e_{u,x}^2 + e_{u,y}^2}$$

$$b = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \left[2d_v \cdot (a_y + d_v) - \frac{d_v^2}{2} \cdot \left(1 - \frac{\pi}{4}\right) \right]} = d_v \sqrt{\frac{8}{\pi} \left(\frac{a_y}{d_v} + \frac{12\pi}{16} \right)}$$

Vereinfacht für $a_y = d_v$

$$e_{u,x} = \frac{M_{yd}}{V} - \frac{7}{12} d_v$$

$$b = d_v \sqrt{\frac{28 + \pi}{2\pi}} \cong 2.23 d_v$$

Wandecke

$$e_{u,x} = \frac{M_{yd}}{V} - \left(\frac{3d_v}{4} - x_V \right)$$

$$e_{u,y} = \frac{M_{xd}}{V} + \left(\frac{3d_v}{4} - y_V \right)$$

$$x_V = \frac{(1.5d_v - a_x) \cdot (1.5d_v - a_y) \cdot \frac{a_x}{2}}{(1.5d_v)^2 - (1.5d_v - a_x) \cdot (1.5d_v - a_y)}$$

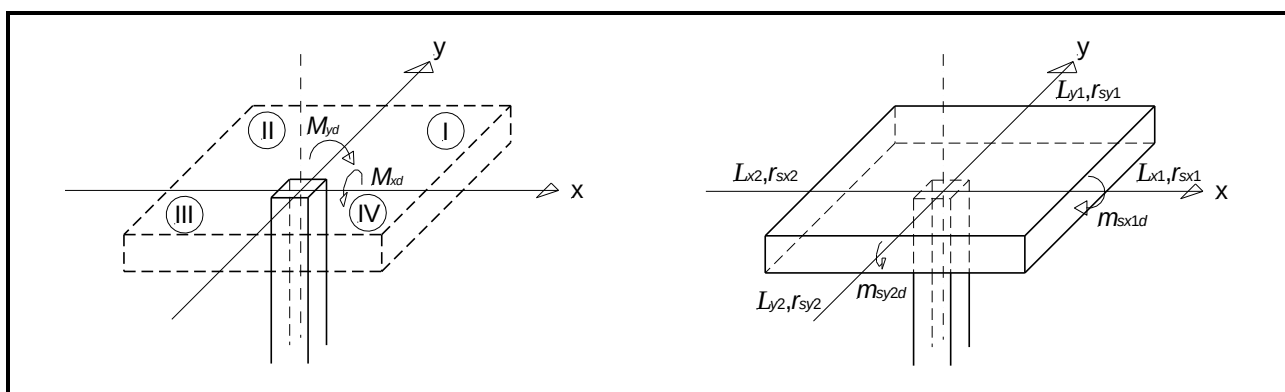
$$y_V = \frac{(1.5d_v - a_x) \cdot (1.5d_v - a_y) \cdot \frac{a_y}{2}}{(1.5d_v)^2 - (1.5d_v - a_x) \cdot (1.5d_v - a_y)}$$

$$e_u = \sqrt{e_{u,x}^2 + e_{u,y}^2}$$

$$b = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \left[4d_v^2 - \frac{d_v^2}{4} \cdot \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \right]} \cong 2.24d_v$$

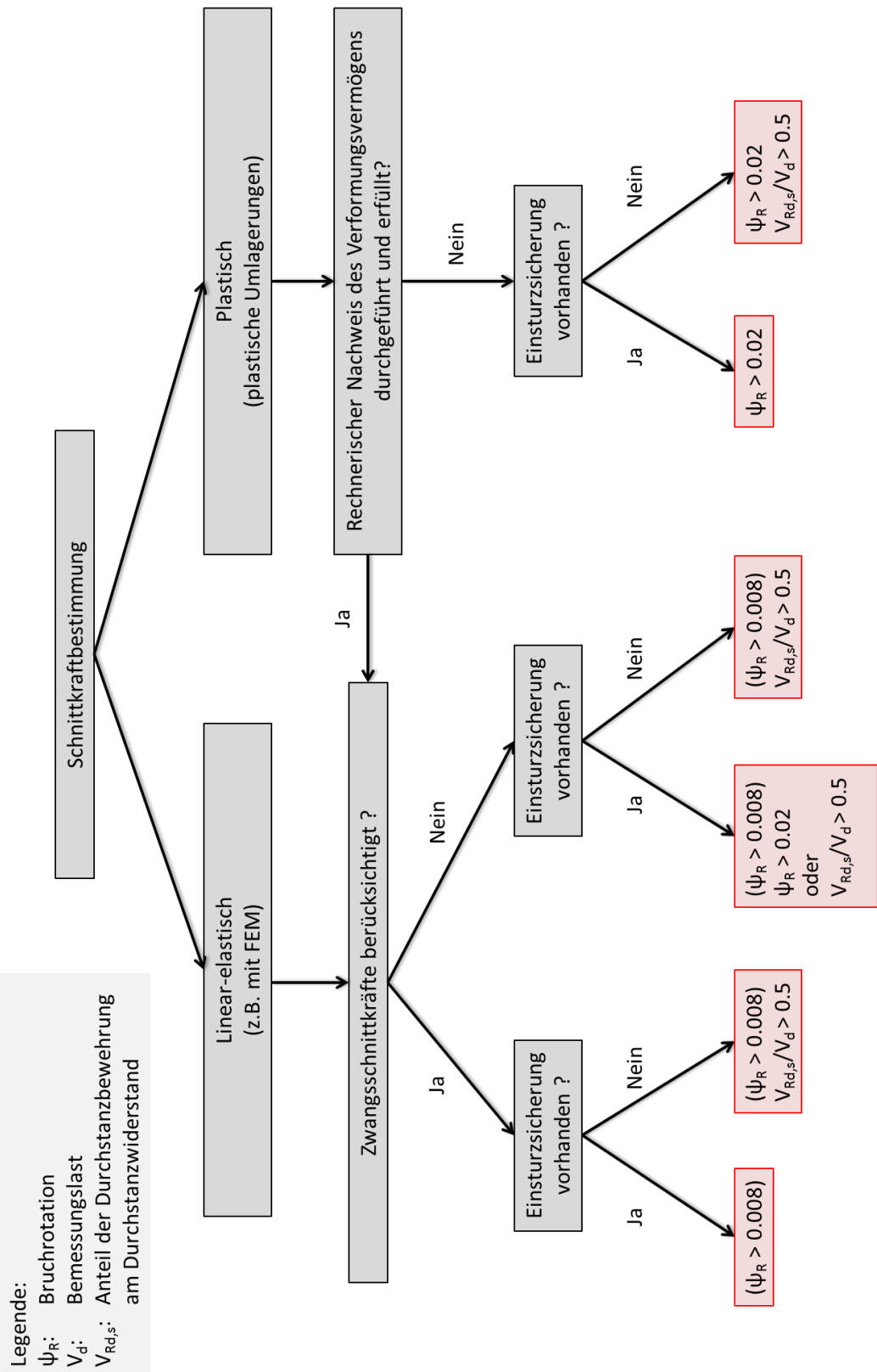
Anhang C: FEM-Datenblatt

Stützenbezeichnung				
Querkraft	V_d [kN]			
Stützenkopfmoment	$ M_{xd} $ [kNm]			
	$ M_{yd} $ [kNm]			
	Quadrant			
Näherungsstufe 3	x_1	x_2	y_1	y_2
Spannweite I [mm]				
Nullpunktabstand r_s [mm] ¹⁾				
Bemessungsmoment m_{sd} [kNm/m]				
Stützstreifenbreite	b_{sx} [mm]		b_{sy} [mm]	
¹⁾ Bei Rand- und Eckstützen zu beachten	$2/3 b_{srx}$ [mm]		$2/3 b_{sry}$ [mm]	



Anhang D: Bedingungen ans Verformungsverhalten

Aschwanden

DURA Durchstanzen
Bedingungen ans Verformungsverhalten gemäss SIA 262:2013

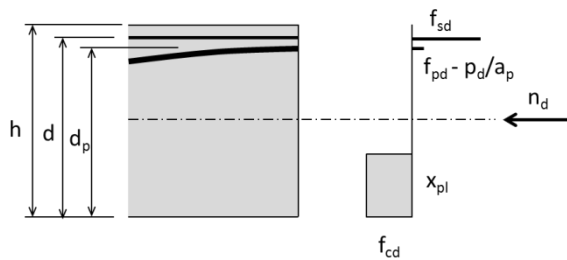
Anhang E: Vorspannung

Vorzeichenregelung :

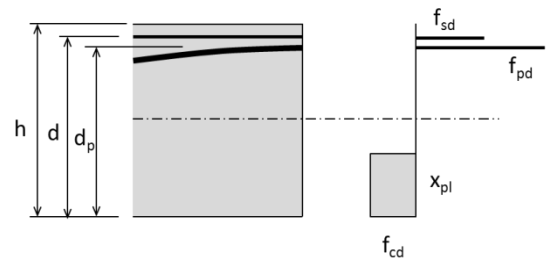
p_d (Zugkraft im Spannglied) : positiv

n_d (Normalkraft in Flachdecke) : negativ falls Druck (Regelfall); positiv falls Zug

Betrachtung als Einwirkung



Betrachtung als Eigenspannungszustand



In den nachfolgenden Gleichungen wird der Biege widerstand m_{Rd} um die Schwerachse des Betonquerschnittes bestimmt.

Betrachtung als Einwirkung mit Verbund und wirkende Normalkraft

$$x_{pl} = 0.85x = (a_s \cdot f_{sd} + (a_p \cdot f_{pd} - p_d) - n_d) / f_{cd}$$

$$m_{Rd} = a_s \cdot f_{sd} \cdot \left(d - \frac{h}{2}\right) + (a_p \cdot f_{pd} - p_d) \cdot \left(d_p - \frac{h}{2}\right) + x_{pl} \cdot f_{cd} \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{x_{pl}}{2}\right)$$

$$m_{Dd} \approx -n_d \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{d}{3}\right)$$

Betrachtung als Eigenspannungszustand mit Verbund und wirkende Normalkraft

$$x_{pl} = 0.85x = (a_s \cdot f_{sd} + a_p \cdot f_{pd}) / f_{cd}$$

$$m_{Rd} = a_s \cdot f_{sd} \cdot \left(d - \frac{h}{2}\right) + a_p \cdot f_{pd} \cdot \left(d_p - \frac{h}{2}\right) + x_{pl} \cdot f_{cd} \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{x_{pl}}{2}\right)$$

$$m_{Dd} \approx p_d \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{d}{3} + e\right) = p_d \cdot \left(d_p - \frac{d}{3}\right)$$

Betrachtung als Einwirkung ohne Verbund und wirkende Normalkraft

$$x_{pl} = 0.85x = (a_s \cdot f_{sd} - n_d) / f_{cd}$$

$$m_{Rd} = a_s \cdot f_{sd} \cdot \left(d - \frac{h}{2}\right) + x_{pl} \cdot f_{cd} \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{x_{pl}}{2}\right)$$

$$m_{Dd} \approx -n_d \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{d}{3}\right)$$

Betrachtung als Eigenspannungszustand ohne Verbund und wirkende Normalkraft

$$x_{pl} = 0.85x = (a_s \cdot f_{sd} + p_d) / f_{cd}$$

$$m_{Rd} = a_s \cdot f_{sd} \cdot \left(d - \frac{h}{2}\right) + p_d \cdot \left(d_p - \frac{h}{2}\right) + x_{pl} \cdot f_{cd} \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{x_{pl}}{2}\right)$$

$$m_{Dd} \approx p_d \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{d}{3} + e\right) = p_d \cdot \left(d_p - \frac{d}{3}\right)$$

Betrachtung als Einwirkung mit Verbund aber ohne wirkende Normalkraft

$$x_{pl} = 0.85x = (a_s \cdot f_{sd} + (a_p \cdot f_{pd} - p_d)) / f_{cd}$$

$$m_{Rd} = a_s \cdot f_{sd} \cdot \left(d - \frac{h}{2}\right) + (a_p \cdot f_{pd} - p_d) \cdot \left(d_p - \frac{h}{2}\right) + x_{pl} \cdot f_{cd} \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{x_{pl}}{2}\right)$$

$$m_{Dd} = 0$$

Betrachtung als Eigenspannungszustand mit Verbund aber ohne wirkende Normalkraft

$$x_{pl} = 0.85x = (a_s \cdot f_{sd} + a_p \cdot f_{pd} - p_d) / f_{cd}$$

$$m_{Rd} = a_s \cdot f_{sd} \cdot \left(d - \frac{h}{2}\right) + a_p \cdot f_{pd} \cdot \left(d_p - \frac{h}{2}\right) + x_{pl} \cdot f_{cd} \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{x_{pl}}{2}\right)$$

$$m_{Dd} = p_d \cdot e = p_d \cdot \left(d_p - \frac{h}{2}\right)$$

Betrachtung als Einwirkung ohne Verbund und ohne wirkende Normalkraft

$$x_{pl} = 0.85x = (a_s \cdot f_{sd}) / f_{cd}$$

$$m_{Rd} = a_s \cdot f_{sd} \cdot \left(d - \frac{h}{2}\right) + x_{pl} \cdot f_{cd} \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{x_{pl}}{2}\right)$$

$$m_{Dd} = 0$$

Betrachtung als Eigenspannungszustand ohne Verbund und ohne wirkende Normalkraft

$$x_{pl} = 0.85x = (a_s \cdot f_{sd}) / f_{cd}$$

$$m_{Rd} = a_s \cdot f_{sd} \cdot \left(d - \frac{h}{2}\right) + p_d \cdot \left(d_p - \frac{h}{2}\right) + x_{pl} \cdot f_{cd} \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{x_{pl}}{2}\right)$$

$$m_{Dd} = p_d \cdot e = p_d \cdot \left(d_p - \frac{h}{2}\right)$$

Bemerkungen zum vorliegenden Dokument

Dokumentationen erfahren laufend Änderungen aufgrund der aktualisierten Normen und der Weiterentwicklung
Die aktuell gültige Version dieses Fachreferats befindet sich auf unserer Website.
Im Weiteren verweisen wir auf unsere AGB's.

02.2018 Copyright © by

F.J. Aschwanden AG CH-3250 Lyss T 032 387 95 95 F 032 387 95 99

www.aschwanden.com info@aschwanden.com

The logo for Aschwanden, featuring the company name in a bold, black, sans-serif font. Below the text is a horizontal bar composed of two segments: a blue segment on the left and a grey segment on the right.