

## Durchstanzbewehrung Gutachten

Prof. Dr. Albin Kenel, Hochschule Luzern –  
Technik & Architektur  
Dr. Stefan Lips, F.J. Aschwanden AG, Lyss

**Sicherheit gegen Durchstanzen von Stützen durch  
Flachdecken und Bodenplatten.**  
**Gutachten zur Bemessung mit DURA Durchstanzbewehrung.**

## Armature de poinçonnement Expertise

Prof Dr Albin Kenel, Haute école d'ingénierie  
et d'architecture de Lucerne  
Dr Stefan Lips, F.J. Aschwanden SA, Lyss

**Sécurité contre le poinçonnement de planchers-dalles  
et de radiers par des colonnes.**  
**Expertise pour le dimensionnement avec armature  
de poinçonnement DURA.**

<b>1. Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2. Durchstanzversuche</b>	<b>3</b>
2.1 Durchstanzversuche an der EPF Lausanne	3
2.2 Durchstanzversuche an der EMPA	6
2.3 Durchstanzversuche an der HSLU	7
2.4 Übersicht der Durchstanzversuche	9
<b>3. Bemessungsgrundlagen</b>	<b>10</b>
3.1 Durchstanzwiderstand im Bereich der Durchstanzbewehrung	10
3.2 Widerstand der Betondruckdiagonale	11
3.3 Durchstanzwiderstand ausserhalb der Körbe	12
3.4 Durchstanzwiderstand ausserhalb der S-Elemente	13
3.5 Durchstanzwiderstand ausserhalb der Stahlpilze	13
<b>4. Bemessung von DURA Durchstanzbewehrung</b>	<b>14</b>
4.1 Durchstanzwiderstand im Bereich der Durchstanzbewehrung	15
4.2 Widerstand der Betondruckdiagonale	17
4.3 Durchstanzwiderstand ausserhalb der Körbe	18
4.4 Durchstanzwiderstand ausserhalb der S-Elemente	19
4.5 Durchstanzwiderstand ausserhalb der Stahlpilzemente	19
<b>5. Vergleich mit Versuchen</b>	<b>21</b>
<b>6. Beurteilung des Bemessungskonzepts für DURA Durchstanzbewehrung</b>	<b>27</b>
<b>7. Literatur</b>	<b>28</b>
<b>8. Bezeichnungen</b>	<b>29</b>
<b>1. Introduction</b>	<b>2</b>
<b>2. Essais de poinçonnement</b>	<b>3</b>
2.1 Essais de poinçonnement à l'EPF Lausanne	3
2.2 Essais de poinçonnement à l'EMPA	6
2.3 Essais de poinçonnement à la HSLU	7
2.4 Tableau des essais de poinçonnement	9
<b>3. Bases de dimensionnement</b>	<b>10</b>
3.1 Résistance au poinçonnement dans la zone de l'armature de poinçonnement	10
3.2 Résistance de la bielle de compression du béton	11
3.3 Résistance au poinçonnement à l'extérieur des paniers	12
3.4 Résistance au poinçonnement à l'extérieur des éléments S	13
3.5 Résistance au poinçonnement à l'extérieur des têtes en acier	13
<b>4. Dimensionnement de l'armature de poinçonnement DURA</b>	<b>14</b>
4.1 Résistance au poinçonnement dans la zone de l'armature de poinçonnement	15
4.2 Résistance de la bielle de compression du béton	17
4.3 Résistance au poinçonnement à l'extérieur des paniers	18
4.4 Résistance au poinçonnement à l'extérieur des éléments S	19
4.5 Résistance au poinçonnement à l'extérieur des éléments de tête en acier	19
<b>5. Comparaison avec les résultats d'essais</b>	<b>21</b>
<b>6. Évaluation du concept de dimensionnement pour armature de poinçonnement DURA</b>	<b>27</b>
<b>7. Bibliographie</b>	<b>28</b>
<b>8. Notations</b>	<b>29</b>

# 1. Einleitung

Gemäss Norm SIA 262:2013 [1] für Betonbau Ziffer 0.4 und dem Merkblatt SIA 2030 [2] für Recyclingbeton Ziffer 0.3 sind Ausnahmen «zulässig, wenn sie durch Theorie oder Versuche ausreichend begründet werden oder wenn neue Entwicklungen und Erkenntnisse dies rechtfertigen». Des Weiteren erlaubt Ziffer 4.3.6.5.8 der Norm SIA 262:2013 für Normalbeton die Erhöhung der Faktoren 2 und 3.5 in Gleichung (69) Ziffer 4.3.6.5.8, falls experimentell bestätigt wird, dass ein vergleichbares Sicherheitsniveau wie im Bemessungsmodell für Platten ohne Durchstanzbewehrung erreicht wird. Zu diesem Zweck wurden die 24 von der Firma F.J. Aschwanden AG durchgeführten [3, 4, 5, 6] Durchstanzversuche an grossmassstäblichen Versuchsplatten mit DURA Durchstanzverstärkung nach neusten Erkenntnissen ausgewertet. Ergänzend wurden 3 Durchstanzversuche an grossmassstäblichen Versuchsplatten aus Recyclingbeton aus Mischgranulat M (RC-M) mit DURA Durchstanzverstärkung durchgeführt und ausgewertet [6], da gemäss dem Merkblatt SIA 2030 zusätzliche Regeln zur Bemessung zu beachten sind. Für Platten aus Recyclingbeton aus Betongranulat C (RC-C) müssen gemäss dem Merkblatt SIA 2030 keine zusätzlichen Regeln zur Bemessung beachtet werden. Die Versuche wurden so konzipiert, dass sie den generellen Ausführungsformen entsprechen. Deshalb sind, sofern die generellen Verlegeprinzipien eingehalten sind, keine verschärften Verlegebedingungen einzuhalten. Die detaillierte Auswertung der Versuche zeigt, dass mit DURA Bewehrungen die im Kapitel 4 dargelegten Ausnahmen zur Norm SIA 262:2013 bzw. Merkblatt SIA 2030 und die sich daraus ergebenden Höchstwerte des Durchstanzwiderstands gerechtfertigt sind. Das vorliegende Dokument beschreibt und rechtfertigt diese Ausnahmen zur Norm SIA 262:2013 und zeigt auf, wie ein mit der Norm SIA 262:2013 vergleichbares Sicherheitsniveau erreicht wird.

# 1. Introduction

Selon la norme SIA 262:2013 pour la construction en béton [1] chiffre 0.4 et le cahier technique SIA 2030 [2] pour le béton de recyclage chiffre 0.3, des dérogations «sont admissibles si elles sont suffisamment justifiées par des théories ou par des essais, ou si de nouveaux développements ou de nouvelles connaissances dans le domaine en question permettent une telle démarche». Par ailleurs, le chiffre 4.3.6.5.8 de la norme SIA 262:2013 pour le béton normal autorise l'augmentation des facteurs 2 et 3.5 dans l'équation (69) chiffre 4.3.6.5.8, si des expériences confirment qu'un niveau de sécurité comparable à celui du modèle de dimensionnement pour les dalles sans armature de poinçonnement est atteint. À ces fins, les 24 essais de poinçonnement effectués par la société F.J. Aschwanden SA [3, 4, 5, 6] sur des dalles d'essai à grande échelle avec renforcement au poinçonnement DURA ont été analysés d'après les connaissances les plus récentes.

En complément, 3 essais de poinçonnement ont été effectués et analysés sur des dalles d'essai à grande échelle en béton de recyclage en granulat mixte M (RC-M) avec renforcement au poinçonnement DURA [6], car, selon le cahier technique SIA 2030, il convient de respecter des exigences supplémentaires concernant le dimensionnement. Pour les dalles en béton de recyclage en granulat de béton C (RC-C), il n'y a pas, selon le cahier technique SIA 2030, d'autres exigences à respecter pour le dimensionnement.

Les essais ont été conçus de manière à correspondre aux formes d'exécution générales. C'est pour cette raison que, dans la mesure où les principes de pose généraux sont respectés, aucune condition de pose plus stricte n'est à respecter. L'analyse détaillée des essais montre qu'avec des armatures DURA les dérogations à la norme SIA 262:2013 ou au cahier technique SIA 2030 présentées au chapitre 4 et les valeurs maximales de la résistance au poinçonnement en résultant sont justifiées. Le présent document décrit et justifie ces dérogations à la norme SIA 262:2013, et indique comment un niveau de sécurité comparable à celui de la norme SIA 262:2013 est atteint.

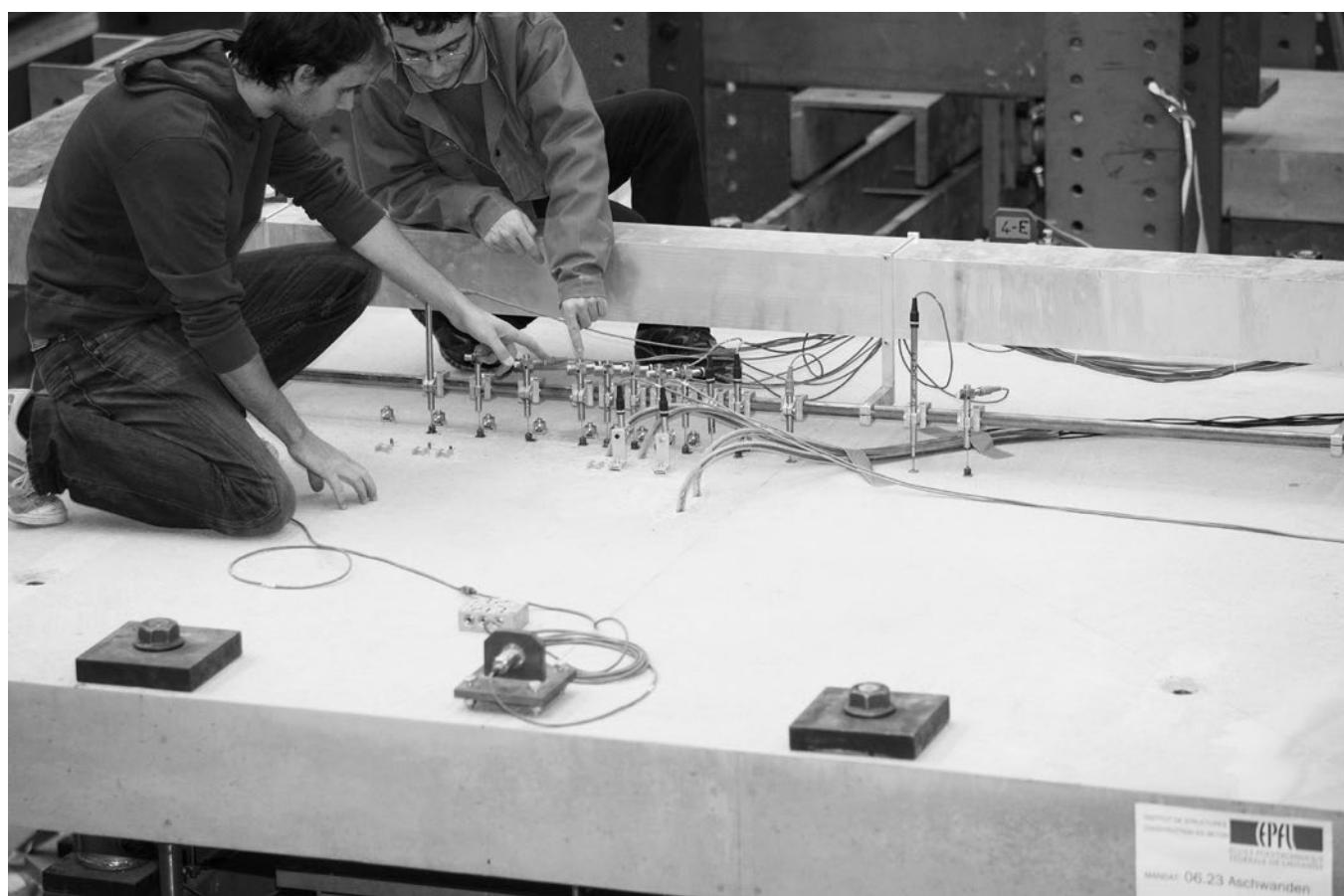


Bild 1: Versuchseinrichtung an der EPF Lausanne

Figure 1: Dispositif d'essai à l'EPF Lausanne

## 2. Durchstanzversuche

### 2.1 Durchstanzversuche an der EPF Lausanne

Der Prüfumfang umfasste 21 Quadratplatten [3, 4] mit den Abmessungen 3.0 auf 3.0 m und Plattenstärken von  $h = 250$  mm bzw. 320 mm. Die Platten wurden mit einem Grösstkorn  $D_{\max} = 16$  mm betoniert:

- 9 Versuche mit DURA Bügelkörben
- 3 Versuche mit DURA S-Elementen
- 3 Versuche mit DURA S-Elementen kombiniert mit DURA Bügelkörben
- 4 Versuche mit DURA Pilz
- 2 Versuche mit DURA Pilz kombiniert mit DURA Bügelkörben



## 2. Essais de poinçonnement

### 2.1 Essais de poinçonnement à l'EPF Lausanne

Des essais ont été effectués sur 21 dalles carrées [3, 4] de 3.0 sur 3.0 m de surface, et d'épaisseur de  $h = 250$  mm ou 320 mm. Le diamètre maximum des granulats du béton des dalles était de  $D_{\max} = 16$  mm:

- 9 essais avec paniers d'étriers DURA
- 3 essais avec éléments S DURA
- 3 essais avec éléments S DURA en combinaison avec paniers d'étriers DURA
- 4 essais avec tête DURA
- 2 essais avec tête DURA en combinaison avec paniers d'étriers DURA

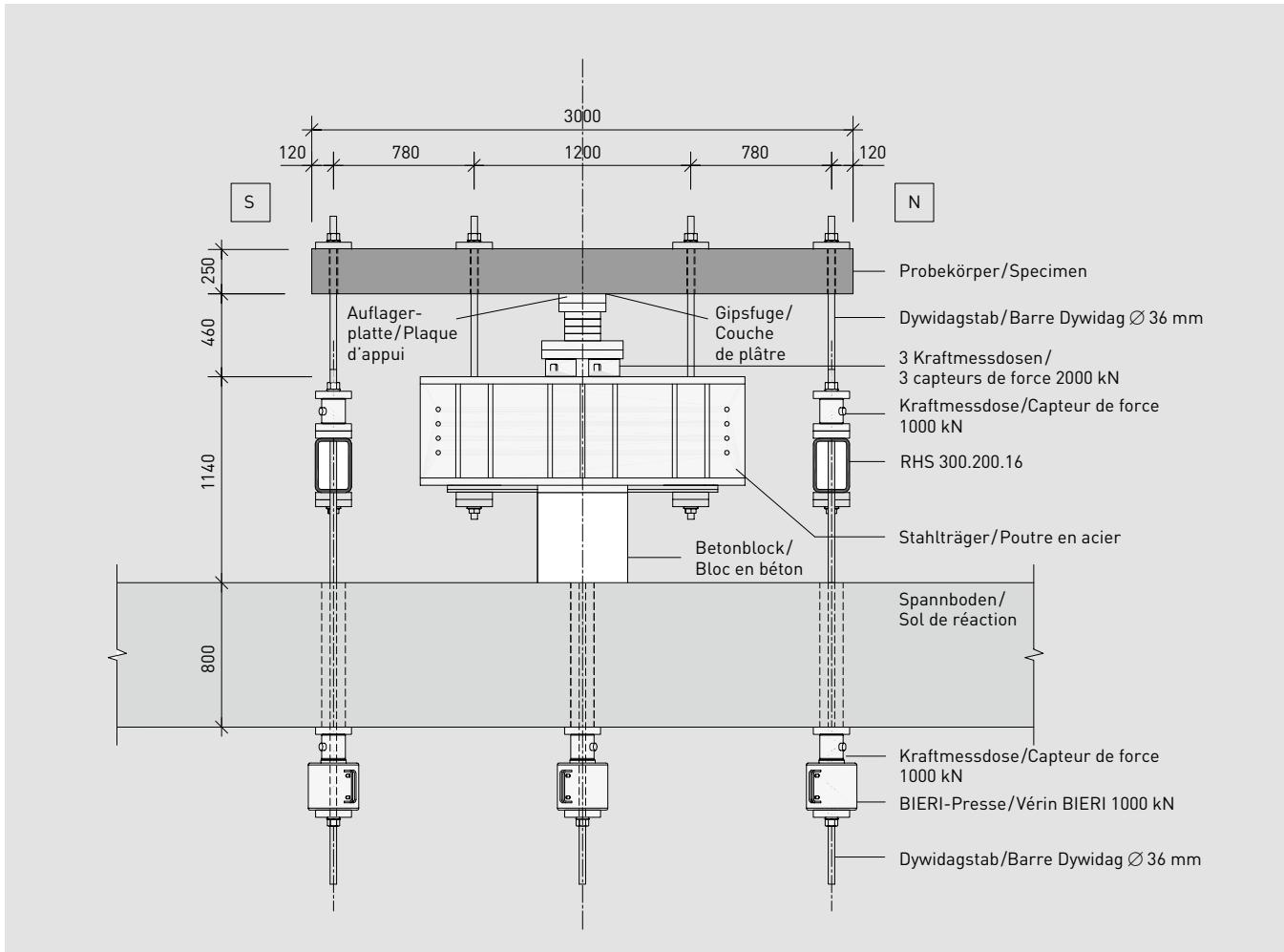


Bild 2: Versuchsaufbau, aus [4]

Figure 2: Montage expérimental, de [4]

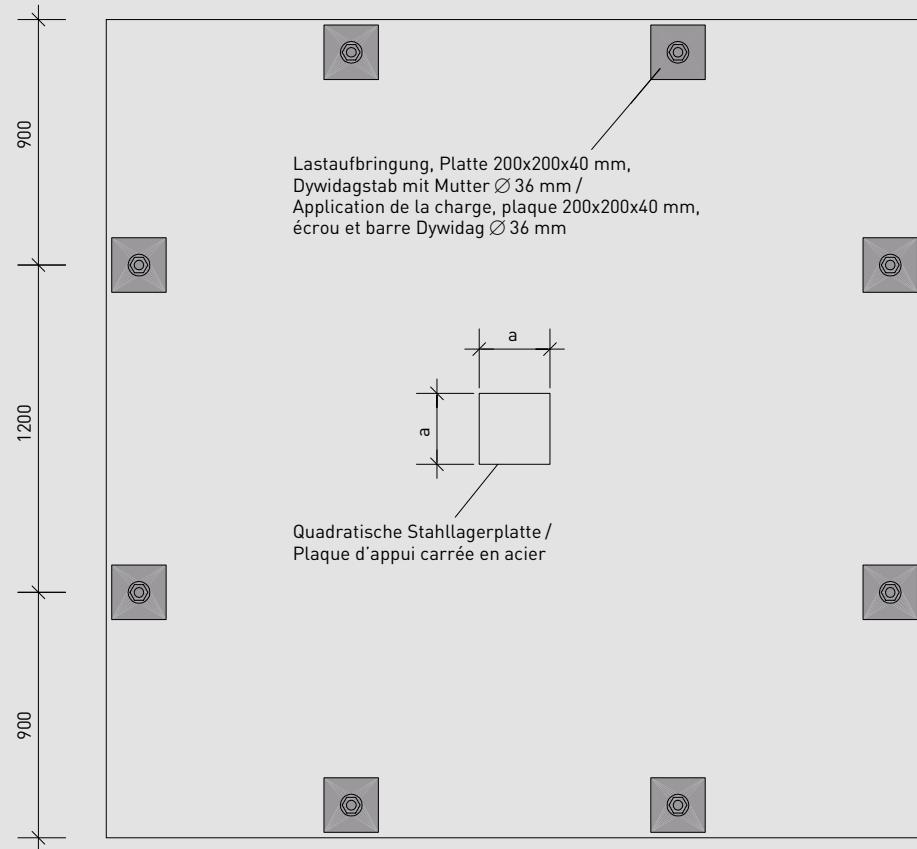


Bild 3: Versuchsdraufsicht, aus [4]

Figure 3: Vue en plan de l'essai, de [4]

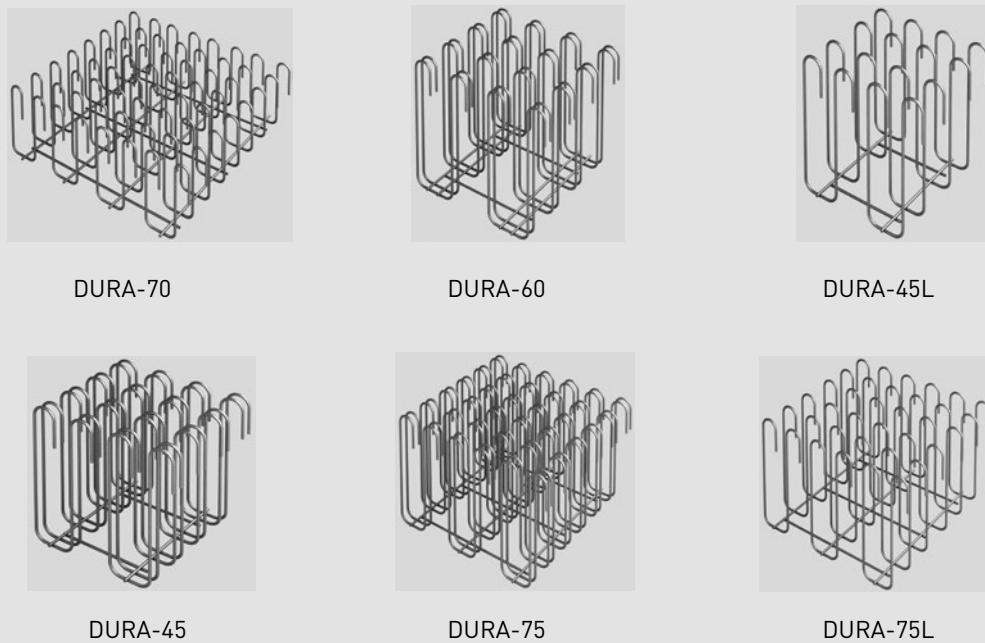


Bild 4: In den Versuchen als Durchstanzbewehrung eingesetzte DURA Körbe

Figure 4: Paniers DURA utilisés comme armature de poinçonnement dans les essais

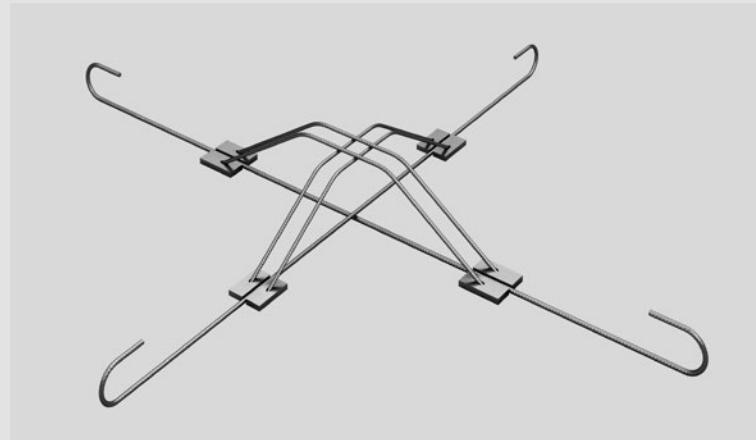


Bild 5: In den Versuchen als Durchstanzbewehrung eingesetzte DURA S-Elemente

Figure 5: Éléments S DURA utilisés comme armature de poinçonnement dans les essais

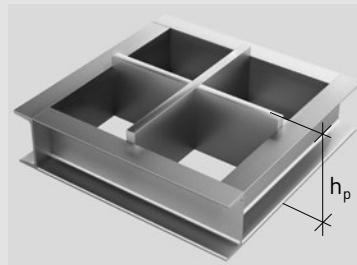


Bild 6: In den Versuchen als Durchstanzbewehrung eingesetzte DURA Pilze

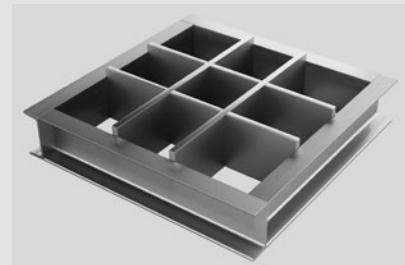


Figure 6: Têtes DURA utilisées comme armature de poinçonnement dans les essais

## 2.2 Durchstanzversuche an der EMPA

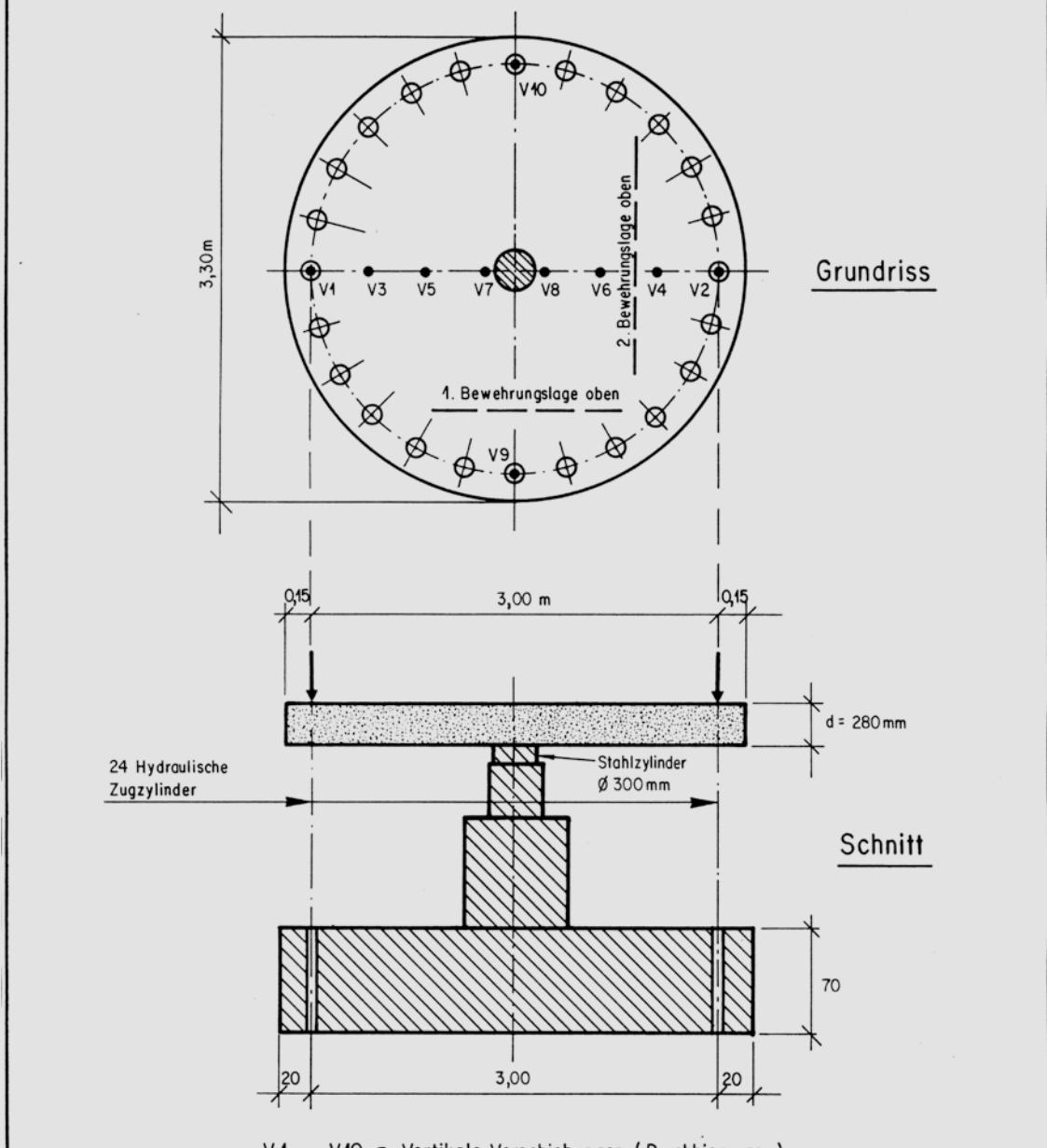
Der Prüfumfang umfasste 3 Kreisplatten [3] mit Außen-durchmesser 3.3 m und einer Plattenstärke von  $h = 280$  mm. Die Platten wurden mit einem Grösstkorn  $D_{max} = 32$  mm betoniert:  
 - 2 Versuche mit DURA Bügelkörben  
 - 1 Versuch mit DURA Pilz kombiniert mit DURA Bügelkörben

## 2.2 Essais de poinçonnement à l'EMPA

Des essais ont été effectués sur 3 dalles circulaires [3] de 3.3 m de diamètre extérieur, et d'épaisseur de  $h = 280$  mm. Le diamètre maximum des granulats du béton des dalles était de  $D_{max} = 32$  mm:  
 - 2 essais avec paniers d'étriers DURA  
 - 1 essai avec tête DURA en combinaison avec paniers d'étriers DURA

Beilage 12

### Versuchsanordnung



F. 426	 EMPA	Auftrags-Nr. 56 417	Auftraggeber: Aschwanden	Gezeichnet: Sept. 1987	Zeichnungsnummer: 4 - 51905
--------	--	------------------------	-----------------------------	---------------------------	--------------------------------

Bild 7: Versuchseinrichtung an der EMPA, aus [3]

Figure 7: Dispositif d'essai à l'EMPA, de [3]

## 2.3 Durchstanzversuche an der HSLU

Der Prüfumfang umfasste 3 Quadratplatten [6] mit den Abmessungen 3.3 auf 3.3 m und Plattenstärken von  $h = 280$  mm bzw. 220 mm. Die Platten wurden aus Recyclingbeton aus Mischgranulat M (RC-M) mit einem Größtkorn  $D_{\max} = 32$  mm betoniert:



## 2.3 Essais de poinçonnement à la HSLU

Les essais ont concerné 3 dalles carrées [6] de dimensions 3.3 par 3.3 m et des épaisseurs de dalles de  $h = 280$  mm ou 220 mm. Les dalles ont été réalisées en béton de recyclage en granulat mixte M (RC-M) d'une granulométrie maximale  $D_{\max} = 32$  mm:

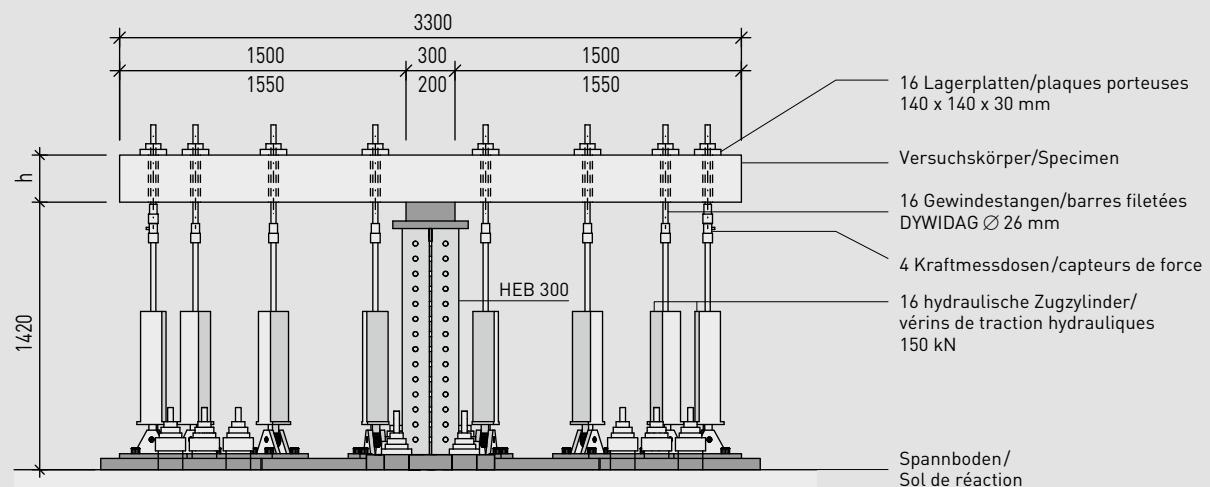


Bild 8: Versuchsaufbau, aus [6]

Figure 8: Montage expérimental, de [6]

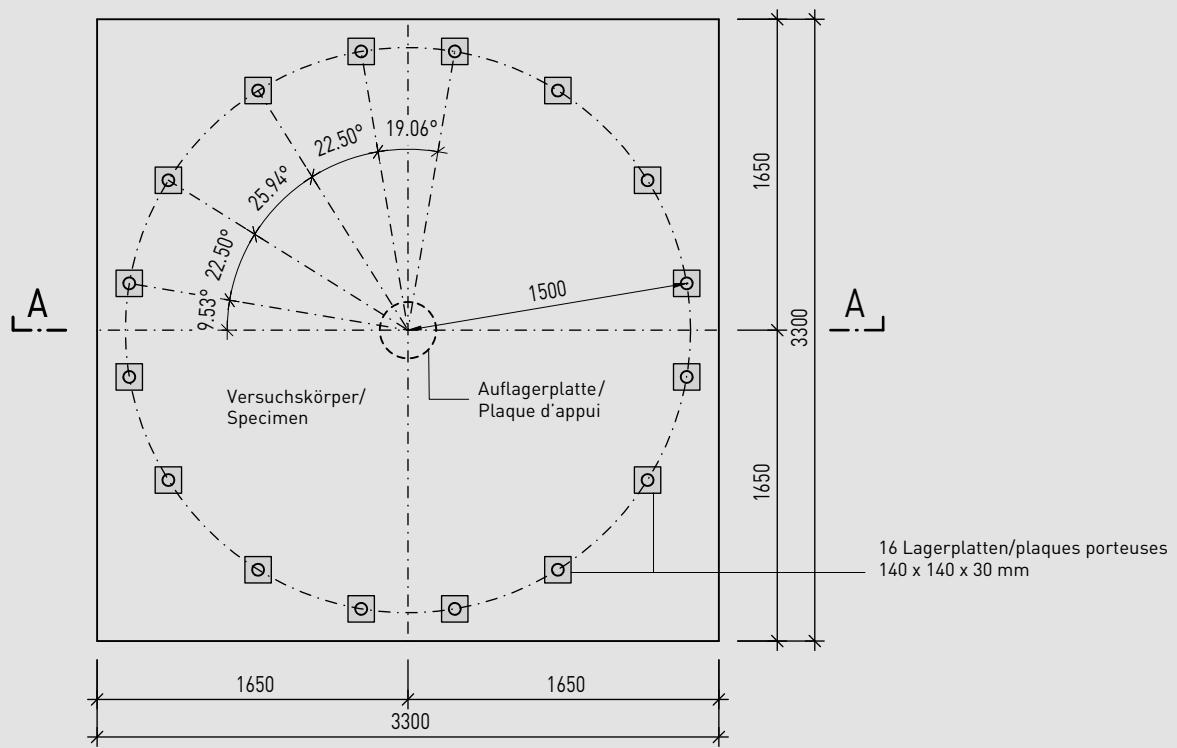


Bild 9: Versuchsdraufsicht, aus [6]

Figure 9: Vue en plan de l'essai, de [6]

## 2.4 Übersicht der Durchstanzversuche

## 2.4 Tableau des essais de poinçonnement

Nr. N°	h [mm]	a / Ø [mm]	d <sub>eff</sub> <sup>1)</sup> [mm]	DURA	A <sub>sw</sub> [mm]	c/h <sub>p</sub> [mm]	h <sub>zp,eff</sub> <sup>2)</sup> [mm]	ρ <sub>w</sub> [%]	ρ <sub>flex</sub> <sup>3)</sup> [%]	f <sub>cm</sub> <sup>4)</sup> [N/mm <sup>2</sup> ]	V <sub>R</sub> <sup>5)</sup> [kN]	ψ <sub>R</sub> <sup>6)</sup> [mrad]
1	250	260	206	D-70	1Ø10 s=100	-	-	0.785	0.748	36.2	<b>1066</b>	29.5
2	250	260	193	D-70	1Ø10 s=100	-	-	0.785	1.628	35.6	<b>1473</b>	16.9
3	250	260	204	D-75L&D-45L	1Ø12 s=150	-	-	0.503	0.745	35.3	<b>972</b>	21.5
4	250	260	196	D-75L&D-45L	1Ø12 s=150	-	-	0.503	1.551	37.2	<b>1266</b>	14.3
5	250	260	205	D-75&D-45	2Ø12 s=150	-	-	1.005	0.741	30.7	<b>1000</b>	37.3
6	250	260	204	D-75&D-45	2Ø12 s=150	-	-	1.005	1.490	33.8	<b>1345</b>	16.5
7	320	340	275	D-60	2Ø12 s=200	-	-	0.565	0.767	35.5	<b>1846</b>	35.1
8	320	340	276	D-60	2Ø12 s=200	-	-	0.565	1.463	35.8	<b>2741</b>	15.0
9	250	260	198	S-12&D-75L&D-45L	1Ø12 s=150	-	-	0.503+S	0.678	37.6	<b>1112</b>	32.4
10	250	260	198	S-16&D-75L&D-45L	1Ø12 s=150	-	-	0.503+S	1.535	38.8	<b>1652</b>	25.3
11	320	340	276	S-20&D-60	2Ø12 s=200	-	-	0.565+S	1.463	33.9	<b>3034</b>	14.5
12	250	260	201	S-12	-	-	-	S	0.756	35.3	<b>949</b>	21.6
13	250	260	196	S-16	-	-	-	S	1.551	34.4	<b>1140</b>	12.6
14	320	340	256	S-20	-	-	-	S	1.577	37.7	<b>2110</b>	10.1
15	250	260	182	speziell/spécial	2Ø12 s=150	-	-	-	1.670	36.8	<b>1134</b>	15.2
16	250	260	208	-	-	960/960/140	46	-	1.415	40.1	<b>1511</b>	12.2
17	250	260	208	D-70	1Ø10 s=100	600/600/140	44	0.785	1.510	39.9	<b>2147</b>	30.7
18	250	260	207	-	-	820/820/135	45	-	0.744	40.7	<b>1115</b>	14.8
19	250	260	219	-	-	1080/1080/190	0	-	1.435	38.6	<b>2103</b>	21.0
20	250	260	205	D-70	1Ø10 s=100	730/730/180	0	0.785	1.532	36.8	<b>2390</b>	46.2
21	250	340	218	-	-	1400/1400/180	0	-	1.441	40.6	<b>2498</b>	22.9
22	280	300	230	D-90	1Ø10 s=100	-	-	0.785	1.106	24.0	<b>1516</b>	22.2
23	280	300	226	D-70	1Ø10 s=100	-	-	0.785	1.390	24.0	<b>1604</b>	14.9
24	280	300	226	D-70	1Ø10 s=100	600/600/180	40	0.785	1.390	24.0	<b>2039</b>	17.0
25 <sup>7)</sup>	280	300	235	D-110	1Ø10 s=100	-	-	0.785	1.26	39.9	<b>1768</b>	13.7
26 <sup>7)</sup>	220	300	179	D-110	1Ø10 s=100	-	-	0.785	1.34	38.8	<b>1189</b>	20.9
27 <sup>7)</sup>	220	200	178	D-110	1Ø10 s=100	-	-	0.785	1.34	40.7	<b>955</b>	14.0

<sup>1)</sup>Nach dem Versuch gemessene, mittlere statische Höhe d<sub>eff</sub>

<sup>2)</sup>Nach dem Versuch gemessene Höhenlage des Pilzes h<sub>zp,eff</sub>

<sup>3)</sup>Auf die mittlere statische Höhe d<sub>eff</sub> bezogener Biegebewehrungsgehalt ρ<sub>flex</sub>

<sup>4)</sup>Zylinderdruckfestigkeit f<sub>cm</sub> im Zeitpunkt der Versuchsdurchführung

<sup>5)</sup>Bruchlast V<sub>R</sub> inkl. Platteneigengewicht

<sup>6)</sup>Bruchrotation ψ<sub>R</sub>

<sup>7)</sup>Recyclingbeton aus Mischgranulat M (RC-M)

Die Biege- und Durchstanzbewehrung aller Platten wurde mit Bewehrung der Duktilitätsklasse B500B [1] ausgeführt und an der EMPA geprüft [5–9]. Die Stegbleche und Randträger der Stahlpilze wurden in der Qualität S355 [12] ausgeführt und an der EMPA geprüft [11]. Die Stahlpilze der Versuche 19, 20 und 21 wurden direkt auf der Schalung verlegt, d.h. mit einer Höhenlage h<sub>zp,eff</sub> = 0. Die Stahlpilze der Versuche 16–18 und 24 wurden auf der 2. Lage verlegt, d.h. mit einer Höhenlage h<sub>zp,eff</sub> = 40–46 mm.

Als Versuchsparameter wurde neben der Plattenstärke und der Durchstanzbewehrung (und Kombinationen) der Biegebewehrungsgehalt ρ<sub>flex</sub> und der Durchstanzbewehrungsgehalt ρ<sub>w</sub> variiert.

<sup>1)</sup>Hauteur statique moyenne d<sub>eff</sub> mesurée après l'essai

<sup>2)</sup>Position en hauteur de la tête h<sub>zp,eff</sub> mesurée après l'essai

<sup>3)</sup>Taux d'armature de flexion rapporté à la hauteur d<sub>eff</sub> statique moyenne ρ<sub>flex</sub>

<sup>4)</sup>Résistance à la compression sur cylindres f<sub>cm</sub> au moment de l'essai

<sup>5)</sup>Charge de rupture V<sub>R</sub> y compris poids propre de la dalle

<sup>6)</sup>Rotation à la rupture ψ<sub>R</sub>

<sup>7)</sup>Béton de recyclage en granulat mixte M (RC-M)

Les armatures de flexion et de poinçonnement de toutes les dalles ont été exécutées avec des aciers de la qualité de ductilité B500B [1] et testées à l'EMPA [5–9]. Les âmes et les poutres de rive des têtes en acier ont été exécutées dans la qualité S355 [12] et testées à l'EMPA [11]. Les têtes en acier des essais 19, 20 et 21 ont été posées directement sur le coffrage, c'est-à-dire avec une position en hauteur h<sub>zp,eff</sub> = 0. Les têtes en acier des essais 16–18 et 24 ont été posées sur le 2<sup>e</sup> lit d'armature, c'est-à-dire avec une position en hauteur h<sub>zp,eff</sub> = 40–46 mm.

Comme paramètres d'essais, on a varié, outre l'épaisseur de dalle et l'armature de poinçonnement (et combinaisons), le taux des armatures de flexion ρ<sub>flex</sub> et de poinçonnement ρ<sub>w</sub>.

### 3. Bemessungsgrundlagen

Als Bemessungsgrundlage dient die Theorie des kritischen Schubrisses [11, 12], welche die Grundlage der Norm SIA 262:2013 bildet. Für die Vergleichsrechnungen mit den Versuchen werden bei diesem Ansatz keine Modellfaktoren und jeweils die Mittelwerte der Materialversuche berücksichtigt.

Bei Platten mit Durchstanzbewehrung gilt es generell folgende Nachweise zu führen:

- Nachweis im Bereich der Durchstanzbewehrung
- Nachweis der Betondruckdiagonale
- Nachweis ausserhalb der Durchstanzbewehrung

Dabei sind je nach Verstärkungssystem verschiedene Nachweisschnitte zu berücksichtigen. Die Widerstände für die verschiedenen Bruchmechanismen sowie verschiedenen Nachweisschnitte werden in Funktion der Plattenrotation bestimmt, wobei die Plattenrotation  $\psi$  anhand der Biegetraglast  $V_{\text{flex},m}$  abgeschätzt werden kann:

$$\psi = 1.5 \cdot \frac{r_s}{d} \cdot \frac{f_{sm}}{E_s} \cdot \left( \frac{V}{V_{\text{flex},m}} \right)^{3/2} \quad (1)$$

wobei  $r_s$  der äquivalente Radius des Versuchskörpers,  $d$  die statische Höhe,  $f_{sm}$  der Mittelwert der Fließgrenze der Biegebewehrung,  $E_s$  der Elastizitätsmodul der Biegebewehrung und  $V_{\text{flex},m}$  die Biegetraglast ist.

Gleichung (1) kann umgeformt werden, so dass die Querkraft als Funktion der Rotation bestimmt werden kann:

$$V = \left( \psi \cdot \frac{d \cdot E_s}{1.5 \cdot r_s \cdot f_{sm}} \right)^{2/3} \cdot V_{\text{flex},m} \leq V_{\text{flex},m} \quad (2)$$

#### 3.1 Durchstanzwiderstand im Bereich der Durchstanzbewehrung

Der Durchstanzwiderstand definiert durch das Versagen im Bereich der Durchstanzbewehrung kann als Summe des Betonwiderstandes und des Bewehrungswiderstandes bestimmt werden:

$$V_{Rm,cs0} = V_{Rm,c0} + V_{Rm,s0} \quad (3)$$

Der Durchstanzwiderstand des Betons im Bereich der Stütze  $V_{Rm,c0}$  kann wie folgt bestimmt werden:

$$V_{Rm,c0} = \frac{3}{4} \cdot \frac{k_e \cdot u_0 \cdot d_{v0} \cdot \sqrt{f_{cm}}}{1 + 15 \cdot (k_c \cdot d \cdot \psi / (d_{g0} + d_g))} \quad (4)$$

wobei  $u_0$  der Umfang des Nachweisschnittes im Bereich der Stütze ( $d_{v0}/2$  von der Stützenkante entfernt),  $k_e$  ein Beiwert zur Berücksichtigung ungleicher Schubspannungsverteilung entlang des Nachweisschnittes,  $d$  die statische Höhe,  $d_{v0}$  die schubwirksame statische Höhe im Nachweisschnitt  $u_0$ ,  $f_{cm}$  der Mittelwert der Zylinderdruckfestigkeit des Betons,  $d_{g0}$  die Referenzkorngrösse (16 mm) und  $d_g$  die maximale Korngrösse des Zuschlags ist. Bei Verwendung von Recyclingbeton aus Mischgranulat M (RC-M) ist  $k_c = 1.2$  zu setzen; für alle anderen Betone beträgt  $k_c = 1.0$ .

### 3. Bases de dimensionnement

La théorie de la fissure critique [11, 12] qui constitue la base de la norme SIA 262:2013 sert de base au dimensionnement. Pour les calculs comparatifs avec les essais, cette approche ne tient pas compte de facteurs de modèle, mais des valeurs moyennes des essais de matériau.

Concernant les dalles avec armature de poinçonnement, il faut généralement justifier les points suivants:

- Vérification dans la zone de l'armature de poinçonnement
- Vérification de la bielle de compression du béton
- Vérification à l'extérieur de l'armature de poinçonnement

Selon le système de renforcement, il faut prendre en compte différentes sections de contrôle. Les résistances des différents mécanismes de rupture et différentes sections de contrôle sont déterminées en fonction de la rotation de la dalle, la rotation de la dalle  $\psi$  pouvant être évaluée à partir de la capacité portante en flexion  $V_{\text{flex},m}$ :

$r_s$  étant le rayon équivalent de l'échantillon,  $d$  la hauteur statique,  $f_{sm}$  la valeur moyenne de la limite d'écoulement de l'armature de flexion,  $E_s$  le module d'élasticité de l'armature de flexion et  $V_{\text{flex},m}$  la capacité portante en flexion.

L'équation (1) peut être transformée de façon à ce que l'effort tranchant puisse être défini comme fonction de la rotation:

#### 3.1 Résistance au poinçonnement dans la zone de l'armature de poinçonnement

La résistance au poinçonnement définie par la ruine dans la zone de l'armature de poinçonnement peut être déterminée comme somme de la résistance du béton et de la résistance de l'armature:

La résistance au poinçonnement du béton dans la zone de la colonne  $V_{Rm,c0}$  peut être déterminée comme suit:

$u_0$  étant le périmètre de la section de contrôle dans la zone de la colonne ( $d_{v0}/2$  mesurée loin du bord de colonne),  $k_e$  un coefficient pour la prise en compte de la répartition inégale de la contrainte de cisaillement le long de la section de contrôle,  $d$  la hauteur statique,  $d_{v0}$  la hauteur statique agissant comme force de cisaillement dans la section de contrôle  $u_0$ ,  $f_{cm}$  la valeur moyenne de la résistance à la compression sur cylindres du béton,  $d_{g0}$  la granulométrie de référence (16 mm) et  $d_g$  la granulométrie maximale du granulat. En cas d'utilisation de béton de recyclage en granulat mixte M (RC-M), il faut choisir  $k_c = 1.2$ ; pour tous les autres bétons, choisir  $k_c = 1.0$ .

Der Widerstand der Durchstanzbewehrung  $V_{Rm,s0}$  hängt von den vorhandenen Stahlspannungen in der Durchstanzbewehrung ab:

$$V_{Rm,s0} = k_e \cdot (\sigma_{sm,bg} \cdot A_{s,bg0} + \sigma_{sm,SE} \cdot A_{s,SE} \cdot \sin\beta) \quad (5)$$

wobei  $\sigma_{sm,bg}$  die Stahlspannung in den Körben,  $A_{s,bg0}$  die berücksichtigte Querschnittsfläche der Körbe im Bereich der Stütze,  $\sigma_{sm,SE}$  die Stahlspannungen in den S-Elementen,  $A_{s,SE}$  die Querschnittsfläche der S-Elemente und  $k_e$  ein Beiwert zur Berücksichtigung ungleicher Schubspannungsverteilung entlang des Nachweisschnittes ist.

Die Stahlspannung in den Körben kann wie folgt abgeschätzt werden:

$$\sigma_{sm,bg} = \psi \cdot \frac{E_{s,bg}}{6} \cdot \left( 1 + \frac{f_{bm}}{f_{sm,bg}} \cdot \frac{d}{\emptyset_{bg}} \right) \leq f_{sm,bg} \quad (6)$$

wobei  $E_{s,bg}$  der Elastizitätsmodul der Körbe,  $f_{sm,bg}$  der Mittelwert der Fließgrenze der Körbe,  $d$  die statische Höhe,  $\emptyset_{bg}$  der Stabdurchmesser der Körbe und  $f_{bm}$  der Mittelwert der Verbundspannung ist.

Die Stahlspannungen in den S-Elementen können analog Gleichung (6) unter Berücksichtigung der Stabneigung bestimmt werden.

Die Verbundspannung  $f_{bm}$  kann mithilfe des Mittelwertes der Betondruckfestigkeit  $f_{cm}$  abgeschätzt werden:

La résistance de l'armature de poinçonnement  $V_{Rm,s0}$  dépend des contraintes au sein de l'acier présentes dans l'armature de poinçonnement:

$\sigma_{sm,bg}$  étant la contrainte au sein de l'acier dans les paniers,  $A_{s,bg0}$  l'aire de la section des paniers prise en compte dans la zone de la colonne,  $\sigma_{sm,SE}$  les contraintes au sein de l'acier dans les éléments S,  $A_{s,SE}$  l'aire de la section des éléments S et  $k_e$  un coefficient pour la prise en compte de la répartition inégale de la contrainte de cisaillement le long de la section de contrôle.

La contrainte au sein de l'acier dans les paniers peut être estimée comme suit:

$E_{s,bg}$  étant le module d'élasticité des paniers,  $f_{sm,bg}$  la valeur moyenne de la limite d'écoulement des paniers,  $d$  la hauteur statique,  $\emptyset_{bg}$  le diamètre des barres des paniers et  $f_{bm}$  la valeur moyenne de la contrainte d'adhérence.

Les contraintes au sein de l'acier dans les éléments S peuvent être déterminées à l'aide de l'équation (6) en tenant compte de l'inclinaison des barres.

La contrainte d'adhérence  $f_{bm}$  peut être estimée à l'aide de la valeur moyenne de la résistance à la compression du béton  $f_{cm}$ :

$$f_{bm} = 2 \cdot 0.3 \cdot f_{cm}^{2/3} \quad (7)$$

### 3.2 Widerstand der Betondruckdiagonale

Der Durchstanzwiderstand, definiert durch das Versagen der Betondruckdiagonale im Stützenbereich, kann mithilfe des Systembeiwerts  $k_{sys}$  bestimmt werden. Dabei wird der Durchstanzwiderstand des Betons als Funktion der Plattenrotation um den Faktor  $k_{sys}$  erhöht:

$$V_{Rm,cc0} = k_{sys} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{k_e \cdot u_0 \cdot d_{v0} \cdot \sqrt{f_{cm}}}{1 + 15 \cdot (k_c \cdot d \cdot \psi / (d_{g0} + d_g))} \quad (8)$$

wobei  $u_0$  der Umfang des Nachweisschnittes im Bereich der Stütze ( $d_{v0}/2$  von der Stützenkante entfernt),  $k_e$  ein Beiwert zur Berücksichtigung ungleicher Schubspannungsverteilung entlang des Nachweisschnittes,  $d$  die statische Höhe,  $d_{v0}$  die schubwirksame statische Höhe im Nachweisschnitt  $u_0$ ,  $f_{cm}$  der Mittelwert der Zylinderdruckfestigkeit des Betons,  $d_{g0}$  die Referenzkorngrösse (16 mm) und  $d_g$  die maximale Korngrösse des Zuschlags ist. Bei Verwendung von Recyclingbeton aus Mischgranulat M [RC-M] ist  $k_c = 1.2$  zu setzen; für alle anderen Betone beträgt  $k_c = 1.0$ .

### 3.2 Résistance de la bielle de compression du béton

La résistance au poinçonnement, définie par la ruine de la bielle de compression du béton autour des colonnes, peut être déterminée à l'aide du coefficient du système  $k_{sys}$ . La résistance au poinçonnement du béton comme fonction de la rotation de la dalle est augmentée du facteur  $k_{sys}$ :

$u_0$  étant le périmètre de la section de contrôle dans la zone de la colonne ( $d_{v0}/2$  mesurée loin du bord de colonne),  $k_e$  un coefficient pour la prise en compte de la répartition inégale de la contrainte de cisaillement le long de la section de contrôle,  $d$  la hauteur statique,  $d_{v0}$  la hauteur statique agissant comme force de cisaillement dans la section de contrôle  $u_0$ ,  $f_{cm}$  la valeur moyenne de la résistance à la compression sur cylindres du béton,  $d_{g0}$  la granulométrie de référence (16 mm) et  $d_g$  la granulométrie maximale du granulat. En cas d'utilisation de béton de recyclage en granulat mixte M [RC-M], il faut choisir  $k_c = 1.2$ ; pour tous les autres bétons, choisir  $k_c = 1.0$ .

### 3.3 Durchstanzwiderstand ausserhalb der Körbe

Der Durchstanzwiderstand des Betons am Nachweisschnitt ausserhalb des durchstanzbewehrten Bereichs ( $u_1$ ) ist wie folgt definiert:

$$V_{Rm,c1} = \frac{3}{4} \cdot \frac{k_e \cdot u_1 \cdot d_{v1} \cdot \sqrt{f_{cm}}}{1 + 15 \cdot (k_c \cdot d \cdot \psi / (d_{g0} + d_g))} \quad (9)$$

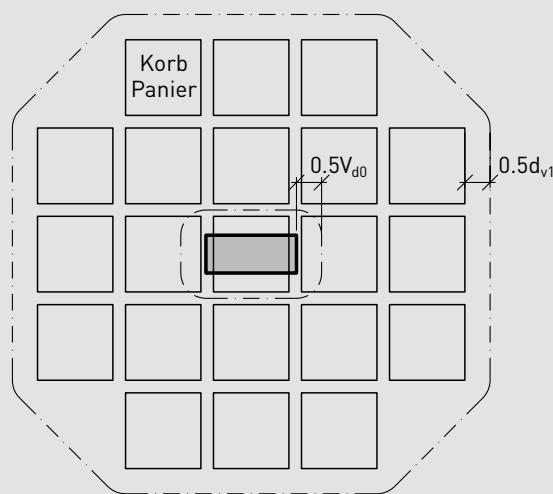
wobei  $u_1$  der Umfang des Nachweisschnittes ausserhalb des durchstanzbewehrten Bereichs ( $d_{v1}/2$  von der äussersten Durchstanzbewehrungsreihe; siehe Bild 10),  $k_e$  ein Beiwert zur Berücksichtigung ungleicher Schubspannungsverteilung entlang des Nachweisschnittes,  $d_{v1}$  die schubwirksame statische Höhe im Nachweisschnitt  $u_1$ ,  $f_{cm}$  der Mittelwert der Zylinderdruckfestigkeit des Betons,  $d_{g0}$  die Referenzkorngrösse (16 mm) und  $d_g$  die maximale Korngrösse des Zuschlags ist. Bei Verwendung von Recyclingbeton aus Mischgranulat M (RC-M) ist  $k_c = 1.2$  zu setzen; für alle anderen Betone beträgt  $k_c = 1.0$ .

### 3.3 Résistance au poinçonnement à l'extérieur des paniers

La résistance au poinçonnement du béton sur la section de contrôle à l'extérieur de la zone avec armature de poinçonnement ( $u_1$ ) est définie comme suit:

$u_1$  étant le périmètre de la section de contrôle à l'extérieur de la zone avec armature de poinçonnement ( $d_{v1}/2$  éloignée de la rangée d'armature de poinçonnement la plus à l'extérieur; voir figure 10),  $k_e$  un coefficient pour la prise en compte de la répartition inégale de la contrainte de cisaillement le long de la section de contrôle,  $d_{v1}$  la hauteur statique agissant comme force de cisaillement dans la section de contrôle  $u_1$ ,  $f_{cm}$  la valeur moyenne de la résistance à la compression sur cylindres du béton,  $d_{g0}$  la granulométrie de référence (16 mm) et  $d_g$  la granulométrie maximale du granulat. En cas d'utilisation de béton de recyclage en granulat mixte M (RC-M), il faut choisir  $k_c = 1.2$ ; pour tous les autres bétons, choisir  $k_c = 1.0$ .

Korblösung/Solution paniers



Lösung mit S-Elementen/  
Solution avec éléments S

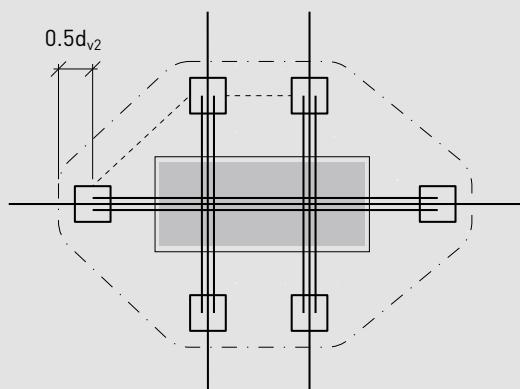
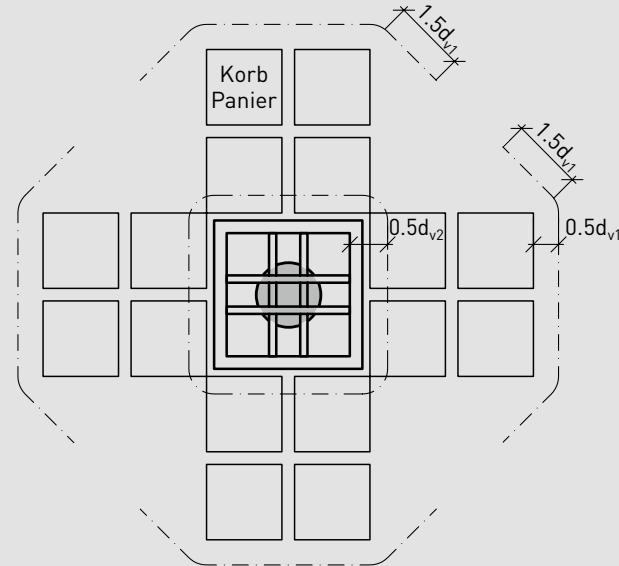


Bild 10: Definition des Nachweisschnittes ausserhalb des durchstanzbewehrten Bereichs

Kombinierte Lösung Pilz + Körbe/  
Solution combinant tête + paniers



Kombinierte Lösung S-Elemente + Körbe/  
Solution combinant éléments S + paniers

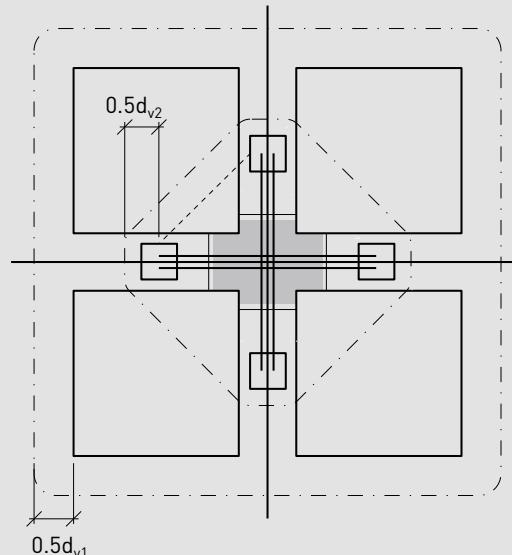


Figure 10: Définition de la section de contrôle à l'extérieur de la zone avec armature de poinçonnement

### 3.4 Durchstanzwiderstand ausserhalb der S-Elemente

Bei S-Elementen kann ebenfalls ein Versagen ausserhalb der S-Elemente auftreten. Bei diesem Nachweisschnitt kann zusätzlich der Widerstand der Körbe, falls vorhanden, berücksichtigt werden. Hierfür wird ein ähnliches additives Model wie bei der Stützenkante verwendet:

### 3.4 Résistance au poinçonnement à l'extérieur des éléments S

Avec des éléments S, une ruine peut également se produire à l'extérieur des éléments. Avec cette section de contrôle, on peut prendre en compte en plus la résistance des paniers, si présents. Pour cela, on utilise un modèle additif comme dans le cas du bord de colonne:

$$V_{Rm,cs2} = V_{Rm,c2} + V_{Rm,s2} \quad (10)$$

wobei  $V_{Rm,c2}$  der Durchstanzwiderstand des Betons bestimmt am Nachweisschnitt ausserhalb des S-Elementes (entsprechend Gleichung (9)) und  $V_{Rm,s2}$  der Durchstanzwiderstand der Körbe ist.

Der Durchstanzwiderstand der Körbe kann wiederum durch die Stahlspannungen bestimmt werden:

$$V_{Rm,s2} = \sigma_{sm,bg} \cdot A_{s,bg2} \quad (11)$$

wobei  $\sigma_{sm,bg}$  die Stahlspannung in den Körben (gemäß Gleichung (6)) und  $A_{s,bg2}$  die berücksichtigte Querschnittsfläche der Körbe beim Nachweisschnitt ausserhalb des S-Elementes ( $u_2$ ) ist.

### 3.5 Durchstanzwiderstand ausserhalb der Stahlpilze

Bei Stahlpilzen kann ebenfalls ein Versagen ausserhalb des Stahlpilzes auftreten. Dabei gilt es den Betonwiderstand ausserhalb des Stahlpilzes nachzuweisen, wobei allenfalls vorhandene Durchstanzbewehrung berücksichtigt werden darf. Hierfür wird ein ähnliches additives Model wie bei der Stützenkante verwendet:

$V_{Rm,c2}$  étant la résistance au poinçonnement du béton déterminée sur la section de contrôle à l'extérieur de l'élément S (conformément à l'équation (9)) et  $V_{Rm,s2}$  la résistance au poinçonnement des paniers.

La résistance au poinçonnement des paniers peut à son tour être déterminée par les contraintes au sein de l'acier:

$$V_{Rm,cs2} = V_{Rm,c2} + V_{Rm,s2} \quad (12)$$

wobei  $V_{Rm,c2}$  der Durchstanzwiderstand des Betons bestimmt am Nachweisschnitt ausserhalb des Stahlpilzes (entsprechend Gleichung (9)) und  $V_{Rm,s2}$  der Durchstanzwiderstand der Körbe ist.

Der Durchstanzwiderstand der Körbe kann wiederum durch die Stahlspannungen bestimmt werden:

$$V_{Rm,s2} = \sigma_{sm,bg} \cdot A_{s,bg2} \quad (13)$$

wobei  $\sigma_{sm,bg}$  die Stahlspannung in den Körben (gemäß Gleichung (6)) und  $A_{s,bg2}$  die berücksichtigte Querschnittsfläche der Körbe beim Nachweisschnitt ausserhalb des Stahlpilzes ( $u_2$ ) ist.

$\sigma_{sm,bg}$  étant la contrainte au sein de l'acier dans les paniers (d'après l'équation (6)) et  $A_{s,bg2}$  l'aire de la section des paniers prise en compte au niveau de la section de contrôle à l'extérieur de la tête en acier ( $u_2$ ).

Falls Stahlpilze in Kombination mit Körben verwendet werden, muss ebenfalls die Druckdiagonale bei der Abstützung auf den Stahlpilz nachgewiesen werden. Der Nachweis erfolgt analog wie bei der Betondruckdiagonale im Bereich der Stütze:

$$V_{Rm,cc2} = k_{sys} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{k_e \cdot u_2 \cdot d_{v2} \cdot \sqrt{f_{cm}}}{1 + 15 \cdot (k_c \cdot d \cdot \psi / (d_{g0} + d_g))} \quad (14)$$

wobei  $k_{sys}$  der Systembeiwert der Körbe,  $u_2$  der Umfang des Nachweisschnittes ausserhalb des Stahlpilzes ( $d_{v2}/2$  vom Steg des Pilzrandprofils entfernt),  $k_e$  ein Beiwert zur Berücksichtigung ungleicher Schubspannungsverteilung entlang des Nachweisschnittes,  $d$  die statische Höhe,  $d_{v2}$  die schubwirksame statische Höhe im Nachweisschnitt  $u_2$ ,  $f_{cm}$  der Mittelwert der Zylinderdruckfestigkeit des Betons,  $d_{g0}$  die Referenzkorngrösse (16 mm) und  $d_g$  die maximale Korngrösse des Zuschlags ist. Bei Verwendung von Recyclingbeton aus Mischgranulat M (RC-M) ist  $k_c = 1.2$  zu setzen; für alle anderen Betone beträgt  $k_c = 1.0$ .

Si des têtes en acier sont utilisées en association avec des paniers, il faut également vérifier la bielle de compression au niveau de l'étayage sur la tête en acier. La vérification se fait de façon analogue à la bielle de compression du béton dans la zone de la colonne:

$k_{sys}$  étant le coefficient de système des paniers,  $u_2$  le périmètre de la section de contrôle à l'extérieur de la tête en acier ( $d_{v2}/2$  éloignée de l'âme du profil du bord de la tête),  $k_e$  un coefficient pour la prise en compte de la répartition inégale de la contrainte de cisaillement le long de la section de contrôle,  $d$  la hauteur statique,  $d_{v2}$  la hauteur statique agissant comme force de cisaillement dans la section de contrôle  $u_2$ ,  $f_{cm}$  la valeur moyenne de la résistance à la compression sur cylindres du béton,  $d_{g0}$  la granulométrie de référence (16 mm) et  $d_g$  la granulométrie maximale du granulat.

En cas d'utilisation de béton de recyclage en granulat mixte M (RC-M), il faut choisir  $k_c = 1.2$ ; pour tous les autres bétons, choisir  $k_c = 1.0$ .

## 4. Bemessung von DURA Durchstanzbewehrung

Die Erkenntnisse der Versuchsauswertung wurden in das Bemessungskonzept für durchstanzgefährdete Flachdecken, Boden- und Brückenplatten der Firma F.J. Aschwanden AG eingearbeitet. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Versagensarten (Betonversagen, Stahlversagen) und Nachweisschnitte (innerhalb und ausserhalb der Durchstanzbewehrung) können mithilfe des überarbeiteten Bemessungskonzepts Durchstanzwiderstände  $V_{Rd}$  auf Bemessungsniveau gemäss Norm SIA 262:2013 und zum Vergleich mit den Versuchsergebnissen Durchstanzwiderstände  $V_{Rm}$  auf Bruchniveau ermittelt werden. Die Berechnung der Durchstanzwiderstände  $V_{Rd}$  auf Bemessungsniveau wird in den folgenden Abschnitten erläutert. Damit ein Versagen der Betondruckdiagonale im Stützenbereich ausgeschlossen werden kann, ist der Durchstanzwiderstand gemäss Gleichung SIA 262 [69] zu beschränken. Der Beiwert 2.0 in Gleichung SIA 262 [69] gilt im Zusammenhang mit konstruktiven Anforderungen der Ziffer 5.5.3 der Norm SIA 262:2013 und ist grundsätzlich systemabhängig. Die Auswertung der Versuche zeigt, dass für die verschiedenen DURA-Durchstanzbewehrungen ein dem jeweiligen Durchstanzsystem angepasster Beiwert  $k_{sys}$  berücksichtigt werden kann.

Wie bereits im Kapitel 3 erläutert, werden verschiedene Nachweise an verschiedenen Nachweisschnitten geführt, wobei der Durchstanzwiderstand jeweils in Funktion der Plattenrotation bestimmt wird.

Die Rotation kann wiederum auf Grund des Biegewiderstandes abgeschätzt werden:

$$\psi = 1.5 \cdot \frac{r_s}{d} \cdot \frac{f_{sd}}{E_s} \cdot \left( \frac{V}{V_{flex,d}} \right)^{3/2} \quad SIA 262 (59)$$

wobei  $r_s$  der äquivalente Radius des Versuchskörpers,  $d$  die statische Höhe,  $f_{sd}$  der Bemessungswert der Fließgrenze der Biegebewehrung,  $E_s$  der Elastizitätsmodul der Biegebewehrung und  $V_{flex,d}$  die Biegetraglast ist.

## 4. Dimensionnement de l'armature de poinçonnement DURA

Les connaissances acquises par l'analyse des essais ont été incorporées au concept de dimensionnement pour planchers-dalles, radiers et dalles de pont exposés au poinçonnement de l'entreprise F.J. Aschwanden SA. En tenant compte des différents modes de ruine (ruine du béton, ruine de l'acier) et des différentes sections de contrôle (à l'intérieur et à l'extérieur de l'armature de poinçonnement), il est possible, à l'aide du concept de dimensionnement remanié, de déterminer les résistances au poinçonnement  $V_{Rd}$  au niveau du dimensionnement selon norme SIA 262:2013 et, sur la base des résultats d'essais, les résistances au poinçonnement  $V_{Rm}$  au niveau de rupture. Le calcul des résistances au poinçonnement  $V_{Rd}$  au niveau du dimensionnement est expliqué dans les chapitres qui suivent. Pour exclure une ruine de la bielle de compression du béton dans la zone de la colonne, il faut limiter la résistance au poinçonnement conformément à l'équation SIA 262 [69]. Le coefficient 2.0 dans l'équation SIA 262 [69] s'applique en rapport avec les exigences constructives selon chiffre 5.5.3 de la norme SIA 262:2013 et dépend en principe du système. L'analyse des essais a montré qu'un coefficient  $k_{sys}$  adapté au système de poinçonnement concerné peut être pris en compte pour les diverses armatures de poinçonnement DURA.

Comme expliqué au chapitre 3, différentes vérifications sont effectuées sur différentes sections de contrôle, la résistance au poinçonnement étant déterminée en fonction de la rotation de la dalle.

La rotation peut être évaluée sur la base de la résistance à la flexion:

$r_s$  étant le rayon équivalent de l'échantillon,  $d$  la hauteur statique,  $f_{sd}$  la valeur de calcul de la limite d'écoulement de l'armature de flexion,  $E_s$  le module d'élasticité de l'armature de flexion et  $V_{flex,d}$  la capacité portante en flexion.

Dies führt zur Querkraft als Funktion der Plattenrotation:

Ce qui conduit au cisaillement comme fonction de la rotation de la dalle:

$$V = \left( \psi \cdot \frac{d \cdot E_s}{1.5 \cdot r_s \cdot f_{sd}} \right)^{2/3} \cdot V_{flex,d} \leq V_{flex,d} \quad (15)$$

#### 4.1 Durchstanzwiderstand im Bereich der Durchstanzbewehrung

Der Durchstanzwiderstand definiert durch das Versagen im Bereich der Durchstanzbewehrung kann als Summe des Betonwiderstandes  $V_{Rd,c0}$  und des Bewehrungswiderstandes  $V_{Rd,s0}$  ermittelt werden:

#### 4.1 Résistance au poinçonnement dans la zone de l'armature de poinçonnement

La résistance au poinçonnement définie par la ruine dans la zone de l'armature de poinçonnement peut être calculée comme étant la somme de la résistance du béton  $V_{Rd,c0}$  et de la résistance de l'armature  $V_{Rd,s0}$ :

$$V_{Rd,cs0} = V_{Rd,c0} + V_{Rd,s0} \geq V_{Rds,min} \quad (16)$$

Der Durchstanzwiderstand des Betons im Bereich der Stütze in Abhängigkeit der Plattenrotation kann wie folgt bestimmt werden:

$$V_{Rd,c0} = \frac{k_e \cdot u_0 \cdot d_{v0} \cdot \tau_{cd}}{0.45 + 0.18 \cdot d \cdot \psi \cdot k_g} \leq k_{sup} \cdot k_e \cdot u_0 \cdot d_{v0} \cdot \tau_{cd} \quad \begin{matrix} \text{SIA 262 (57)} \\ \text{SIA 262 (58)} \end{matrix}$$

wobei  $u_0$  der Umfang des Nachweisschnittes im Bereich der Stütze ( $d_{v0}/2$  von der Stützenkante entfernt),  $k_e$  ein Beiwert zur Berücksichtigung von ungleicher Schubspannungsverteilung entlang des Nachweisschnittes,  $d$  die statische Höhe,  $d_{v0}$  die schubwirksame statische Höhe im Nachweisschnitt  $u_0$ ,  $\tau_{cd}$  der Bemessungswert der Schubspannungsgrenze und  $k_g$  ein Beiwert zur Berücksichtigung der maximalen Korngrösse des Zuschlags ist. Bei Verwendung von Recyclingbeton aus Mischgranulat M (RC-M) ist  $k_{sup} = 1.5$  zu setzen; für alle anderen Betone beträgt  $k_{sup} = 2.0$ .  $k_g$  ist definiert als:

$u_0$  étant le périmètre de la section de contrôle dans la zone de la colonne ( $d_{v0}/2$  mesurée loin du bord de colonne),  $k_e$  un coefficient pour la prise en compte de la répartition inégale de la contrainte de cisaillement le long de la section de contrôle,  $d$  la hauteur statique,  $d_{v0}$  la hauteur statique agissant comme force de cisaillement dans la section de contrôle  $u_0$ ,  $\tau_{cd}$  la valeur de calcul de la contrainte limit de cisaillement et  $k_g$  un coefficient pour la prise en compte de la granulométrie maximale du granulat. En cas d'utilisation de béton de recyclage en granulat mixte M (RC-M), il faut choisir  $k_{sup} = 1.5$ ; pour tous les autres bétons, choisir  $k_{sup} = 2.0$ .  $k_g$  est défini comme suit:

$$k_g = k_c \cdot \frac{48}{16 + d_g} \quad \text{SIA 262 (37)}$$

wobei  $d_g$  die maximale Korngrösse des Zuschlags ist. Bei Verwendung von Recyclingbeton aus Mischgranulat M (RC-M) ist  $k_c = 1.2$  zu setzen; für alle anderen Betone beträgt  $k_c = 1.0$ .

$d_g$  étant la granulométrie maximale du granulat. En cas d'utilisation de béton de recyclage en granulat mixte M (RC-M), il faut choisir  $k_c = 1.2$ ; pour tous les autres bétons, choisir  $k_c = 1.0$ .

Der Bemessungswert der Schubspannungsgrenze kann durch die charakteristische Betondruckfestigkeit  $f_{ck}$  bestimmt werden:

La valeur de calcul de la contrainte limit de cisaillement peut être déterminée à l'aide de la résistance caractéristique à la compression du béton  $f_{ck}$ :

$$\tau_{cd} = \frac{0.3 \cdot \eta_l \cdot \sqrt{f_{ck}}}{1.5} \quad \text{SIA 262 (3)}$$

Der Widerstand der Durchstanzbewehrung hängt von den vorhandenen Stahlspannungen in der Durchstanzbewehrung ab:

$$V_{Rd,s0} = k_e \cdot (\sigma_{sd,bg} \cdot A_{s,bg0} + \sigma_{sd,SE} \cdot A_{s,SE} \cdot \sin\beta)$$

SIA 262 (67)

wobei  $\sigma_{sd,bg}$  die Stahlspannung in den Körben,  $A_{s,bg0}$  die berücksichtigte Querschnittsfläche der Körbe im Bereich der Stütze,  $\sigma_{sd,SE}$  die Stahlspannungen in den S-Elementen,  $A_{s,SE}$  die Querschnittsfläche der S-Elemente und  $k_e$  ein Beiwert zur Berücksichtigung ungleicher Schubspannungsverteilung entlang des Nachweisschnittes ist.

Gemäss Norm SIA 262:2013 Ziffer 4.3.6.5.4 darf nur die Durchstanzbewehrung in einem Abstand von  $0.35d_v$  und  $1.0d_v$  von der gestützten Fläche berücksichtigt werden. Die Auswertung der DURA Versuche zeigt allerdings, dass bei Berechnungen mit dieser Begrenzung der Tragwiderstand von Platten mit DURA Körben deutlich unterschätzt wird. Deshalb kann die DURA Durchstanzbewehrung in einem Abstand von  $0.25d_v$  und  $1.0d_v$  von der gestützten Fläche angerechnet werden. Die Versuchsauswertung im Kapitel 5 rechtfertigt diese Ausnahme.

Die Stahlspannung in den Körben kann wie folgt abgeschätzt werden:

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

SIA 262 (68)

wobei  $E_{s,bg}$  der Elastizitätsmodul der Körbe,  $f_{sd,bg}$  der Bemessungswert der Fliessgrenze der Körbe,  $d$  die statische Höhe,  $\emptyset_{bg}$  der Stabdurchmesser der Körbe und  $f_{bd}$  der Bemessungswert der Verbundspannung ist.

Die Verbundspannung  $f_{bd}$  kann mithilfe den charakteristischen Wert der Betondruckfestigkeit  $f_{ck}$  abgeschätzt werden:

$$f_{bd} = \frac{0.7 \cdot 2 \cdot 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3}}{1.5}$$

SIA 262 (103)

Bei Flachdecken wird generell davon ausgegangen, dass die Plattenrotation die Durchstanzbewehrung aktiviert. Dies trifft bei weichen Platten auch zu. Hingegen bei gedrungenen, steifen Platten wie z.B. Bodenplatten, welche fast keine Rotation erfahren, wird die Durchstanzbewehrung nur geringfügig durch die Plattenrotation aktiviert. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass in diesen Fällen eine Aktivierung der Durchstanzbewehrung infolge von Schubverformungen stattfindet und diese somit die Fliessspannung erreicht [15]. Falls aber genügend grosse Schubverformungen auftreten, um die Durchstanzbewehrung vollständig zu aktivieren, muss davon ausgegangen werden, dass der Beton wenig bis nichts zum Durchstanzwiderstand beiträgt. Deshalb sollte der Betonanteil in diesem Fall vernachlässigt werden. Unter Berücksichtigung dieses Verhaltens kann ein Mindestwiderstand  $V_{Rds,min}$  definiert werden:

$$V_{Rds,min} = 0.9 \cdot d_{v0} \cdot k_e \cdot u_0 \cdot \rho_w \cdot f_{sd,Bg}$$

(17)

wobei  $u_0$  der Umfang des Nachweisschnittes im Bereich der Stütze ( $d_{v0}/2$  von der Stützenkante entfernt),  $k_e$  ein Beiwert zur Berücksichtigung ungleicher Schubspannungsverteilung entlang des Nachweisschnittes,  $d_{v0}$  die schubwirksame

La résistance de l'armature de poinçonnement dépend des contraintes au sein de l'acier présentes dans l'armature de poinçonnement:

$\sigma_{sd,bg}$  étant la contrainte au sein de l'acier dans les paniers,  $A_{s,bg0}$  l'aire de la section des paniers prise en compte dans la zone de la colonne,  $\sigma_{sd,SE}$  les contraintes au sein de l'acier dans les éléments S,  $A_{s,SE}$  l'aire de la section des éléments S et  $k_e$  un coefficient pour la prise en compte de la répartition inégale de la contrainte de cisaillement le long de la section de contrôle.

D'après la norme SIA 262:2013 chiffre 4.3.6.5.4, seule l'armature de poinçonnement à une distance de  $0.35d_v$  et  $1.0d_v$  de la surface d'appui peut être prise en compte. L'analyse des essais DURA montre toutefois que, lors des calculs avec cette limitation, la résistance des dalles munies de paniers DURA est nettement sous-estimée. C'est pour cette raison que l'armature de poinçonnement DURA peut être prise en considération à une distance de  $0.25d_v$  et  $1.0d_v$  de la surface d'appui. L'analyse des essais au chapitre 5 justifie cette dérogation.

La contrainte au sein de l'acier dans les paniers peut être évaluée comme suit:

$E_{s,bg}$  étant le module d'élasticité des paniers,  $f_{sd,bg}$  la valeur de calcul de la limite d'écoulement des paniers,  $d$  la hauteur statique,  $\emptyset_{bg}$  le diamètre des barres des paniers et  $f_{bd}$  la valeur de calcul de la contrainte d'adhérence.

La contrainte d'adhérence  $f_{bd}$  peut être estimée à l'aide de la valeur caractéristique de la résistance à la compression du béton  $f_{ck}$ :

Avec les planchers-dalles, on part généralement du principe que la rotation des dalles active l'armature de poinçonnement. C'est également vrai pour les dalles souples. En revanche, avec les dalles rigides compactes, p.ex. les radiers qui n'expérimentent quasiment pas de rotation, l'armature de poinçonnement est peu activée par la rotation des dalles. Mais on peut supposer que, dans ces cas-là, une activation de l'armature de poinçonnement a lieu suite à des déformations de cisaillement et que celle-ci atteint la contrainte d'écoulement [15]. Mais si des déformations de cisaillement suffisamment importantes se produisent pour activer entièrement l'armature de poinçonnement, on doit supposer que le béton ne contribue pas ou peu à la résistance au poinçonnement. C'est pour cela que dans ce cas on devrait négliger la part de béton. En tenant compte de ce comportement, on peut définir une résistance minimale  $V_{Rds,min}$ :

$u_0$  étant le périmètre de la section de contrôle dans la zone de la colonne ( $d_{v0}/2$  mesurée loin du bord de colonne),  $k_e$  un coefficient pour la prise en compte de la répartition inégale de la contrainte de cisaillement le long de la section de

statische Höhe im Nachweisschnitt  $u_0$ ,  $f_{sd,Bg}$  der Bemessungswert der Fließgrenze der Körbe und  $\rho_w$  der Durchstanzbewehrungsgehalt ist.

Um ein genügendes Verformungsvermögen zu gewährleisten, wird im Rahmen des Bemessungskonzepts dieses Gutachtens ein minimaler Widerstand der Durchstanzbewehrung festgelegt. Abgestützt auf den fib Model Code 2010 [16] sollte folgende Bedingung erfüllt werden:

$$A_{sw} \cdot f_{swd} \cdot k_e \geq 0.5V_d \quad (18)$$

wobei  $A_{sw}$  berücksichtigte Querschnittsfläche der anrechenbaren Durchstanzbewehrung,  $f_{swd}$  der Bemessungswert der Fließgrenze der Durchstanzbewehrung und  $k_e$  ein Beiwert zur Berücksichtigung ungleicher Schubspannungsverteilung entlang des Nachweisschnittes ist.

Wird diese Bedingung nicht erfüllt, ist eine Sicherung gegen Totaleinsturz gemäss SIA 262:2013 Ziffer 4.3.6.7 anzugeordnen. Zusätzlich sind für die Bemessung aufgezwungene Verformungen zu berücksichtigen.

## 4.2 Widerstand der Betondruckdiagonale

Der Durchstanzwiderstand definiert durch das Versagen der Betondruckdiagonale im Stützenbereich kann mithilfe des Systembeiwerts  $k_{sys}$  bestimmt werden. Dabei wird der Durchstanzwiderstand des Betons als Funktion der Plattenrotation um den Faktor  $k_{sys}$  erhöht:

$$V_{Rd,cc0} = k_{sys} \cdot \frac{k_e \cdot u_0 \cdot d_{v0} \cdot \tau_{cd}}{0.45 + 0.18 \cdot d \cdot \psi \cdot k_g} \leq k_{CC} \cdot k_e \cdot u_0 \cdot d_{v0} \cdot \tau_{cd} \quad \text{SIA 262 (69)}$$

wobei  $u_0$  der Umfang des Nachweisschnittes im Bereich der Stütze ( $d_{v0}/2$  von der Stützenkante entfernt; siehe Bild 11),  $k_e$  ein Beiwert zur Berücksichtigung ungleicher Schubspannungsverteilung entlang des Nachweisschnittes,  $d$  die statische Höhe,  $d_{v0}$  die schubwirksame statische Höhe im Nachweisschnitt  $u_0$ ,  $\tau_{cd}$  der Bemessungswert der Schubspannungsgrenze und  $k_g$  ein Beiwert zur Berücksichtigung der maximalen Korngrösse des Zuschlags ist.  
Bei Verwendung von Recyclingbeton aus Mischgranulat M (RC-M) ist  $k_{CC} = 2.5$  zu setzen; für alle anderen Betone beträgt  $k_{CC} = 3.5$ . Der Wert des Faktors  $k_{sys}$  hängt vom gewählten DURA System ab.

Folgende Werte können verwendet werden:

- DURA Körbe:  $k_{sys} = 2.5$  bzw.  $k_{sys} = 2.0$  bei RC-M
- DURA S-Elemente:  $k_{sys} = 2.5$  bzw.  $k_{sys} = 1.5$  bei RC-M
- Kombination DURA Körbe + S-Elemente:  $k_{sys} = 3.0$  bzw.  $k_{sys} = 1.5$  bei RC-M

contrôle,  $d_{v0}$  la hauteur statique agissant comme force de cisaillement dans la section de contrôle  $u_0$ ,  $f_{sd,Bg}$  la valeur de calcul de la limite d'écoulement des paniers et  $\rho_w$  le taux d'armature de poinçonnement.

Pour garantir une aptitude à la déformation suffisante, une résistance minimale de l'armature de poinçonnement est fixée dans le cadre du concept de dimensionnement de cette expertise. Selon fib Model Code 2010 [16], il faudrait remplir la condition suivante:

$A_{sw}$  étant l'aire de la section prise en compte de l'armature de poinçonnement à prendre en considération,  $f_{swd}$  la valeur de calcul de la limite d'écoulement de l'armature de poinçonnement et  $k_e$  un coefficient pour la prise en compte de la répartition inégale de la contrainte de cisaillement le long de la section de contrôle.

Si cette condition n'est pas remplie, il faut arranger une protection contre l'effondrement total conformément à SIA 262:2013 chiffre 4.3.6.7. En outre, il faut prendre en compte des déformations forcées pour le dimensionnement.

## 4.2 Résistance de la bielle de compression du béton

La résistance au poinçonnement définie par la ruine de la bielle de compression du béton autour des colonnes peut être déterminée à l'aide du coefficient de système  $k_{sys}$ . Pour cela, la résistance au poinçonnement du béton comme fonction de la rotation de la dalle est augmentée du facteur  $k_{sys}$ :

$u_0$  étant le périmètre de la section de contrôle dans la zone de la colonne ( $d_{v0}/2$  mesurée loin du bord de colonne; voir figure 11),  $k_e$  un coefficient pour la prise en compte de la répartition inégale de la contrainte de cisaillement le long de la section de contrôle,  $d$  la hauteur statique,  $d_{v0}$  la hauteur statique agissant comme force de cisaillement dans la section de contrôle  $u_0$ ,  $\tau_{cd}$  la valeur de calcul de la contrainte limit de cisaillement et  $k_g$  un coefficient pour la prise en compte de la granulométrie maximale du granulat. En cas d'utilisation de béton de recyclage en granulat mixte M (RC-M), il faut choisir  $k_{CC} = 2.5$ ; pour tous les autres bétons, choisir  $k_{CC} = 3.5$ . La valeur du facteur  $k_{sys}$  dépend du système DURA choisi.

Les valeurs suivantes peuvent être utilisées:

- paniers DURA:  $k_{sys} = 2.5$  ou.  $k_{sys} = 2.0$  pour le RC-M
- éléments S DURA:  $k_{sys} = 2.5$  ou.  $k_{sys} = 1.5$  pour le RC-M
- association paniers DURA + éléments S:  $k_{sys} = 3.0$  ou.  $k_{sys} = 1.5$  pour le RC-M

### 4.3 Durchstanzwiderstand ausserhalb der Körbe

Der Durchstanzwiderstand des Betons am Nachweisschnitt ausserhalb des durchstanzbewehrten Bereichs ist wie folgt definiert:

$$V_{Rd,c1} = \frac{k_e \cdot u_1 \cdot d_{v1} \cdot \tau_{cd}}{0.45 + 0.18 \cdot d \cdot \psi \cdot k_g} \leq k_{sup} \cdot k_e \cdot u_1 \cdot d_{v1} \cdot \tau_{cd}$$

SIA 262 [57]  
SIA 262 [58]

wobei  $u_1$  der Umfang des Nachweisschnittes ausserhalb des durchstanzbewehrten Bereichs ( $d_{v1}/2$  von der äussersten Durchstanzbewehrungsreihe; siehe Bild 11),  $k_e$  ein Beiwert zur Berücksichtigung ungleicher Schubspannungsverteilung entlang des Nachweisschnittes,  $d$  die statische Höhe,  $d_{v1}$  die schubwirksame statische Höhe im Nachweisschnitt  $u_1$ ,  $\tau_{cd}$  der Bemessungswert der Schubspannungsgrenze und  $k_g$  ein Beiwert zur Berücksichtigung der maximalen Korngrösse des Zuschlags ist. Bei Verwendung von Recyclingbeton aus Mischgranulat M (RC-M) ist  $k_{sup} = 1.5$  zu setzen; für alle anderen Betone beträgt  $k_{sup} = 2.0$ .

### 4.3 Résistance au poinçonnement à l'extérieur des paniers

La résistance au poinçonnement du béton sur la section de contrôle à l'extérieur de la zone avec armature de poinçonnement est définie comme suit:

$u_1$  étant le périmètre de la section de contrôle à l'extérieur de la zone avec armature de poinçonnement ( $d_{v1}/2$  éloignée de la rangée d'armature de poinçonnement la plus à l'extérieur; voir figure 11),  $k_e$  un coefficient pour la prise en compte de la répartition inégale de la contrainte de cisaillement le long de la section de contrôle,  $d$  la hauteur statique,  $d_{v1}$  la hauteur statique agissant comme force de cisaillement dans la section de contrôle  $u_1$ ,  $\tau_{cd}$  la valeur de calcul de la contrainte limit de cisaillement et  $k_g$  un coefficient pour la prise en compte de la granulométrie maximale du granulat. En cas d'utilisation de béton de recyclage en granulat mixte M (RC-M), il faut choisir  $k_{sup} = 1.5$ ; pour tous les autres bétons, choisir  $k_{sup} = 2.0$ .

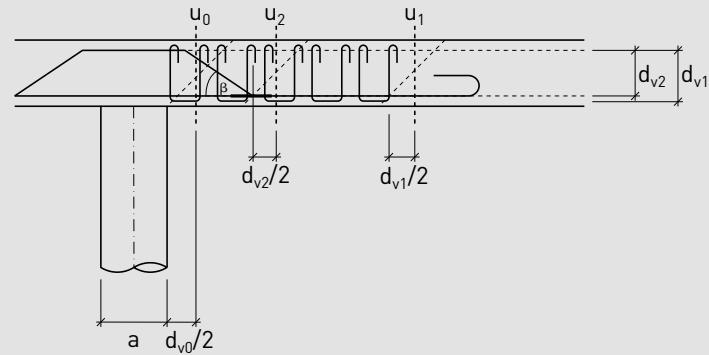
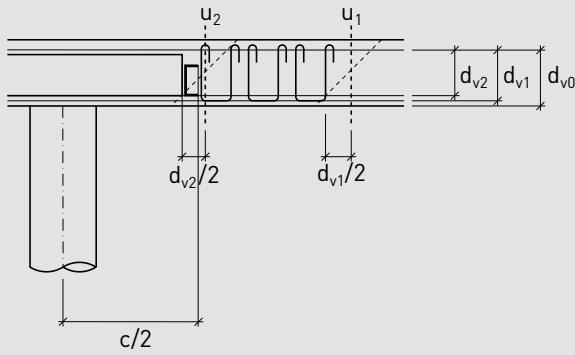
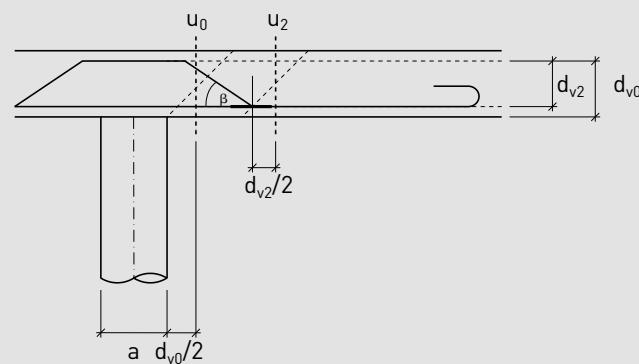
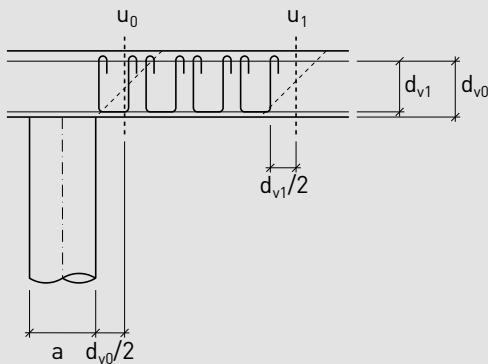


Bild 11: Nachweisschnitte und schubwirksame statische Höhe bei Platten mit Durchstanzverstärkung

Figure 11: Sections de contrôle et hauteur statique agissant comme force de cisaillement des dalles avec renforcement au poinçonnement

#### 4.4 Durchstanzwiderstand ausserhalb der S-Elemente

Bei S-Elementen kann ebenfalls ein Versagen ausserhalb der S-Elemente auftreten. Bei diesem Nachweisschnitt kann zusätzlich der Widerstand der Körbe, falls vorhanden, berücksichtigt werden. Hierfür wird ein ähnliches additives Model wie bei der Stützenkante verwendet:

#### 4.4 Résistance au poinçonnement à l'extérieur des éléments S

Avec des éléments S, une ruine peut également se produire à l'extérieur des éléments S. Avec cette section de contrôle, on peut prendre en compte en plus la résistance des paniers, si présents. On utilise pour cela un modèle additif comme dans le cas du bord de colonne:

$$V_{Rd,cs2} = V_{Rd,c2} + V_{Rd,s2} \quad (21)$$

wobei  $V_{Rd,c2}$  der Durchstanzwiderstand des Betons bestimmt am Nachweisschnitt ausserhalb des S-Elementes und  $V_{Rd,s2}$  der Durchstanzwiderstand der Körbe ist.

Der Durchstanzwiderstand der Körbe kann wiederum durch die Stahlspannungen bestimmt werden:

$$V_{Rd,s2} = k_e \cdot \sigma_{sd,bg} \cdot A_{s,bg2} \quad SIA 262 (67)$$

wobei  $\sigma_{sd,bg}$  die Stahlspannung in den Körben (gemäss Gleichung SIA 262 [68]),  $A_{s,bg2}$  die berücksichtigte Querschnittsfläche der Körbe beim Nachweisschnitt ausserhalb des S-Elementes ( $u_2$ ) und  $k_e$  ein Beiwert zur Berücksichtigung ungleicher Schubspannungsverteilung entlang des Nachweisschnittes ist.

#### 4.5 Durchstanzwiderstand ausserhalb der Stahlpilzemente

Bei Stahlpilzen kann ebenfalls ein Versagen ausserhalb des Stahlpilzes auftreten. Dabei gilt es den Betonwiderstand ausserhalb des Stahlpilzes nachzuweisen, wobei allenfalls vorhandene Durchstanzbewehrung berücksichtigt werden darf. Hierfür wird ein ähnliches additives Model wie bei der Stützenkante verwendet:

$\sigma_{sd,bg}$  étant la contrainte au sein de l'acier dans les paniers (d'après l'équation SIA 262 [68]),  $A_{s,bg2}$  l'aire de la section des paniers au niveau de la section de contrôle à l'extérieur de l'élément S ( $u_2$ ) et  $k_e$  un coefficient pour la prise en compte de la répartition inégale de la contrainte de cisaillement le long de la section de contrôle.

#### 4.5 Résistance au poinçonnement à l'extérieur des éléments de tête en acier

Avec des têtes en acier, une ruine peut également se produire à l'extérieur de la tête en acier. Il faut alors vérifier la résistance du béton à l'extérieur de la tête en acier, l'armature de poinçonnement éventuellement présente pouvant être prise en considération. Pour cela, on utilise un modèle additif comme dans le cas du bord de colonne:

$$V_{Rd,cs2} = V_{Rd,c2} + V_{Rd,s2} \quad (22)$$

wobei  $V_{Rd,c2}$  der Durchstanzwiderstand des Betons bestimmt am Nachweisschnitt ausserhalb des Stahlpilzes und  $V_{Rd,s2}$  der Durchstanzwiderstand der Körbe ist.

Der Durchstanzwiderstand der Körbe kann wiederum durch die Stahlspannungen bestimmt werden:

$$V_{Rd,s2} = k_e \cdot \sigma_{sd,bg} \cdot A_{s,bg2} \quad SIA 262 (67)$$

wobei  $\sigma_{sd,bg}$  die Stahlspannung in den Körben (gemäss Gleichung SIA 262 [68]),  $A_{s,bg2}$  die berücksichtigte Querschnittsfläche der Körbe beim Nachweisschnitt ausserhalb Stahlpilzes ( $u_2$ ) und  $k_e$  ein Beiwert zur Berücksichtigung ungleicher Schubspannungsverteilung entlang des Nachweisschnittes ist.

$\sigma_{sd,bg}$  étant la contrainte au sein de l'acier dans les paniers (d'après l'équation SIA 262 [68]),  $A_{s,bg2}$  l'aire de la section des paniers prise en considération au niveau de la section de contrôle à l'extérieur de la tête en acier ( $u_2$ ) et  $k_e$  un coefficient pour la prise en compte de la répartition inégale de la contrainte de cisaillement le long de la section de contrôle.

Falls Stahlpilze in Kombination mit Körben verwendet werden, muss ebenfalls die Druckdiagonale bei der Abstützung auf den Stahlpilz nachgewiesen werden. Der Nachweis erfolgt analog wie bei der Betondruckdiagonale im Bereich der Stütze:

$$V_{Rd,cc2} = k_{sys} \cdot \frac{k_e \cdot u_2 \cdot d_{v2} \cdot \tau_{cd}}{0.45 + 0.18 \cdot d \cdot \psi \cdot k_g} \leq k_{cc} \cdot k_e \cdot u_0 \cdot d_{v0} \cdot \tau_{cd}$$

SIA 262 (69)

wobei  $k_{sys}$  der Systembeiwert der Körbe,  $u_2$  der Umfang des Nachweisschnittes ausserhalb des Stahlpilzes ( $d_{v2}/2$  vom Steg des Pilzrandprofils entfernt),  $k_e$  ein Beiwert zur Berücksichtigung ungleicher Schubspannungsverteilung entlang des Nachweisschnittes,  $d$  die statische Höhe,  $d_{v2}$  die schubwirksame statische Höhe im Nachweisschnitt  $u_2$ ,  $\tau_{cd}$  der Bemessungswert der Schubspannungsgrenze und  $k_g$  ein Beiwert zur Berücksichtigung der maximalen Korngrösse des Zuschlags ist. Bei Verwendung von Recyclingbeton aus Mischgranulat M (RC-M) ist  $k_{cc} = 2.5$  zu setzen; für alle anderen Betone beträgt  $k_{cc} = 3.5$ .

Si des têtes en acier sont utilisées en association avec des paniers, il faut également vérifier la bieille de compression au niveau de l'étayage sur la tête en acier. La vérification s'effectue de façon analogue à la bieille de compression du béton dans la zone de la colonne:

$k_{sys}$  étant le coefficient de système des paniers,  $u_2$  le périmètre de la section de contrôle à l'extérieur de la tête en acier ( $d_{v2}/2$  éloignée de l'âme du profil du bord de la tête),  $k_e$  un coefficient pour la prise en compte de la répartition inégale de la contrainte de cisaillement le long de la section de contrôle,  $d$  la hauteur statique,  $d_{v2}$  la hauteur statique agissant comme force de cisaillement dans la section de contrôle  $u_2$ ,  $\tau_{cd}$  la valeur de calcul de la contrainte limite de cisaillement et  $k_g$  un coefficient de prise en compte de la granulométrie maximale du granulat. En cas d'utilisation de béton de recyclage en granulat mixte M (RC-M), il faut choisir  $k_{cc} = 2.5$ ; pour tous les autres bétons, choisir  $k_{cc} = 3.5$ .

## 5. Vergleich mit Versuchen

Für die Vergleiche zu den experimentell erhaltenen Bruchwiderstände werden die Durchstanzwiderstände auf Bruchniveau  $V_{Rm}$  mit dem im Kapitel 3 beschrieben Ansatz und die Durchstanzwiderstände auf Bemessungsniveau  $V_{Rd}$  mit dem im Kapitel 4 beschrieben Ansatz berechnet. Aufgrund der Versuchseinrichtung kann der  $k_e$ -Wert zu 1.0 angenommen werden.

Für die Vergleichsrechnungen auf Bemessungsniveau werden grundsätzlich die der Norm SIA 262:2013 entsprechenden Gleichungen verwendet. Dabei werden bei den Vergleichen zu den Versuchen die charakteristischen Materialfestigkeiten verwendet und durch den Widerstandsbeiwert für Beton  $\gamma_c$  von 1.5 und den Widerstandsbeiwert für Bewehrungsstahl  $\gamma_s$  von 1.15 abgemindert. Für die Auswertung wurde ein Beiwert zur Berücksichtigung von Einwirkungsdauer und Betonalter von  $\eta_t = 1.0$  und ein Sprödigkeitsbeiwert von  $\eta_{fc} = 1.0$  verwendet. D.h. für die Bemessungswerte der Zylinderdruckfestigkeit des Betons und der Fließgrenze des Bewehrungsstahls (Biege- und Durchstanzbewehrung) wurden folgende Werte verwendet:

## 5. Comparaison avec les résultats d'essais

Pour comparer les résistances à la rupture obtenues expérimentalement, les résistances au poinçonnement au niveau de rupture  $V_{Rm}$  sont calculées avec l'approche décrite au chapitre 3 et les résistances au poinçonnement au niveau de calcul  $V_{Rd}$  avec l'approche décrite au chapitre 4. Sur la base du dispositif d'essai, la valeur  $k_e$  peut être 1.0.

Pour les calculs comparatifs au niveau du dimensionnement, on utilise en principe les équations qui correspondent à la norme SIA 262:2013. Lors des comparaisons avec les essais, on utilise les résistances des matériaux caractéristiques, diminuées du coefficient de résistance pour le béton  $\gamma_c$  de 1.5 et du coefficient de résistance pour l'acier d'armature  $\gamma_s$  de 1.15. Pour l'analyse, on a utilisé un coefficient pour la prise en compte de la durée d'action et de l'âge du béton de  $\eta_t = 1.0$  et un coefficient de fragilité de  $\eta_{fc} = 1.0$ . C'est-à-dire que pour les valeurs de calcul de la résistance à la compression sur cylindres du béton et de la limite d'écoulement de l'acier d'armature (armature de flexion et de poinçonnement), les valeurs suivantes ont été utilisées:

$$f_{cd} = f_{ck} / 1.5 \quad [23]$$

mit/avec

$$f_{ck} = f_{cm} - 8 \quad [24]$$

bzw./ou

$$f_{sd} = f_{sk} / 1.15 \quad [25]$$

mit/avec

$$f_{sk} = f_{sm} - 30 \quad [26]$$

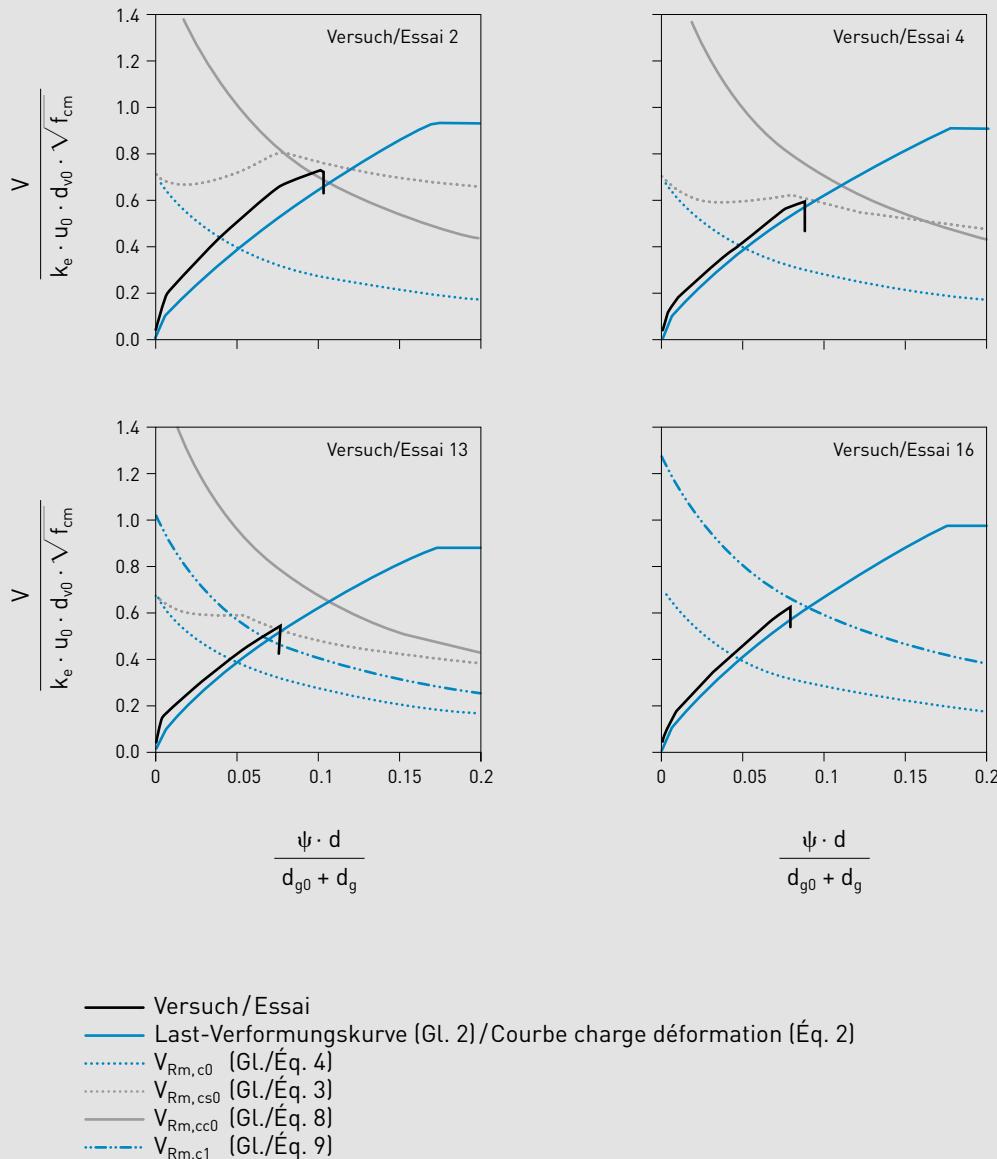


Bild 12: Vergleich des Bemessungsmodells mit den experimentell bestimmten Last-Verformungskurven

Generell kann zwischen dem Betonversagen (Versagen der Betondruckdiagonale bei Körben und S-Elementen und durchstanzen des Betons außerhalb der Verstärkung bei Pilzen) und dem Stahlversagen (Versagen innerhalb des durchstanzbewehrten Bereichs) unterschieden werden. Bild 12 zeigt die gemessene und die berechnete Last-Rotationskurve mit den berechneten Kurven der verschiedenen Versagenskriterien für ausgewählte Versuchskörper. Es zeigt sich, dass generell das berechnete Last-Rotationsverhalten gut mit dem gemessenen Verhalten übereinstimmt und dass der Last-Rotationspunkt beim Bruch nahe bei der Kurve des massgebenden Bruchkriteriums liegt.

Figure 12: Comparaison du modèle de dimensionnement avec les courbes charge déformation déterminées de façon expérimentale

En général, on peut distinguer la ruine du béton (ruine de la bieille de compression du béton au niveau des paniers et des éléments S et poinçonnage du béton à l'extérieur du renforcement au niveau des têtes) de la ruine de l'acier (ruine au sein de la zone avec armature de poinçonnement). La figure 12 montre la courbe charge rotation mesurée et calculée avec les courbes calculées des différents critères de ruine pour des échantillons choisis. Il s'avère qu'en général le comportement charge rotation calculé concorde bien avec le comportement mesuré et que le point charge rotation lors de la rupture se situe au niveau de la courbe du critère de rupture déterminant.

Das nachfolgende Bild 13 zeigt die Ergebnisse der 27 Durchstanzversuche [2, 3, 4] dargestellt als normierte Datenpunkte im Vergleich mit dem Bruchkriterium auf Bruchniveau gemäss Gleichung (8) (Mittelwertkurve) und mit dem Bruchkriterium mit Berücksichtigung der Modellsicherheitsfaktoren (Gleichung (27)):

$$V_{Rm,cc0} = k_{sys} \cdot \frac{k_e \cdot u_0 \cdot d_{v0} \cdot \tau_{cm}}{0.45 + 0.18 \cdot d \cdot \psi \cdot k_g} \quad (27)$$

wobei  $u_0$  der Umfang des Nachweisschnittes im Bereich der Stütze ( $d_{v0}/2$  von der Stützenkante entfernt),  $k_e$  ein Beiwert zur Berücksichtigung ungleicher Schubspannungsverteilung entlang des Nachweisschnittes,  $d$  die statische Höhe,  $d_{v0}$  die schubwirksame statische Höhe im Nachweisschnitt  $u_0$ ,  $\tau_{cm}$  der Mittelwert der Schubspannungsgrenze und  $k_g$  ein Beiwert zur Berücksichtigung der maximalen Korngrösse des Zuschlags ist.

La figure 13 ci-après montre les résultats des 27 essais de poinçonnement [2, 3, 4], présentés comme points de données normalisés et comparés au critère de rupture au niveau rupture conformément à l'équation (8) (courbe des valeurs moyennes) et au critère de rupture avec prise en compte des facteurs de sécurité de modèle (équation (27)):

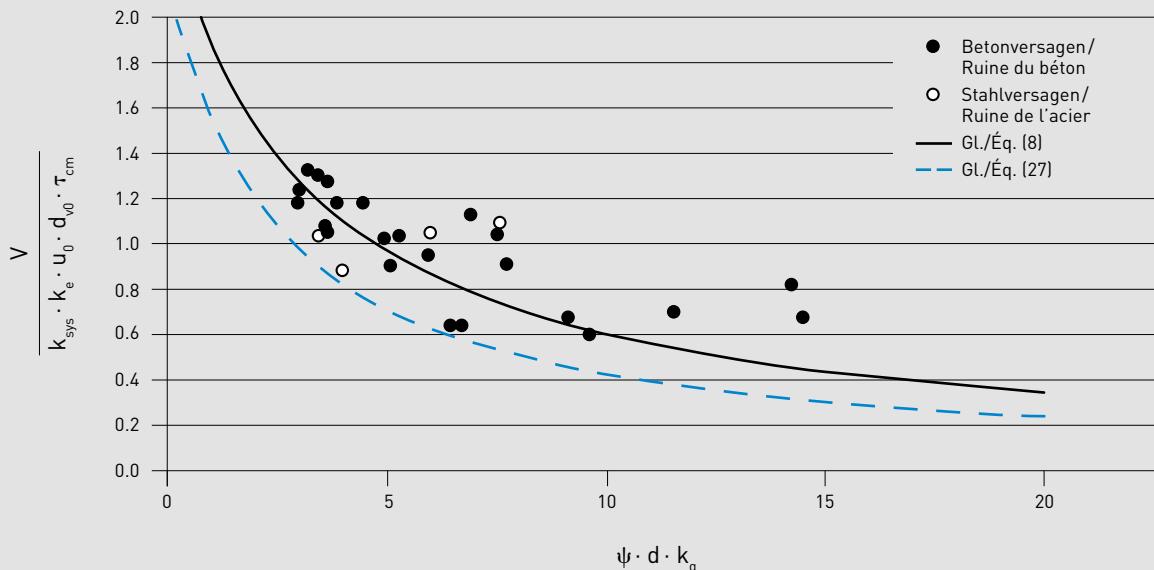


Bild 13: Vergleich der Versuchsresultate mit dem Mittelwertbruchkriterium und dem charakteristischen Bruchkriterium

Bild 13 zeigt, dass alle Versuchsresultate über dem charakteristischen Bruchkriterium liegen. Weiter kann festgestellt werden, dass die Versuchsresultate im Mittel deutlich oberhalb des Mittelwertbruchkriterium liegen. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Versagensarten (Betonversagen, Stahlversagen) und Nachweisschnitte (innerhalb und ausserhalb der Durchstanzbewehrung) können zur Bestimmung der Sicherheitsreserven mithilfe des überarbeiteten Bemessungskonzepts Durchstanzwiderstände  $V_{Rd}$  auf Bemessungsniveau und zum Vergleich mit den Versuchsergebnissen Durchstanzwiderstände  $V_{Rm}$  auf Bruchniveau ermittelt werden. Nachfolgend werden die in den Versuchen erzielten Bruchlasten  $V_R$  mit den Durchstanzwiderständen  $V_{Rm}$  bzw.  $V_{Rd}$  verglichen.

$u_0$  étant le périmètre de la section de contrôle dans la zone de la colonne ( $d_{v0}/2$  mesurée loin du bord de colonne),  $k_e$  un coefficient pour la prise en compte de la répartition inégale de la contrainte de cisaillement le long de la section de contrôle,  $d$  la hauteur statique,  $d_{v0}$  la hauteur statique agissant comme force de cisaillement dans la section de contrôle  $u_0$ ,  $\tau_{cm}$  la valeur moyenne de la contrainte limit de cisaillement et  $k_g$  un coefficient pour la prise en compte de la granulométrie maximale du granulat.

Figure 13: Comparaison des résultats d'essai avec le critère de rupture moyen et le critère de rupture caractéristique

La figure 13 montre que tous les résultats d'essai se situent au-dessus du critère de rupture caractéristique. On peut également constater que les résultats d'essai sont en moyenne nettement au-dessus du critère de rupture moyen. En tenant compte des différents modes de ruine (ruine du béton, ruine de l'acier) et des différentes sections de contrôle (à l'intérieur et à l'extérieur de l'armature de poinçonnement), il est possible de déterminer à l'aide du concept de dimensionnement remanié les résistances au poinçonnement  $V_{Rd}$  au niveau du dimensionnement et, pour la comparaison avec les résultats d'essai, les résistances au poinçonnement  $V_{Rm}$  au niveau rupture pour établir les réserves de sécurité. Les charges de rupture  $V_R$  obtenues lors des essais sont comparées ci-après avec les résistances au poinçonnement  $V_{Rm}$  ou  $V_{Rd}$ .

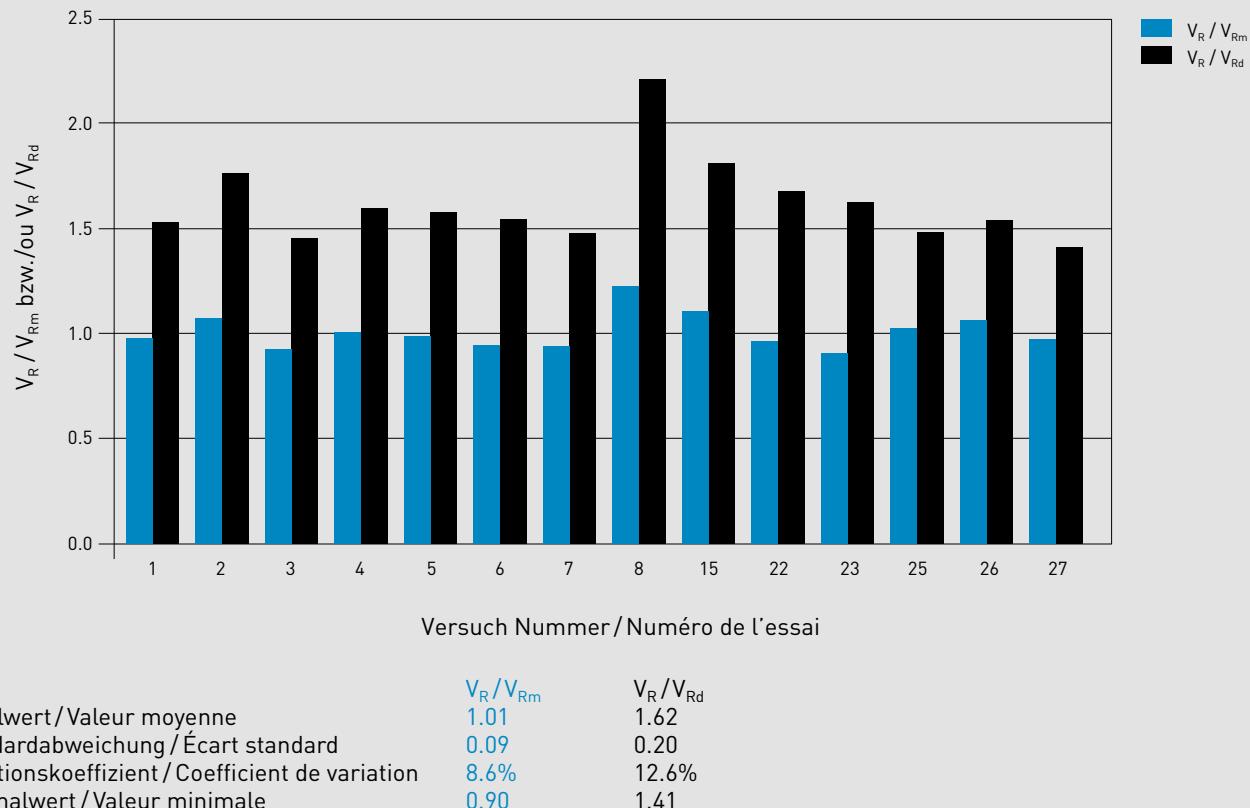


Bild 14: Vergleich der Bruchlasten im Versuch mit den rechnerischen Bruchlasten bzw. Bemessungswerten

Figure 14: Comparaison des charges de rupture lors des essais avec les charges de rupture théoriques ou les valeurs de calcul

Aus Bild 14 ist ersichtlich, dass die experimentellen Bruchlasten  $V_R$  im Mittel gut mit den rechnerischen Bruchlasten  $V_{Rm}$  übereinstimmen. Der tiefe Variationskoeffizient von 8.6% zeigt, dass das Bemessungskonzept mit den bestimmten Faktoren das Verhalten der getesteten Platten gut abbildet. Der Vergleich der Bruchlasten mit den rechnerischen Bemessungswerten zeigt, dass im Mittel die Bruchlasten um 1.62 höher als die Bemessungswerte  $V_{Rd}$  sind. Dies bedeutet, dass das in diesem Gutachten beschriebene Bemessungskonzept ein ausreichendes Sicherheitsniveau liefert, welches mit dem Sicherheitsniveau der Norm SIA 262:2013 für Platten ohne Durchstanzbewehrung vergleichbar ist.

Il ressort de la figure 14 que les charges de rupture expérimentales  $V_R$  concordent bien en moyenne avec les charges de rupture théoriques  $V_{Rm}$ . Le faible coefficient de variation de 8.6% montre que le concept de dimensionnement avec les facteurs déterminés représente bien le comportement des dalles testées. La comparaison des charges de rupture avec les valeurs de calcul théoriques montre qu'en moyenne les charges de rupture sont 1.62 fois supérieures aux valeurs de calcul  $V_{Rd}$ . Cela signifie que le concept de dimensionnement décrit dans cette expertise fournit un niveau de sécurité suffisant qui est comparable au niveau de sécurité de la norme SIA 262:2013 pour les dalles sans armature de poinçonnement.

**Ergebnisse mit DURA S-Elementen  
mit oder ohne Kombination mit DURA Körben**

**Résultats avec éléments S DURA  
avec ou sans combinaison avec paniers DURA**

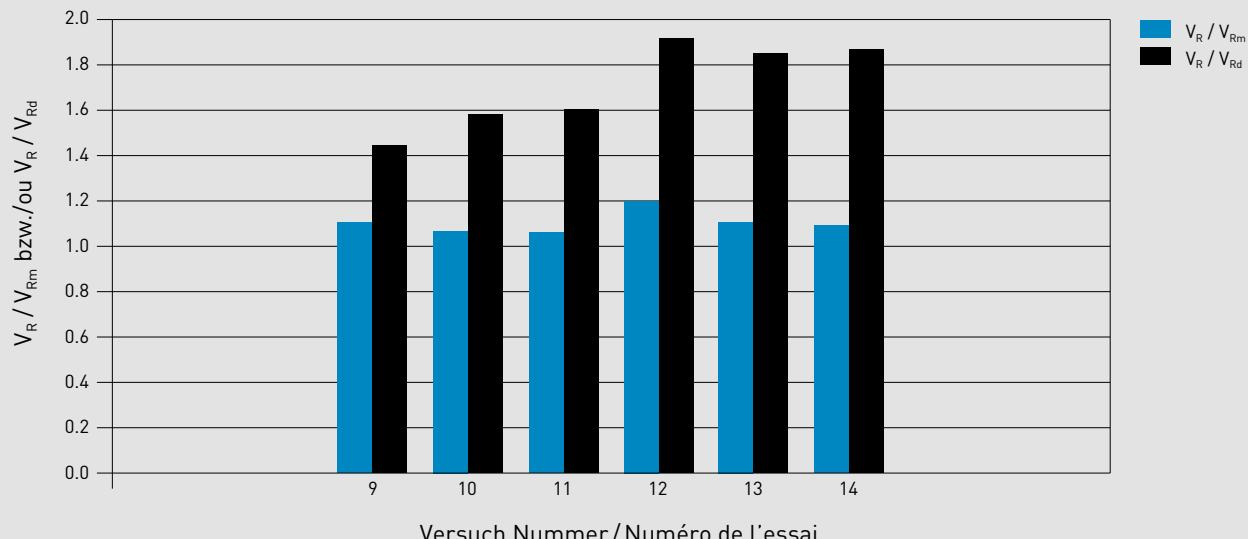


Bild 15: Vergleich der Bruchlasten im Versuch mit den rechnerischen Bruchlasten bzw. Bemessungswerten

Aus Bild 15 ist ersichtlich, dass die experimentellen Bruchlasten  $V_R$  im Mittel 10% über den rechnerischen Bruchlasten  $V_{Rm}$  liegen. Der Variationskoeffizient ist beim Vergleich der rechnerischen Bruchlasten mit 4.1% sehr gering und zeigt, dass das Bemessungskonzept eine gute Übereinstimmung mit den Versuchen liefert. Im Mittel sind die Bruchlasten  $V_R$  im Versuch um den Faktor 1.70 höher als die Bemessungswerte  $V_{Rd}$ . Die Versuchsergebnisse bestätigen bereits früher durchgeführte Untersuchungen [17] mit aufgebogenen Bewehrungsstäben, bei welchen insbesondere die Kombination von Durchstanzbewehrung und aufgebogener Bewehrung ein sehr duktiles Bruchverhalten zeigten. Das Bemessungskonzept für die DURA Körbe und DURA S-Elemente liefert ein ausreichendes Sicherheitsniveau, welches mit dem Sicherheitsniveau der Norm SIA 262:2013 für Platten ohne Durchstanzbewehrung vergleichbar ist.

Figure 15: Comparaison des charges de rupture lors des essais avec les charges de rupture théoriques ou les valeurs de calcul

Il ressort de la figure 15 que les charges de rupture expérimentales  $V_R$  se situent en moyenne 10% au-dessus des charges de rupture théoriques  $V_{Rm}$ . Le coefficient de variation est très faible à 4.1% par rapport aux charges de rupture théoriques et montre que le concept de dimensionnement concorde bien avec les essais. En moyenne, les charges de rupture  $V_R$  lors des essais sont supérieures du facteur 1.70 aux valeurs de calcul  $V_{Rd}$ . Les résultats de ces essais confirment ceux d'essais effectués précédemment [17] avec des barres d'armature relevées, lors desquels la combinaison d'armature de poinçonnement et de barres d'armature relevées en particulier a montré un comportement à la rupture très ductile. Le concept de dimensionnement pour les paniers DURA et les éléments S DURA fournit un niveau de sécurité suffisant comparable au niveau de sécurité de la norme SIA 262:2013 pour les dalles sans armature de poinçonnement.

## Ergebnisse mit DURA Pilzen mit oder ohne Kombination mit DURA Körben

## Résultats avec têtes DURA avec ou sans combinaison avec paniers DURA

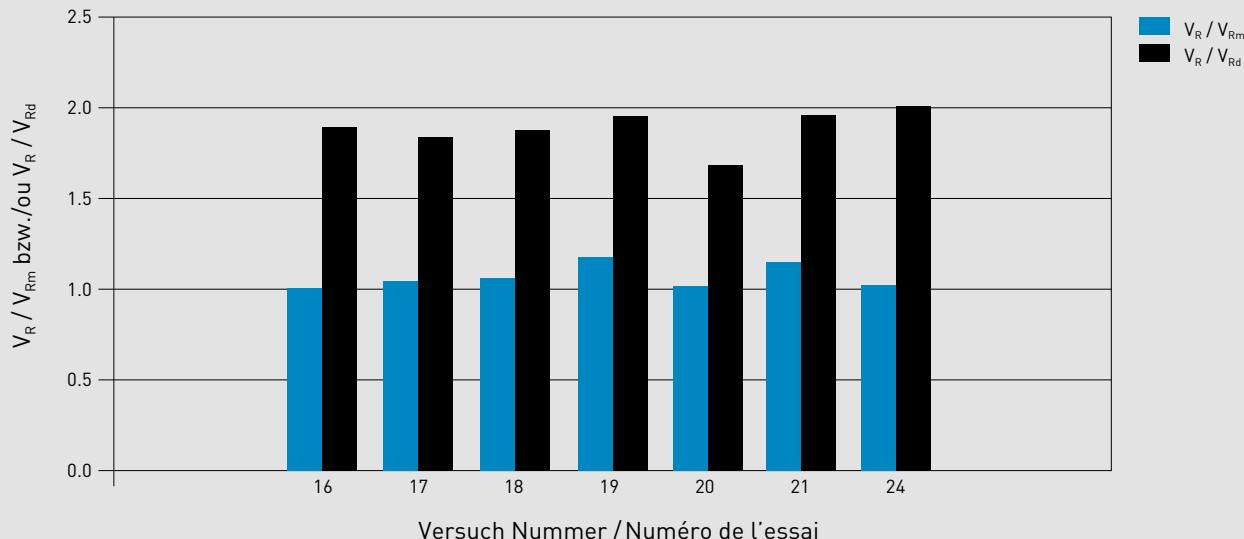


Bild 16: Vergleich der Bruchlasten im Versuch mit den rechnerischen Bruchlasten bzw. Bemessungswerten

Aus Bild 16 ist ersichtlich, dass die experimentellen Bruchlasten  $V_R$  im Mittel gut mit den rechnerischen Bruchlasten  $V_{Rm}$  übereinstimmen. Der Variationskoeffizient ist beim Vergleich der rechnerischen Bruchlasten mit 5.9% sehr gering und zeigt, dass das Bemessungskonzept eine gute Übereinstimmung mit den Versuchen liefert. Im Mittel sind die Bruchlasten  $V_R$  im Versuch um den Faktor 1.89 höher als die Bemessungswerte  $V_{Rd}$ . Das Bemessungskonzept für die DURA Pilze und der Kombination mit DURA Körben liefert ein ausreichendes Sicherheitsniveau, welches mit dem Sicherheitsniveau der Norm SIA 262:2013 für Platten ohne Durchstanzbewehrung vergleichbar ist.

Aus der Zusammenstellung der 27 Versuche ist ersichtlich, dass die Bruchlasten im Versuch  $V_R$  im Mittel sehr gut mit den rechnerischen Bruchlasten  $V_{Rm}$  übereinstimmen. Der Variationskoeffizient ist beim Vergleich der rechnerischen Bruchlasten mit 8.0% gering und zeigt, dass das Bemessungskonzept eine gute Übereinstimmung mit den Versuchen liefert. Im Mittel sind die Bruchlasten im Versuch  $V_R$  um den Faktor 1.71 höher als die Bemessungswerte  $V_{Rd}$ . Daher kann festgestellt werden, dass das Bemessungskonzept für die DURA Bewehrungen und deren Kombinationen ein Sicherheitsniveau liefert, welches mit dem Sicherheitsniveau der Norm SIA 262:2013 für Platten ohne Durchstanzbewehrung vergleichbar ist.

Figure 16: Comparaison des charges de rupture lors des essais avec les charges de rupture théoriques ou les valeurs de calcul

Il ressort de la figure 16 que les charges de rupture expérimentales  $V_R$  concordent en moyenne bien avec les charges de rupture théoriques  $V_{Rm}$ . Le coefficient de variation est très faible à 5.9% par rapport aux charges de rupture théoriques et montre que le concept de dimensionnement concorde bien avec les essais. En moyenne, les charges de rupture  $V_R$  lors des essais sont supérieures du facteur 1.89 aux valeurs de calcul  $V_{Rd}$ . Le concept de dimensionnement pour les têtes DURA et la combinaison avec les paniers DURA fournit un niveau de sécurité suffisant comparable au niveau de sécurité de la norme SIA 262:2013 pour les dalles sans armature de poinçonnement.

Il ressort de la compilation des 27 essais que les charges de rupture lors d'essais  $V_R$  concordent en moyenne très bien avec les charges de rupture théoriques  $V_{Rm}$ . Le coefficient de variation est faible à 8.0% par rapport aux charges de rupture théoriques et montre que le concept de dimensionnement concorde bien avec les essais. En moyenne, les charges de rupture  $V_R$  lors d'essais sont supérieures du facteur 1.71 aux valeurs de calcul  $V_{Rd}$ . On peut donc constater que le concept de dimensionnement pour les armatures DURA et leurs combinaisons fournit un niveau de sécurité comparable au niveau de sécurité de la norme SIA 262:2013 pour les dalles sans armature de poinçonnement.

## **6. Beurteilung des Bemessungs-konzepts für DURA Durchstanzbewehrung**

Die Erkenntnisse der Versuchsauswertung wurden im Bemessungskonzept für durchstanzgefährdete Flachdecken, Boden- und Brückenplatten von der Firma F.J. Aschwanden AG eingearbeitet. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Versagensarten (Betonversagen, Stahlversagen), Betone (Normalbeton, Recyclingbeton aus Betongranulat C (RC-C) und aus Mischgranulat M (RC-M)) und Nachweisschnitte (innerhalb und ausserhalb der Durchstanzbewehrung) können mithilfe des überarbeiteten Bemessungskonzepts Durchstanzwiderstände  $V_{Rd}$  auf Bemessungsniveau gemäss Norm SIA 262:2013 und Merkblatt SIA 2030 ermittelt werden. Aus dem Vergleich der Bruchlasten der Versuche und den rechnerischen Durchstanzwiderständen lassen sich folgende Feststellungen ableiten:

1. Die Bemessung der DURA Durchstanzbewehrung kann auf der Grundlage des in diesem Gutachten beschriebenen Bemessungskonzepts für alle Betone (Normalbeton, Recyclingbeton aus Betongranulat C (RC-C) und aus Mischgranulat M (RC-M)) mit einem Sicherheitsniveau realisiert werden, das mit dem der Norm SIA 262:2013 für Platten ohne Durchstanzbewehrung vergleichbar ist.
2. Das Bemessungskonzept ist mit dem Format der Norm SIA 262:2013 für Platten mit Durchstanzbewehrung kompatibel.
3. Die in diesem Gutachten beschriebenen Ausnahmen gegenüber der Norm SIA 262:2013 und Merkblatt SIA 2030 sind bei Einhaltung der grundsätzlichen Verlegeprinzipien der DURA Durchstanzbewehrung gerechtfertigt.

## **6. Évaluation du concept de dimensionnement pour armature de poinçonnement DURA**

Les connaissances acquises par l'analyse des essais ont été incorporées au concept de dimensionnement pour planchers-dalles, radiers et dalles de pont exposés au poinçonnement de l'entreprise F.J. Aschwanden SA. En tenant compte des différents modes de ruine (ruine du béton, ruine de l'acier), des bétons (béton normal, béton de recyclage en granulat de béton C (RC-C) ou en granulat mixte M (RC-M)) et des différentes sections de contrôle (à l'intérieur et à l'extérieur de l'armature de poinçonnement), il est possible, à l'aide du concept de dimensionnement remanié, de déterminer les résistances au poinçonnement  $V_{Rd}$  au niveau du dimensionnement selon norme SIA 262:2013 et le cahier technique SIA 2030. La comparaison des charges de rupture résultant des essais et des résistances au poinçonnement théoriques permet les constatations suivantes:

1. Le dimensionnement de l'armature DURA peut être réalisé sur la base du concept de dimensionnement décrit dans cette expertise pour tous les bétons (béton normal, béton de recyclage en granulat de béton C (RC-C) ou en granulat mixte M (RC-M)) avec un niveau de sécurité comparable à celui de la norme SIA 262:2013 pour dalles sans armature de poinçonnement.
2. Le concept de dimensionnement est compatible avec le format de la norme SIA 262:2013 pour dalles avec armature de poinçonnement.
3. Les dérogations par rapport à la norme SIA 262:2013 et le cahier technique SIA 2030 décrites dans cette expertise sont justifiées si les principes de pose fondamentaux de l'armature de poinçonnement DURA sont observés.

## 7. Literatur

- [1] Norm SIA 262 Betonbau, Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein, Zürich, 2013, 102 p.
- [2] Merkblatt SIA 2030 Recyclingbeton, Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein, Zürich.
- [3] EMPA-Bericht Nr. 56 417, «Durchstanzversuche an drei Flachdeckenausschnitten mit spezieller Schubbewehrung», Oktober 1987, 41 p.
- [4] Muttoni, A., Burdet, O., Tassinari, L., «Essais de poinçonnage symétrique des dalles en béton armé avec armature d'effort tranchant de type DURA», Versuchsbericht, IS-BETON, EPF Lausanne, Dezember 2007, 158 p.
- [5] Muttoni, A., Burdet, O., Clément, T., «Essais de poinçonnage symétrique sur dalles en béton armé avec armature et tête de poinçonnage de type DURA», Versuchsbericht, IS-BETON, EPF Lausanne, Juni 2008, 106 p.
- [6] Kenel, A. Laurent, M., «Durchstanzversuche an Platten mit Recyclingbeton aus Mischabbruchgranulat», Versuchsbericht, Hochschule Luzern, Technik und Architektur, Juli 2018, 86 p.
- [7] EMPA-Prüfbericht Nr. 445 544, «Betonstahlidentifikation und Zugversuch mit Dehnungsmessung nach Norm SIA 262:2003», April 2007, 7 p.
- [8] EMPA-Prüfbericht Nr. 446 1 71, «Betonstahlidentifikation und Zugversuch mit Dehnungsmessung nach Norm SIA 262:2003», Juni 2007, 7 p.
- [9] EMPA-Prüfbericht Nr. 446 1 72, «Betonstahlidentifikation und Zugversuch mit Dehnungsmessung nach Norm SIA 262:2003», Juli 2007, 7 p.
- [10] EMPA-Prüfbericht Nr. 446 1 73, «Betonstahlidentifikation und Zugversuch mit Dehnungsmessung nach Norm SIA 262:2003», Juli 2007, 7 p.
- [11] EMPA-Prüfbericht Nr. 448 364, «Überprüfung der mechanischen Eigenschaften an 16 Betonstahlproben, 4 Rundzugproben, 16 Flachzugproben», Februar 2008, 12 p.
- [12] Norm SIA 263 Stahlbau, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2013, 108 p.
- [13] Muttoni, A., «Punching Shear Strength of Reinforced Concrete Slabs without Transverse Reinforcement», ACI Structural Journal, V. 105, No. 4, July-August 2008, p. 440–450.
- [14] Fernández Ruiz, M., Muttoni, A., «Applications of Critical Shear Crack Theory to Punching of Reinforced Concrete Slabs with Transverse Reinforcement», ACI Structural Journal, V. 106, No. 4, July-August 2009, p. 485–494.
- [15] Siburg, C., Ricker, M., «Zur Durchstanzbemessung von Einzelfundamenten», Beton- und Stahlbetonbau, V. 108, Heft 9, p. 641–653.
- [16] fib «fib Model Code 2010 Final Draft Volume 2», fib Bulletin 66, 2012, 331 p.
- [17] Broms, C.E., «Elimination of Flat Plate Punching Failure Mode», ACI Structural Journal, V. 97, No. 1, Jan.–Feb. 2000, p. 94–101.

## 7. Bibliographie

- [1] Norme SIA 262 Construction en béton, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich, 2013, 102 p.
- [2] Cahier technique SIA 2030 Béton de recyclage, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich.
- [3] Rapport EMPA no 56 417, «Durchstanzversuche an drei Flachdeckenausschnitten mit spezieller Schubbewehrung», octobre 1987, 41 p.
- [4] Muttoni, A., Burdet, O., Tassinari, L., «Essais de poinçonnage symétrique des dalles en béton armé avec armature d'effort tranchant de type DURA», rapport d'essai, IS-BETON, EPF Lausanne, décembre 2007, 158 p.
- [5] Muttoni, A., Burdet, O., Clément, T., «Essais de poinçonnage symétrique sur dalles en béton armé avec armature et tête de poinçonnage de type DURA», rapport d'essai, IS-BETON, EPF Lausanne, juin 2008, 106 p.
- [6] Kenel, A. Laurent, M., «Durchstanzversuche an Platten mit Recyclingbeton aus Mischabbruchgranulat», rapport d'essai, Haute école d'ingénierie et d'architecture de Lucerne, juillet 2018, 86 p.
- [7] Rapport d'essai EMPA no 445 544, «Betonstahlidentifikation und Zugversuch mit Dehnungsmessung nach Norm SIA 262:2003», avril 2007, 7 p.
- [8] Rapport d'essai EMPA no 446 171, «Betonstahlidentifikation und Zugversuch mit Dehnungsmessung nach Norm SIA 262:2003», avril 2007, 7 p.
- [9] Rapport d'essai EMPA no 446 172, «Betonstahlidentifikation und Zugversuch mit Dehnungsmessung nach Norm SIA 262:2003», juillet 2007, 7 p.
- [10] Rapport d'essai EMPA no 446 173, «Betonstahlidentifikation und Zugversuch mit Dehnungsmessung nach Norm SIA 262:2003», juillet 2007, 7 p.
- [11] Rapport d'essai EMPA no 448 364, «Überprüfung der mechanischen Eigenschaften an 16 Betonstahlproben, 4 Rundzugproben, 16 Flachzugproben», février 2008, 12 p.
- [12] Norme SIA 263 Construction en acier, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich, 2013, 108 p.
- [13] Muttoni, A., «Punching Shear Strength of Reinforced Concrete Slabs without Transverse Reinforcement», ACI Structural Journal, V. 105, No. 4, July-August 2008, p. 440–450.
- [14] Fernández Ruiz, M., Muttoni, A., «Applications of Critical Shear Crack Theory to Punching of Reinforced Concrete Slabs with Transverse Reinforcement», ACI Structural Journal, V. 106, No. 4, July-August 2009, p. 485–494.
- [15] Siburg, C., Ricker, M., «Zur Durchstanzbemessung von Einzelfundamenten», Beton- und Stahlbetonbau, V. 108, cahier 9, p. 641–653.
- [16] fib «fib Model Code 2010 Final Draft Volume 2», fib Bulletin 66, 2012, 331 p.
- [17] Broms, C.E., «Elimination of Flat Plate Punching Failure Mode», ACI Structural Journal, V. 97, No. 1, Jan.–Feb. 2000, p. 94–101.

## 8. Bezeichnungen

a	Stützenabmessung
$A_{s,bg0}$	Bewehrungsfläche der Körbe im Bereich der Stütze
$A_{s,bg1}$	Bewehrungsfläche der Körbe ausserhalb des Stahlpilzes oder des S-Elementes
$A_{s,SE}$	Bewehrungsfläche der S-Elemente
$A_{sw}$	Durchstanzbewehrungsfläche
$\beta$	Neigungswinkel der S-Elemente
c	Pilzabmessung
$c_{nom}$	Bewehrungsüberdeckung
d	Mittlere statische Höhe
$d_{eff}$	Gemessene mittlere statische Höhe
$d_g$	Grösstkorn der Gesteinskörnung
$d_{g0}$	Referenzkorngrösse
$d_{v0}$	Schubwirksame statische Höhe im Nachweisschnitt $u_0$
$d_{v1}$	Schubwirksame statische Höhe im Nachweisschnitt $u_1$
$d_{v2}$	Schubwirksame statische Höhe im Nachweisschnitt $u_2$
$E_s$	Elastizitätsmodul der Biegebewehrung
$E_{s,bg}$	Elastizitätsmodul der Körbe
$f_{bd}$	Bemessungswert der Verbundspannung
$f_{bm}$	Mittelwert der Verbundspannung
$f_{cd}$	Bemessungswert der Zylinderdruckfestigkeit des Betons
$f_{ck}$	Charakteristischer Wert der Zylinderdruckfestigkeit des Betons
$f_{cm}$	Mittelwert der Zylinderdruckfestigkeit des Betons
$f_{sd}$	Bemessungswert der Fließgrenze der Biegebewehrung
$f_{sd,bg}$	Bemessungswert der Fließgrenze der Körbe
$f_{sd,SE}$	Bemessungswert der Fließgrenze der S-Elemente
$f_{sm}$	Mittelwert der Fließgrenze der Biegebewehrung
$f_{sm,bg}$	Mittelwert der Fließgrenze der Körbe
$f_{sm,SE}$	Mittelwert der Fließgrenze der S-Elemente
$f_{swd}$	Bemessungswert der Fließgrenze der Durchstanzbewehrung
h	Plattenstärke
$h_p$	Pilzhöhe
$h_{zp,eff}$	Gemessene Höhenlage der Pilze

## 8. Notations

a	Dimensions de la colonne
$A_{s,bg0}$	Surface d'armature des paniers dans la zone de la colonne
$A_{s,bg1}$	Surface d'armature des paniers à l'extérieur de la tête en acier ou de l'élément S
$A_{s,SE}$	Surface d'armature des éléments S
$A_{sw}$	Surface d'armature de poinçonnement
$\beta$	Angle d'inclinaison des éléments S
c	Dimensions de la tête
$c_{nom}$	Enrobage de l'armature
d	Hauteur statique moyenne
$d_{eff}$	Hauteur statique moyenne mesurée
$d_g$	Diamètre maximal du granulat de la composition granulométrique de roche
$d_{g0}$	Granulométrie de référence
$d_{v0}$	Hauteur statique agissant comme force de cisaillement dans la section de contrôle $u_0$
$d_{v1}$	Hauteur statique agissant comme force de cisaillement dans la section de contrôle $u_1$
$d_{v2}$	Hauteur statique agissant comme force de cisaillement dans la section de contrôle $u_2$
$E_s$	Module d'élasticité de l'armature de flexion
$E_{s,bg}$	Module d'élasticité des paniers
$f_{bd}$	Valeur de calcul de la contrainte d'adhérence
$f_{bm}$	Valeur moyenne de la contrainte d'adhérence
$f_{cd}$	Valeur de calcul de la résistance à la compression sur cylindres du béton
$f_{ck}$	Valeur caractéristique de la résistance à la compression sur cylindres du béton
$f_{cm}$	Valeur moyenne de la résistance à la compression sur cylindres du béton
$f_{sd}$	Valeur de calcul de la limite d'écoulement de l'armature de flexion
$f_{sd,bg}$	Valeur de calcul de la limite d'écoulement des paniers
$f_{sd,SE}$	Valeur de calcul de la limite d'écoulement des éléments S
$f_{sm}$	Valeur moyenne de la limite d'écoulement de l'armature de flexion
$f_{sm,bg}$	Valeur moyenne de la limite d'écoulement des paniers
$f_{sm,SE}$	Valeur moyenne de la limite d'écoulement des éléments S
$f_{swd}$	Valeur de calcul de la limite d'écoulement de l'armature de poinçonnement
h	Épaisseur de dalle
$h_p$	Hauteur de tête
$h_{zp,eff}$	Position mesurée des têtes

$k_c$	Beiwert zur Berücksichtigung der Gesteinskörnung in der Rissverzahnung	$k_c$	Coefficient pour la prise en compte de la composition granulométrique de roche dans l'engrenage des granulats dans les fissures
$k_{cc}$	Beiwert zur Berücksichtigung der Gesteinskörnung für die Obergrenze der ersten Betondruckdiagonale	$k_{cc}$	Coefficient pour la prise en compte de la composition granulométrique de roche dans l'engrenage des granulats pour la limite supérieure de la première bielle de compression du béton
$k_g$	Beiwert zur Berücksichtigung der Rissverzahnung	$k_g$	Coefficient pour la prise en compte de l'engrenage des granulats dans les fissures
$k_{sup}$	Beiwert zur Berücksichtigung der Gesteinskörnung für die Obergrenze in der Rissverzahnung	$k_{sup}$	Coefficient pour la prise en compte de la composition granulométrique de roche pour la limite supérieure dans l'engrenage des granulats dans les fissures
$k_{sys}$	Systembeiwert der Durchstanzbewehrung	$k_{sys}$	Coefficient de système de l'armature de poinçonnement
$\rho_{flex}$	Biegebewehrungsgehalt	$\rho_{flex}$	Taux d'armature de flexion
$r_s$	äquivalenter Radius des Versuchskörpers	$r_s$	Rayon équivalent de l'échantillon
$\rho_w$	Durchstanzbewehrungsgehalt der Körbe	$\rho_w$	Taux d'armature de poinçonnement des paniers
$s$	Stababstand der Bewehrung	$s$	Espacement des barres d'armature
$\sigma_{sd,Bg}$	Stahlspannungen in den Körben auf Bemessungsniveau	$\sigma_{sd,Bg}$	Contraintes au sein de l'acier des paniers au niveau dimensionnement
$\sigma_{sm,Bg}$	Stahlspannungen in den Körben auf Mittelwertsniveau	$\sigma_{sm,Bg}$	Contraintes au sein de l'acier des paniers au niveau valeur moyenne
$\sigma_{sd,SE}$	Stahlspannungen in den S-Elementen auf Bemessungsniveau	$\sigma_{sd,SE}$	Contraintes au sein de l'acier des éléments S au niveau dimensionnement
$\sigma_{sm,SE}$	Stahlspannungen in den S-Elementen auf Mittelwertsniveau	$\sigma_{sm,SE}$	Contraintes au sein de l'acier des éléments S au niveau valeur moyenne
$\tau_{cd}$	Bemessungswert der Schubspannungsgrenze	$\tau_{cd}$	Valeur de calcul de la contrainte limit de cisaillement
$\tau_{cm}$	Mittelwert der Schubspannungsgrenze	$\tau_{cm}$	Valeur moyenne de la contrainte limit de cisaillement
$u_0$	Umfang des Nachweisschnitts im Bereich der Stütze	$u_0$	Périmètre de la section de contrôle dans la zone de la colonne
$u_1$	Umfang des Nachweisschnitts ausserhalb der Körbe	$u_1$	Périmètre de la section de contrôle à l'extérieur des paniers
$u_2$	Umfang des Nachweisschnitts ausserhalb des Stahlpilzes oder S-Elements	$u_2$	Périmètre de la section de contrôle à l'extérieur de la tête en acier ou élément S
$V$	Querkraft	$V$	Effort tranchant
$V_{flex,d}$	Biegetraglast auf Bemessungsniveau	$V_{flex,d}$	Capacité portante en flexion au niveau dimensionnement
$V_{flex,m}$	Biegetraglast auf Mittelwertsniveau	$V_{flex,m}$	Capacité portante en flexion au niveau valeur moyenne
$V_{Rd}$	Durchstanzwiderstand auf Bemessungsniveau	$V_{Rd}$	Résistance au poinçonnement au niveau dimensionnement
$V_{Rd,c0}$	Durchstanzwiderstands des Betons im Bereich der Stütze auf Bemessungsniveau	$V_{Rd,c0}$	Résistance au poinçonnement du béton dans la zone de la colonne au niveau dimensionnement
$V_{Rd,c1}$	Durchstanzwiderstands des Betons ausserhalb der Körbe auf Bemessungsniveau	$V_{Rd,c1}$	Résistance au poinçonnement du béton à l'extérieur des paniers au niveau dimensionnement
$V_{Rd,c2}$	Durchstanzwiderstands des Betons ausserhalb des S-Elementes bzw. Stahlpilzes auf Bemessungsniveau	$V_{Rd,c2}$	Résistance au poinçonnement du béton à l'extérieur de l'élément S ou de la tête en acier au niveau dimensionnement
$V_{Rd,cc0}$	Durchstanzwiderstands bei Versagen der Betondruckdiagonale im Bereich der Stütze auf Bemessungsniveau	$V_{Rd,cc0}$	Résistance au poinçonnement en cas de ruine de la bielle de compression du béton autour de la colonne au niveau dimensionnement
$V_{Rd,cc2}$	Durchstanzwiderstands bei Versagen der Betondruckdiagonale ausserhalb des Stahlpilzes auf Bemessungsniveau	$V_{Rd,cc2}$	Résistance au poinçonnement en cas de ruine de la bielle de compression du béton à l'extérieur de la tête en acier au niveau dimensionnement
$V_{Rd,s0}$	Durchstanzwiderstands der Durchstanzbewehrung im Bereich der Stütze auf Bemessungsniveau	$V_{Rd,s0}$	Résistance au poinçonnement de l'armature de poinçonnement dans la zone de la colonne au niveau dimensionnement
$V_{Rd,s2}$	Durchstanzwiderstands der Durchstanzbewehrung ausserhalb des S-Elementes bzw. Stahlpilzes auf Bemessungsniveau	$V_{Rd,s2}$	Résistance au poinçonnement de l'armature de poinçonnement à l'extérieur de l'élément S ou de la tête en acier au niveau dimensionnement

$V_{Rm}$	Durchstanzwiderstand auf Mittelwertniveau	$V_{Rm}$	Résistance au poinçonnement au niveau valeur moyenne
$V_{Rm,c0}$	Mittelwert des Durchstanzwiderstands des Betons im Bereich der Stütze	$V_{Rm,c0}$	Valeur moyenne de la résistance au poinçonnement du béton dans la zone de la colonne
$V_{Rm,c1}$	Mittelwert des Durchstanzwiderstands des Betons ausserhalb der Körbe	$V_{Rm,c1}$	Valeur moyenne de la résistance au poinçonnement du béton à l'extérieur des paniers
$V_{Rm,c2}$	Mittelwert des Durchstanzwiderstands des Betons ausserhalb des S-Elementes bzw. Stahlpilzes	$V_{Rm,c2}$	Valeur moyenne de la résistance au poinçonnement du béton à l'extérieur de l'élément S ou de la tête en acier
$V_{Rm,cc0}$	Mittelwert des Durchstanzwiderstands bei Versagen der Betondruckdiagonale im Bereich der Stütze	$V_{Rm,cc0}$	Valeur moyenne de la résistance au poinçonnement en cas de ruine de la bielle de compression du béton dans la zone de la colonne
$V_{Rm,cc2}$	Mittelwert des Durchstanzwiderstands bei Versagen der Betondruckdiagonale ausserhalb des Stahlpilzes	$V_{Rm,cc2}$	Valeur moyenne de la résistance au poinçonnement en cas de ruine de la bielle de compression du béton à l'extérieur de la tête en acier
$V_{Rm,s0}$	Mittelwert des Durchstanzwiderstands der Durchstanzbewehrung im Bereich der Stütze	$V_{Rm,s0}$	Valeur moyenne de la résistance au poinçonnement de l'armature de poinçonnement dans la zone de la colonne
$V_{Rm,s2}$	Mittelwert des Durchstanzwiderstands der Durchstanzbewehrung ausserhalb des S-Elementes bzw. Stahlpilzes	$V_{Rm,s2}$	Valeur moyenne de la résistance au poinçonnement de l'armature de poinçonnement à l'extérieur de l'élément S ou de la tête en acier
$V_R$	Bruchlast im Versuch	$V_R$	Résistance au poinçonnement par unité de longueur
$\psi$	Plattenrotation	$\psi$	Rotation de la dalle
$\psi_R$	Plattenrotation beim Bruch im Versuch	$\psi_R$	Rotation de la dalle lors de la rupture durant un essai
$\emptyset$	Stützendurchmesser	$\emptyset$	Diamètre de la colonne
$\emptyset_{bg}$	Stabdurchmesser der Körbe	$\emptyset_{bg}$	Diamètre des barres des paniers

**Bemerkungen zum vorliegenden Dokument**

Dokumentationen erfahren laufend Änderungen aufgrund der aktualisierten Normen und der Weiterentwicklung unserer Produktpalette. Die aktuell gültige Version dieser gedruckten Dokumentation befindet sich auf unserer Website.

**Remarques concernant le présent document**

Les documentations sont régulièrement l'objet de modifications en raison des normes actualisées et du perfectionnement de notre gamme de produits. La version actuellement valable de cette documentation imprimée figure sur notre site web.

1.2019 Copyright © by

F.J. Aschwanden AG CH-3250 Lyss Switzerland  
Phone 032 387 95 95 E-Mail [info@aschwanden.com](mailto:info@aschwanden.com)  
[www.aschwanden.com](http://www.aschwanden.com)

Zertifiziert/Certifié: ISO 9001, OHSAS 18001, EN 1090

DURA Durchstanzbewehrung Gutachten