

## Durchstanzverstärkung Gutachten

### Externer Stahlpilz zur nachträglichen Erhöhung des Durchstanzwiderstandes von bestehenden Flachdecken

Prof. Dr. Albin Kenel, HSR  
Prof. Dr. Thomas Keller, EPFL

## Renforcement au poinçonnement Expertise

### Tête en acier externe pour augmenter ultérieurement la résistance au poinçonnement de planchers- dalles existants

Prof. Dr Albin Kenel, HSR  
Prof. Dr Thomas Keller, EPFL



<b>1. Einleitung</b>	Seite 2	<b>1. Introduction</b>	Page 2
<b>2. Durchstanzversuche</b>	3	<b>2. Essais de poinçonnement</b>	3
2.1 Durchstanzversuche DURA Pilze	3	2.1 Essais de poinçonnement têtes DURA	3
2.2 Durchstanzversuche RINO Exo	4	2.2 Essais de poinçonnement RINO Exo	4
2.3 Übersicht Durchstanzversuche mit Pilzen	6	2.3 Vue d'ensemble des essais de poinçonnement avec têtes	6
<b>3. Bemessung von RINO Exo</b>	7	<b>3. Dimensionnement de RINO Exo</b>	7
3.1 Einleitung	7	3.1 Introduction	7
3.2 Einbauvorgang	7	3.2 Procédé de mise en place	7
3.3 Vorverformung	8	3.3 Prédéformation	8
3.4 Vorspannung des Pilzes	10	3.4 Précontrainte de la tête	10
3.5 Bemessung	13	3.5 Dimensionnement	13
<b>4. Vergleich mit Versuchen</b>	15	<b>4. Comparaison avec les résultats d'essais</b>	15
4.1 Vergleich mit Betonbruchkriterium	15	4.1 Comparaison basée sur le critère de ruine du béton	15
4.2 Vergleich RINO Exo und DURA Pilz	16	4.2 Comparaison RINO Exo et tête DURA	16
<b>5. Beurteilung des Bemessungskonzepts für die RINO Exo Durchstanzverstärkung</b>	18	<b>5. Évaluation du concept de dimensionnement pour le renforcement au poinçonnement RINO Exo</b>	18
<b>6. Literatur</b>	19	<b>6. Bibliographie</b>	19

## 1. Kompetenz Durchstanzen

In der Erhaltung von bestehenden Tragwerken gewinnt die Erhöhung des Durchstanzwiderstandes von Flachdecken zunehmend an Bedeutung. Aufbauend auf dem bewährten DURA System zur Gewährleistung des Durchstanzwiderstandes von neu zu bauenden Flachdecken hat die F.J. Aschwanden AG das System RINO zur Erhöhung des Durchstanzwiderstandes von bestehenden Flachdecken entwickelt. Eine der Anwendungen des RINO Systems besteht in der Anordnung eines externen, vorgespannten Stahlpilzes – RINO Exo.

Die Entwicklung des DURA Systems basiert auf 24 Grossversuchen, diejenige des RINO Systems auf 19 Grossversuchen. Insgesamt sind das Tragverhalten der Aschwanden-Produkte im Durchstanzbereich und die entsprechenden Bemessungsmodelle durch 43 Grossversuche abgesichert.

Basierend auf dem durch Versuche belegten und bekannten Tragverhalten des DURA Pilzes konnte mit vier Zusatzversuchen RINO Exo gezeigt werden, dass das Bemessungskonzept des DURA Pilzes als Grundlage für das Bemessungskonzept des RINO Exo Pilzes dienen kann. Die erforderlichen Modellerweiterungen werden im Folgenden erläutert und die aus der Modellierung resultierenden Durchstanzlasten werden mit den experimentellen Werten verglichen.

Wie beim DURA Pilz erfolgt die Lastabtragung dabei kombiniert durch Pilz und Decke. Das vorliegende Gutachten zeigt auf, dass dabei das gleiche Sicherheitsniveau wie gemäss Norm SIA 262 [1] erreicht wird, in deren Modell der Pilz die ganze Last überträgt.

Das Bemessungskonzept für das Durchstanzen von Platten der Norm SIA 262 [1] entspricht grundsätzlich dem des fib Model Codes 2010 [2].

## 1. Introduction

Dans la maintenance de structures porteuses existantes, augmenter la résistance au poinçonnement des planchers-dalles ne cesse de gagner en importance. Se fondant sur le système DURA éprouvé pour garantir la résistance au poinçonnement de planchers-dalles à construire, F.J. Aschwanden SA a mis au point le système RINO pour augmenter la résistance au poinçonnement de planchers-dalles existants. Une des applications du système RINO consiste à disposer une tête en acier externe précontrainte – RINO Exo.

La mise au point du système DURA est basée sur 24 essais à échelle réelle, et celle du système RINO sur 19 essais à échelle réelle. Le comportement structural des produits Aschwanden dans la zone de poinçonnement et les modèles de dimensionnement s'y rapportant sont assurés par 43 essais à échelle réelle.

Sur la base du comportement structural de la tête DURA, prouvé par des essais et connu, quatre essais supplémentaires avec RINO Exo ont permis de démontrer que le concept de dimensionnement de la tête DURA peut servir de base pour le concept de dimensionnement de la tête RINO Exo. Les extensions du modèle nécessaires sont expliquées ci-après et les charges de poinçonnement résultant de la modélisation sont comparées avec les valeurs expérimentales.

Comme pour la tête DURA, la transmission de la charge s'effectue combinée par tête et dalle. La présente expertise montre qu'en l'occurrence le niveau de sécurité atteint est le même que selon la norme SIA 262 [1], dans le modèle de laquelle la tête transmet toute la charge.

Fondamentalement, le concept de dimensionnement pour le poinçonnement des dalles de la norme SIA 262 [1] correspond à celui du fib Model Code 2010 [2].



Bild 1: RINO Exo: Versuchskörper an der EMPA

Figure 1: RINO Exo: éprouvette à l'EMPA

## 2. Durchstanzversuche

Ergänzend zu den sieben Durchstanzversuchen an mit DURA Pilzen bewehrten Plattenelementen [3, 4] wurden vier mit externen Stahlpilzen, RINO Exo, verstärkte Platten geprüft [5, 6]. Die Details dieser zwei Versuchsserien sind im Folgenden zusammengefasst.

### 2.1 Durchstanzversuche DURA Pilze

Die Durchstanzversuche mit DURA Pilzen erfolgten an der EMPA und an der ETH Lausanne. Der Prüfumfang an der EMPA umfasste eine Kreisplatte mit Aussendurchmesser 3.3 m und einer Plattenstärke von  $h = 280$  mm [3]. Die Platte wurde mit Grösstkorn  $D_{\max} = 32$  mm betonierte. Zusätzlich zum Pilz wurde noch eine Durchstanz-Korbbewehrung angeordnet.

Der Prüfumfang an der ETH Lausanne umfasste sechs Quadratplatten mit den Abmessungen  $3.0 \times 3.0$  m<sup>2</sup> und einer Plattenstärke von  $h = 250$  mm [4]. Die Platten wurden mit Grösstkorn  $D_{\max} = 16$  mm hergestellt. Bei zwei Platten wurde zusätzlich zum Pilz noch eine Durchstanz-Korbbewehrung angeordnet.

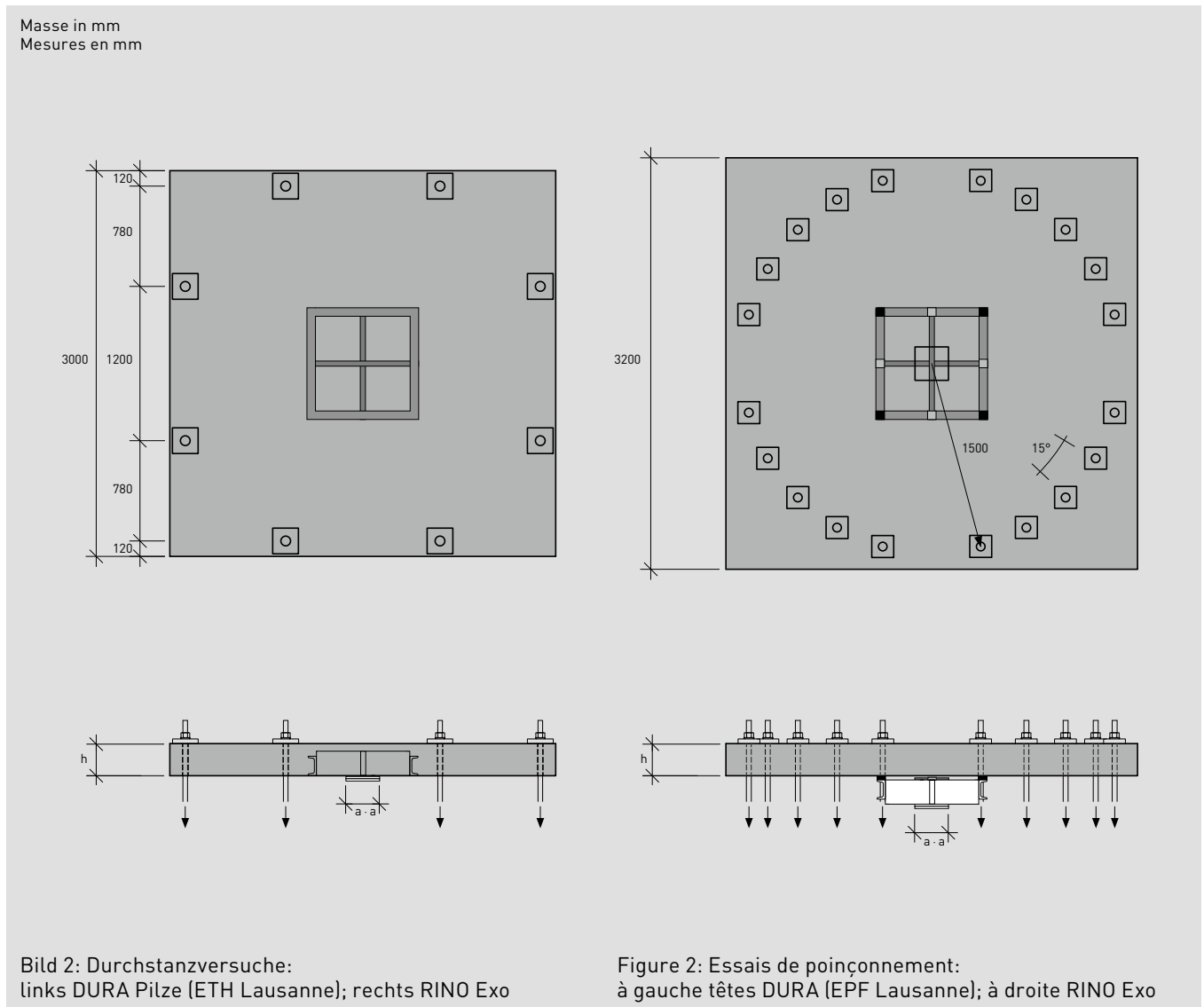
## 2. Essais de poinçonnement

Complétant les sept essais de poinçonnement sur des éléments de dalle armés [3, 4] avec têtes DURA, quatre dalles renforcées avec têtes en acier externes RINO Exo ont été testées [5, 6]. Les détails de ces deux séries d'essais sont récapitulés ci-après.

### 2.1 Essais de poinçonnement têtes DURA

Les essais de poinçonnement avec têtes DURA ont été effectués à l'EMPA et à l'EPF Lausanne. À l'EMPA, l'essai comprenait une dalle circulaire de 3.3 m de diamètre extérieur et d'une épaisseur de  $h = 280$  mm [3]. Le diamètre maximum du granulat du béton de la dalle était de  $D_{\max} = 32$  mm. Des paniers d'armature anti-poinçonnement ont en outre été disposés en plus de la tête.

À l'EPF Lausanne, le test englobait six dalles carrées de dimensions de  $3.0 \times 3.0$  m<sup>2</sup> et d'une épaisseur de  $h = 250$  mm [4]. Les dalles ont été réalisées avec un béton de diamètre maximum du granulat  $D_{\max} = 16$  mm. Pour deux des dalles, des paniers d'armature anti-poinçonnement ont en outre été disposés en plus de la tête.



## 2.2 Durchstanzversuche RINO Exo

An der EMPA wurden vier Quadratplatten mit den Abmessungen  $3.2 \times 3.2 \text{ m}^2$  und einer Plattenstärke von  $h = 250 \text{ mm}$  geprüft [5, 6]. Die Platten wurden mit Grösstkorn  $D_{\text{max}} = 32 \text{ mm}$  betoniert. Die Betonfestigkeit wurde gegenüber den DURA Versuchen erhöht, um dem wesentlich höheren Betonalter im Erhaltungsfall Rechnung zu tragen.

Die Abmessungen der RINO Pilze wurden vom Versuch DURA-19 übernommen, um die Vergleichbarkeit der Versuche RINO gegenüber DURA zu gewährleisten. Bei den Versuchen RINO-10/19/20 wurde vor der Verstärkung eine Vorverformung aufgebracht, indem die Platte vor dem Pilzeinbau bis zur Gebrauchslast vorbelastet und wieder entlastet wurde (vgl. Abschnitt 3.3).

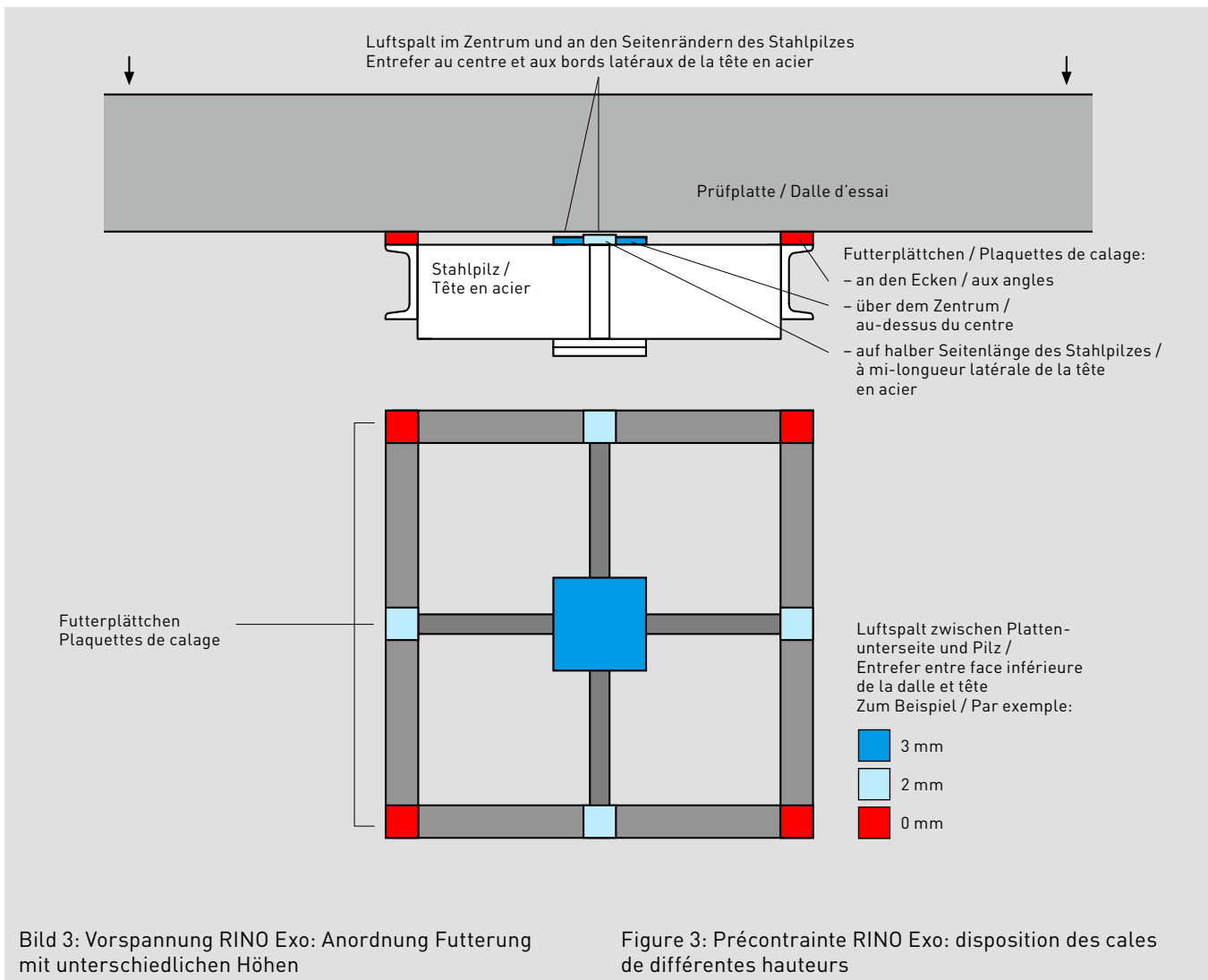
Die Pilzvorspannung wurde durch Anpressdruck des Pilzes auf die Platte aufgebracht. Eine entsprechende, in der Höhe unterschiedliche Futterung an acht Punkten des Randträgers gewährleistete die Einleitung der Vorspannkraft am äusseren Pilzumfang.

## 2.2 Essais de poinçonnement RINO Exo

Quatre dalles carrées de dimensions de  $3.2 \times 3.2 \text{ m}^2$  et d'une épaisseur de  $h = 250 \text{ mm}$  ont été testées à l'EMPA [5, 6]. Le diamètre maximum du granulat du béton des dalles était de  $D_{\text{max}} = 32 \text{ mm}$ . La résistance du béton a été augmentée par rapport aux essais DURA, afin de prendre en compte l'âge beaucoup plus élevé du béton dans le cas de la maintenance.

Les dimensions des têtes RINO ont été reprises de l'essai DURA-19, afin de garantir la comparabilité des essais RINO par rapport aux essais DURA. Pour les essais RINO-10/19/20, une prédéformation a été appliquée avant le renforcement, cela en préchargeant la dalle jusqu'à la charge de service avant la mise en place de la tête, et en la déchargeant ensuite (v. chapitre 3.3).

La précontrainte de la tête a été appliquée par pression de la tête contre la dalle. Des cales appropriées, variant en hauteur, placées en huit points du profilé de bord garantissaient l'introduction de la force de précontrainte sur le périmètre extérieur de la tête.



Häufig vorkommende Problemstellungen von zu verstärkenden Flachdecken sind zu kurz verankerte oder zu kurz gestossene Biegebewehrungen im Stützenbereich. Versuch RINO-19 wurde mit einer zu kurzen Stosslänge ausgeführt und mit einem RINO Exo verstärkt. Bei Versuch RINO-20 wurden CFK-Lamellen (RINO Flex) zur Ergänzung der fehlenden Verankerungslänge kreuzweise appliziert, siehe Bild 4.

Des problèmes fréquemment posés par les planchers-dalles à renforcer consistent en des armatures de flexion à longueur d'ancrage ou de recouvrement trop courte dans la zone des colonnes. L'essai RINO-19 a été effectué avec un recouvrement trop court et un renforcement avec RINO Exo. Pour l'essai RINO-20, des lamelles de carbone (RINO Flex) ont été appliquées croisées pour prolonger la longueur d'ancrage trop courte, voir figure 4.

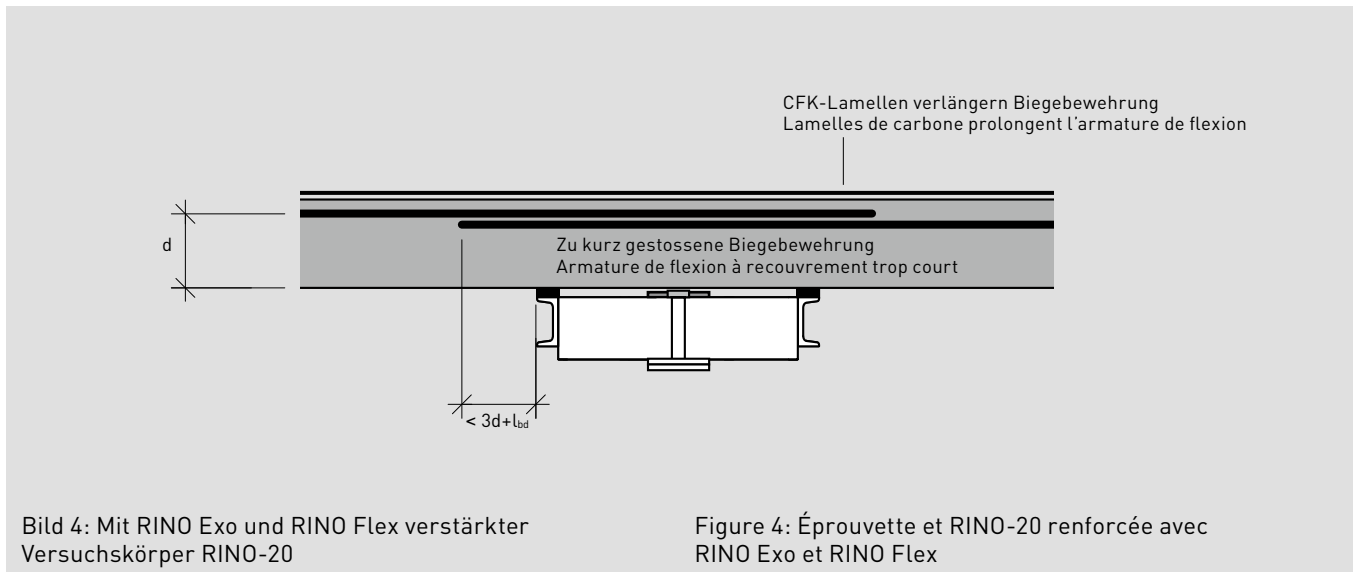


Bild 4: Mit RINO Exo und RINO Flex verstärkter Versuchskörper RINO-20

Figure 4: Éprouvette et RINO-20 renforcée avec RINO Exo et RINO Flex

## 2.3 Übersicht Durchstanzversuche mit Pilzen

Die nachfolgende Tabelle fasst die durchgeführten Versuche zusammen und gibt einen Überblick über die Versuchsparameter und erreichten Durchstanzlasten.

Tabelle 1: Übersicht Durchstanzversuche RINO Exo und DURA

Nr. <sup>1)</sup> N° <sup>1)</sup>	h [mm]	a/Ø [mm]	d <sub>eff</sub> <sup>2)</sup> [mm]	A <sub>sw</sub> [mm]	Pilzabmessung Dimension tête [mm]	h <sub>zp,eff</sub> <sup>4)</sup> [mm]	ρ <sub>w</sub> <sup>3)</sup> [%]	ρ <sub>flex</sub> <sup>5)</sup> [%]	f <sub>cm</sub> <sup>6)</sup> [N/mm <sup>2</sup> ]	V <sub>R,exp</sub> <sup>7)</sup> [kN]
RINO-9	250	250	205	–	1080/1080/190	–	–	1.532	59.4	<b>2155</b>
RINO-10	250	250	208	–	1080/1080/190	–	–	1.510	59.1	<b>1975</b>
RINO-19	250	250	203	–	1080/1080/190	–	–	1.548	47.6	<b>1540</b>
RINO-20	250	250	202	–	1080/1080/190	–	–	1.555	49.0	<b>1954</b>
DURA-16	250	260	222	–	960/960/140	46	–	1.415	40.1	<b>1511</b>
DURA-17	250	260	208	1Ø10 s=100	600/600/140	44	0.785	1.510	39.9	<b>2147</b>
DURA-18	250	260	207	–	820/820/135	45	–	0.744	40.7	<b>1115</b>
DURA-19	250	260	219	–	1080/1080/190	0	–	1.435	38.6	<b>2103</b>
DURA-20	250	260	205	1Ø10 s=100	730/730/180	0	0.785	1.532	36.8	<b>2390</b>
DURA-21	250	340	218	–	1400/1400/180	0	–	1.441	40.6	<b>2498</b>
DURA-24	280	300	226	1Ø10 s=100	600/600/180	40	0.785	1.390	24.0	<b>2039</b>

## 2.3 Vue d'ensemble des essais de poinçonnement avec têtes

Le tableau ci-dessous récapitule les essais effectués et donne une vue d'ensemble des paramètres des essais et des charges de poinçonnement atteintes.

Tableau 1: Vue d'ensemble des essais de poinçonnement RINO Exo et DURA

<sup>1)</sup> Die Versuchsnummerierung erfolgt gemäss den Versuchsberichten [3–6]

<sup>2)</sup> Nach dem Versuch gemessene, mittlere statische Höhe, d<sub>eff</sub>

<sup>3)</sup> Bewehrungsgehalt, ρ<sub>w</sub>, der Korbbewehrung, A<sub>sw</sub>

<sup>4)</sup> Nach dem Versuch gemessene Höhenlage des Pilzes, h<sub>zp,eff</sub>

<sup>5)</sup> Auf die mittlere statische Höhe, d<sub>eff</sub>, bezogener Biegebewehrungsgehalt, ρ<sub>flex</sub>

<sup>6)</sup> Zylinderdruckfestigkeit, f<sub>cm</sub>, im Zeitpunkt der Versuchsdurchführung

<sup>7)</sup> Bruchlast, V<sub>R,exp</sub>, inkl. Platteneigengewicht

Die Biege- und Korbbewehrung aller Platten wurde mit Bewehrung der Duktilitätsklasse B500B [1] ausgeführt und an der EMPA geprüft [3, 7–12]. Die Stegbleche und Randträger der Stahlpilze wurden in der Qualität S355 [13] ausgeführt und an der EMPA geprüft [3, 11, 12]. Die Stahlpilze der Versuche DURA-19/20/21 wurden direkt auf der Schalung verlegt, d.h. mit einer Höhenlage h<sub>zp,eff</sub> = 0. Die Stahlpilze der Versuche DURA-16/17/18/24 wurden auf der 2. Lage verlegt, d.h. mit einer Höhenlage h<sub>zp,eff</sub> = 40–46 mm.

<sup>1)</sup> La numérotation des essais se fait selon les rapports d'essai [3–6]

<sup>2)</sup> Hauteur statique moyenne, d<sub>eff</sub>, mesurée après l'essai

<sup>3)</sup> Taux d'armature, ρ<sub>w</sub>, des paniers d'armature, A<sub>sw</sub>

<sup>4)</sup> Position en hauteur de la tête, h<sub>zp,eff</sub>, mesurée après l'essai

<sup>5)</sup> Taux d'armature de flexion, ρ<sub>flex</sub>, rapporté à la hauteur statique moyenne, d<sub>eff</sub>

<sup>6)</sup> Résistance à la compression sur cylindre, f<sub>cm</sub>, au moment de l'exécution de l'essai

<sup>7)</sup> Charge de rupture, V<sub>R,exp</sub>, y compris charge propre de la dalle

L'armature de flexion et les paniers d'armature de toutes les dalles ont été exécutés avec armature de la classe de ductilité B500B [1] et testés à l'EMPA [3, 7–12]. Les âmes et les profilés de bord des têtes en acier ont été exécutés dans la qualité S 355 [13] et testés à l'EMPA [3, 11, 12]. Les têtes en acier des essais DURA-19/20/21 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 DURA-16/17/18/24 ont été posées sur le 2<sup>e</sup> lit, c'est-à-dire avec une position en hauteur h<sub>zp,eff</sub> = 40–46 mm.

### 3. Bemessung von RINO Exo

#### 3.1 Einleitung

Flachdecke und RINO Exo bilden ein hybrides Tragsystem mit je nach Situation sehr unterschiedlicher Abtragung der Last durch verschiedene Subsysteme auf die Stütze. Die Art der Lastabtragung hängt dabei vom Steifigkeitsverhältnis der Flachdecke zum Pilz sowie vom Vorspanngrad des Pilzes ab. Zu beachten ist insbesondere, dass in den meisten Verstärkungsfällen eine durch Risse bereits vorverformte Decke mit entsprechend reduzierter Steifigkeit vorliegt. Dieser Tatsache wird durch die Pilzvorspannung wirksam Rechnung getragen.

Aufgrund des Einbauvorgangs ergeben sich zwei bemessungsrelevante Effekte, welche sich von der DURA Pilz Bemessung unterscheiden:

- Vorverformung der Decke: Die bestehende Decke wurde bisher belastet und gegebenenfalls durch Spriessung oder Entfernung von Auflasten entlastet,
- Vorspannung des Pilzes: Der Pilz wird mit dem Einbau unter Last gesetzt und damit aktiviert.

#### 3.2 Einbauvorgang

Der Pilz RINO Exo kann auf zwei unterschiedliche Arten eingebaut werden:

##### 3.2.1 Entfernung Stützenkopf oder Stütze

Der Einbauvorgang ist in Bild 5 schematisch dargestellt. Während dem Einbau des RINO Exo muss die bestehende Decke gespriesst werden.

### 3. Dimensionnement de RINO Exo

#### 3.1 Introduction

Plancher-dalle et RINO Exo forment un système porteur hybride, avec transmission de la charge sur la colonne par différents sous-systèmes. Le mode de transmission qui varie fortement en fonction de la situation dépend en l'occurrence du rapport de rigidité entre plancher-dalle et tête ainsi que du degré de précontrainte de la tête. Il faut en particulier tenir compte que dans la plupart des cas de renforcement on se trouve en présence d'une dalle déjà prédéformée par des fissures, avec une rigidité réduite qui en résulte. Ce fait est efficacement pris en considération par la précontrainte de la tête.

Le procédé de mise en place peut entraîner deux effets influant sur le dimensionnement, lesquels diffèrent de ceux pour le dimensionnement de la tête DURA:

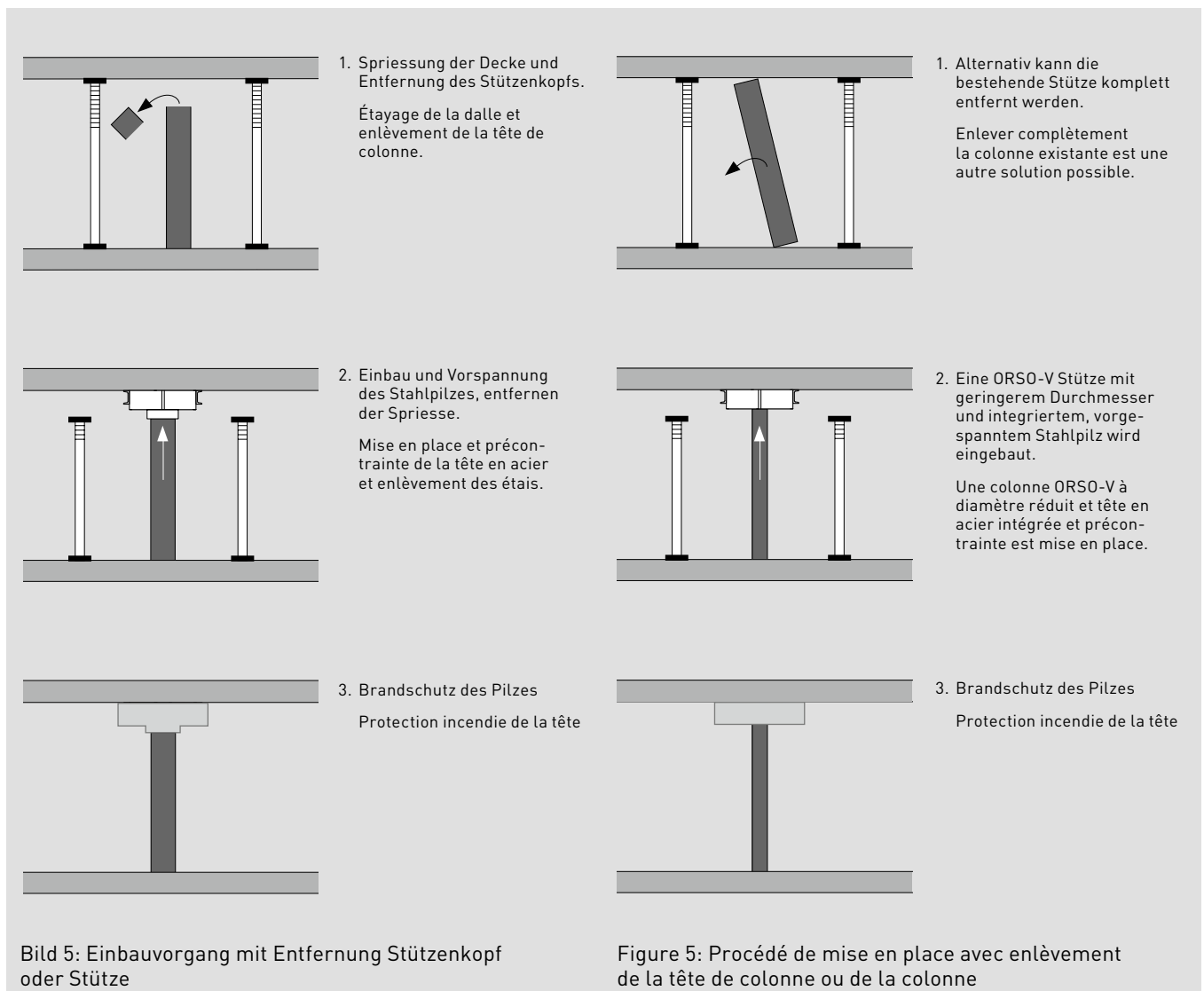
- Prédéformation de la dalle: la dalle existante a été jusqu'à présent chargée, et au besoin déchargée par étayage ou enlèvement des charges supplémentaires.
- Précontrainte de la tête: la tête est mise sous charge en la mettant en place, et elle est ainsi activée.

#### 3.2 Procédé de mise en place

La tête RINO Exo peut être mise en place de deux façons:

##### 3.2.1 Enlèvement de la tête de colonne ou de la colonne

Le procédé de mise en place est représenté schématiquement à la figure 5. La dalle existante doit être étayée pendant la mise en place de RINO Exo.

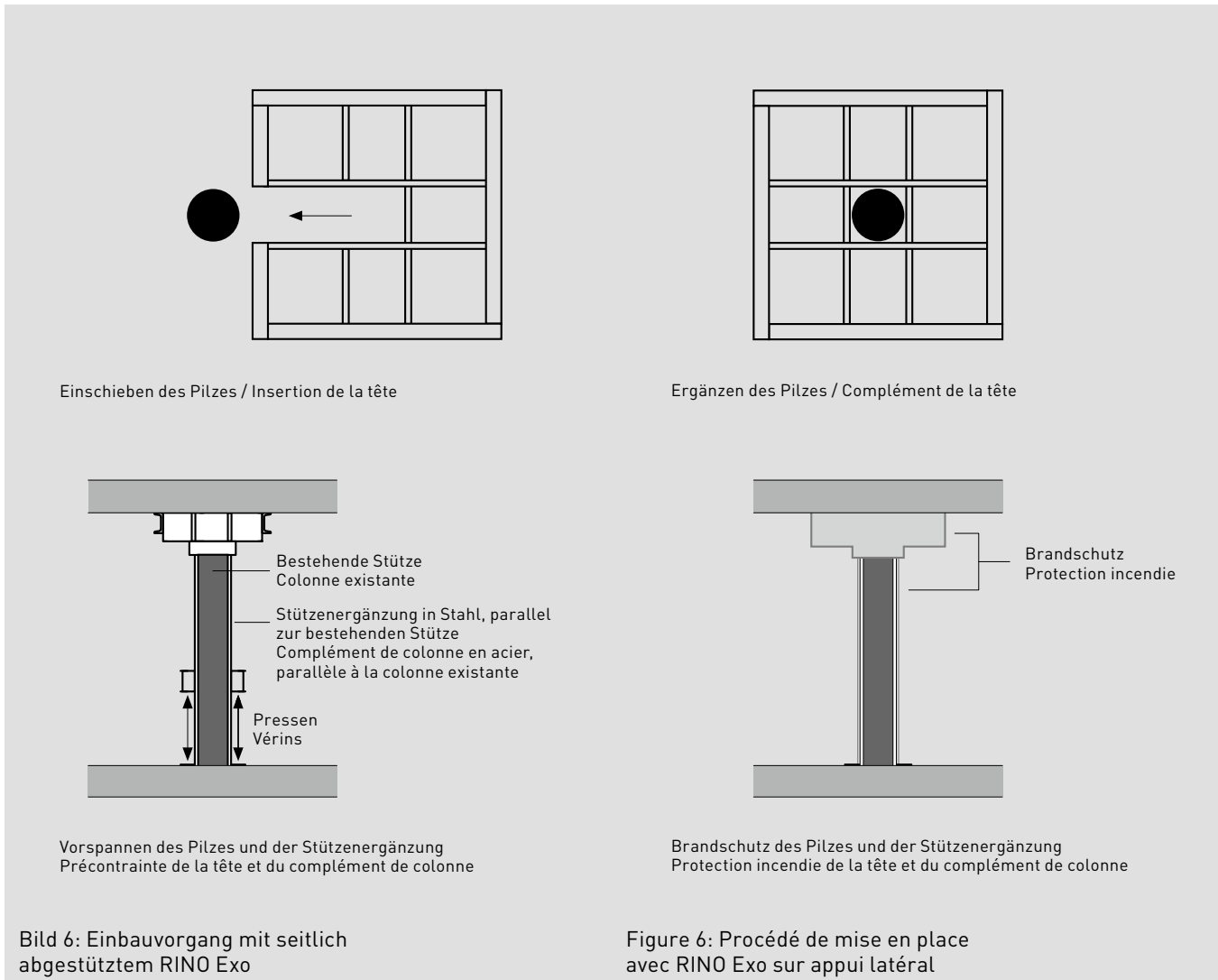


### 3.2.2 Abstützung parallel zur bestehenden Stütze

Der Einbauvorgang ist in Bild 6 schematisch dargestellt. Während dem Einbau des RINO Exo muss die bestehende Decke nicht gespiesst werden.

### 3.2.2 Support parallèle à la colonne existante

Le procédé de mise en place est représenté schématiquement à la figure 6. La dalle existante ne doit pas être étayée pendant la mise en place de RINO Exo.



### 3.3 Vorverformung

Infolge der Belastung unter Gebrauch reißt der Betonquerschnitt der Decke im durchstanzgefährdeten Bereich und die Biegebewehrung wird entsprechend beansprucht. Durch eine oft notwendige Spriessung (nicht nur für den Einbauvorgang) oder den Abtrag einer allfälligen Auflast wird die Decke entlastet. Selbst bei einer kompletten Entlastung verbleibt aber eine residuale Deckenrotation (Vorverformung). Falls die Biegebewehrung über die Fließgrenze beansprucht wurde, wird diese noch grösser ausfallen.

### 3.3 Prédéformation

Par suite de la sollicitation en service, la section du béton de la dalle se fissure dans la zone exposée au poinçonnement et l'armature de flexion s'en trouve sollicitée d'autant. La dalle est déchargée par un étayage souvent nécessaire (pas seulement pour le procédé de mise en place) ou par l'enlèvement d'une éventuelle charge supplémentaire. Mais même en cas de déchargement complet, une rotation résiduelle de la dalle (prédéformation) subsiste. Si l'armature de flexion est sollicitée au-delà de la limite d'écoulement, la prédéformation sera encore plus grande.



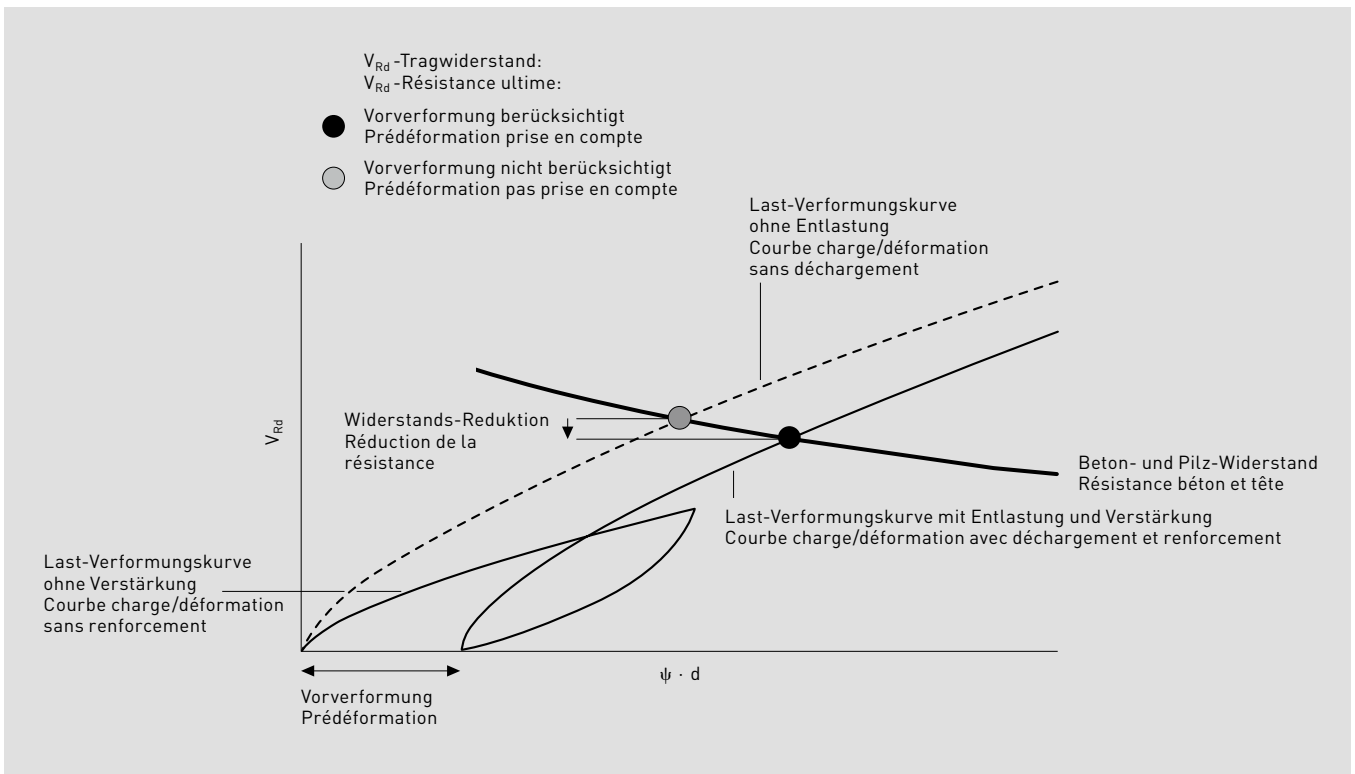


Bild 7: Einfluss der Vorverformung auf den Durchstanzwiderstand

Figure 7: Influence de la prédéformation sur la résistance au poinçonnement

Bild 7 illustriert die verbleibende Deckenrotation. Der verformungsabhängige Durchstanzwiderstand wird durch diese zusätzliche Verformung reduziert.

La figure 7 illustre la rotation résiduelle de la dalle. Cette déformation supplémentaire réduit la résistance au poinçonnement dépendant de la déformation.

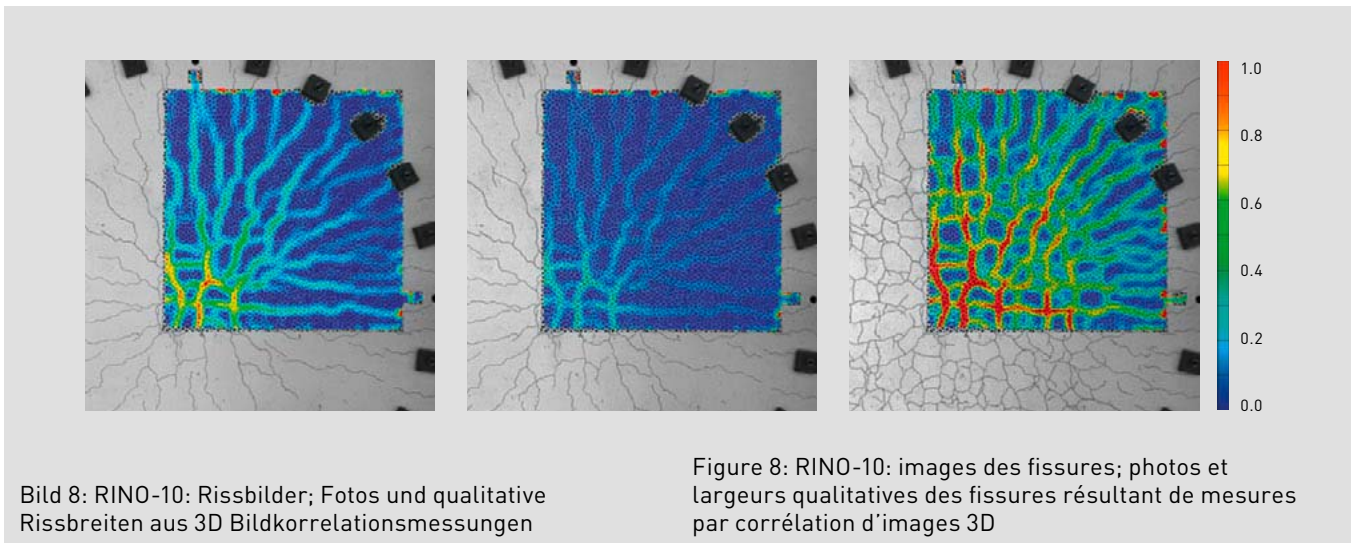


Bild 8: RINO-10: Rissbilder; Fotos und qualitative Rissbreiten aus 3D Bildkorrelationsmessungen

Figure 8: RINO-10: images des fissures; photos et largeurs qualitatives des fissures résultant de mesures par corrélation d'images 3D

Bild 8 zeigt in der Mitte das Rissbild und die Oberflächen-Dehnungen der vorverformten Platte RINO-10. Die Platte wurde zuerst bis 670 kN belastet (Bild links) und dann entlastet (Bild Mitte). Erst nach der daraus resultierenden Vorverformung wurde der Exo Pilz eingebaut und vorgespannt. Die Vorverformungen betragen rund 30% der Verformungen kurz vor dem Bruch (bei 1930 kN, Bild rechts) und führte zu einer Reduktion des Durchstanzwiderstandes von rund 10% (Vergleich RINO-9/10 in Tabelle 1).

Die Vorverformung kann mit den Methoden des an der ETH Zürich entwickelten Zuggurtmodells [14, 15] abgeschätzt werden. Die Berücksichtigung der Belastung vor der Verstärkung und der Vorverformung aus Entlastung (z.B. durch Spriesskräfte) fließt in die Bemessung von RINO Exo ein.

La figure 8 montre au milieu l'image des fissures et les déformations superficielles de la dalle RINO-10 prédéformée. La dalle a été d'abord chargée jusqu'à 670 kN (photo de gauche), puis déchargée (photo du milieu). Ce n'est qu'après la prédéformation en résultant que la tête Exo a été mise en place et précontrainte. Les prédéformations étaient d'environ 30% des déformations peu avant la rupture (à 1930 kN, photo de droite), et ont entraîné une réduction de la résistance au poinçonnement d'environ 10% (comparaison RINO-9/10 dans le tableau 1).

La prédéformation peut être estimée au moyen des méthodes du modèle de membrure en traction conçu à l'EPF Zurich [14, 15]. La prise en considération de la charge avant le renforcement et de la prédéformation due au déchargement (p. ex. par un étayage) s'insère dans le dimensionnement de RINO Exo.

### 3.4 Vorspannung des Pilzes

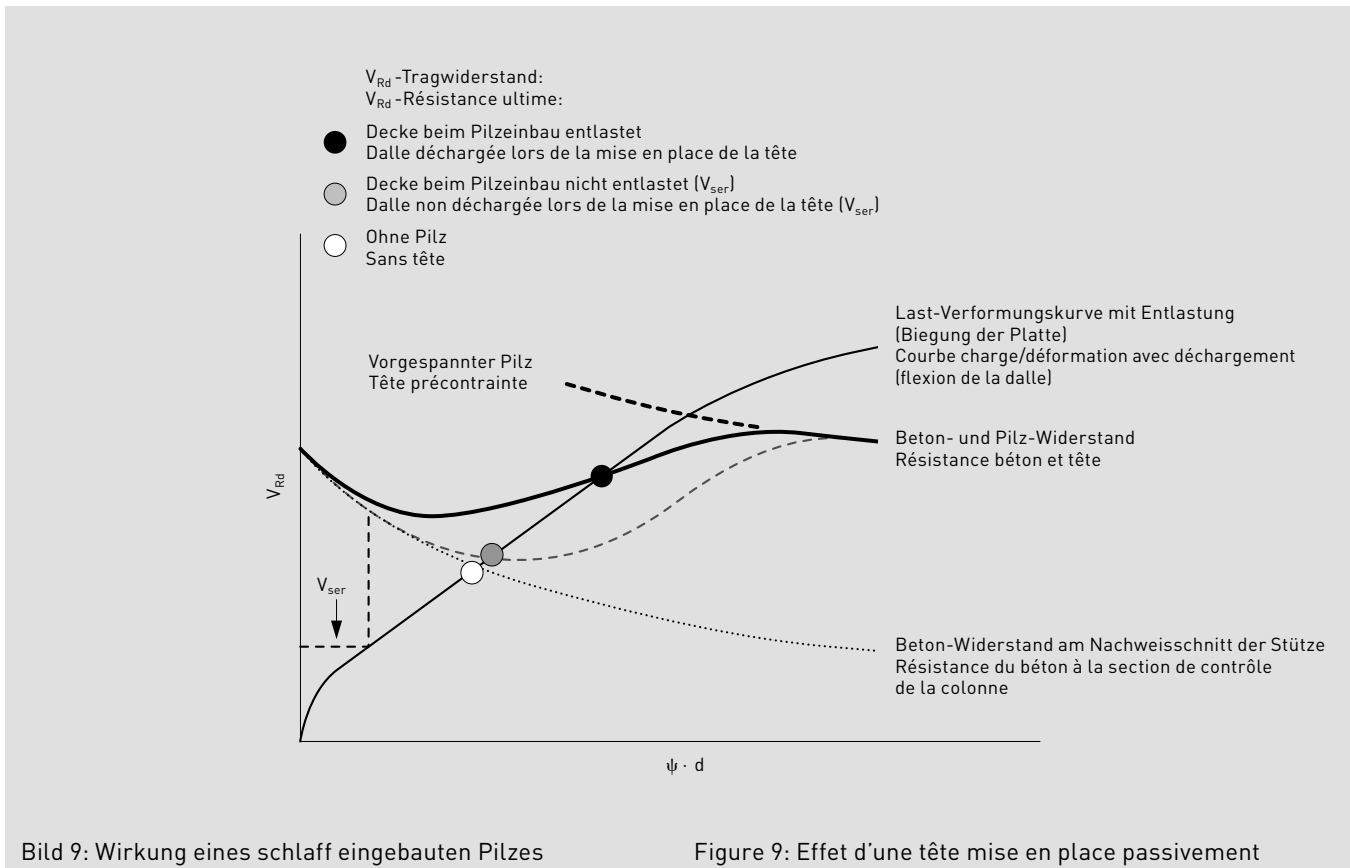
Nicht vorgespannte Verstärkungsmassnahmen benötigen zur Lastaufnahme eine Verformung der zu verstärkenden Decke. Bild 9 zeigt die sukzessive Aktivierung schlaff eingebauter Pilze durch zunehmende Last und Verformung bis zur Fließ-Last. Die schwarz dargestellte Kurve zeigt den Widerstandsaufbau eines schlaff eingebauten Pilzes unter einer beim Einbau vollständig entlasteten Decke. Der Pilz entlastet die Decke erst ab einer deutlich über die Gebrauchslast  $V_{ser}$  hinausgehenden Belastung.

Die grau dargestellte Kurve zeigt den Widerstandsaufbau eines schlaff eingebauten Pilzes unter einer auf Gebrauchsniveau  $V_{ser}$  belasteten Decke. In diesem Fall übernimmt der Pilz erst bei deutlich grösseren Verformungen Last. Die Pilzkapazität kann in beiden Fällen nicht voll ausgenutzt werden.

### 3.4 Précontrainte de la tête

Les dispositifs de renforcement non précontraints exigent une déformation pour reprendre une charge supplémentaire. La figure 9 montre l'activation progressive de têtes mises en place passivement. L'activation s'effectue par charge et déformation croissantes jusqu'à la charge d'écoulement. La courbe en noir montre l'augmentation de la résistance d'une tête mise en place passivement sous une dalle totalement déchargée lors de la mise en place. La tête ne décharge la dalle qu'à partir d'une charge nettement supérieure à la charge de service  $V_{ser}$ .

La courbe en gris montre l'augmentation de la résistance d'une tête mise en place passivement sous une dalle chargée au niveau de service  $V_{ser}$ . Dans ce cas, la tête ne reprend la charge que lors de nettement plus grandes déformations. La capacité de la tête ne peut pas être pleinement exploitée dans les deux cas.



Wird der Pilz beim Einbau unter Last gesetzt, d.h. vorgespannt, überträgt der Pilz ohne zusätzliche Deckenverformung Last und entlastet die zu verstärkende Decke sofort. Bedingt durch die Lastumlagerung von der Decke auf den vorgespannten RINO Exo, werden einerseits die Durchstanzquerkraft im Nachweisschnitt,  $u$ , um die Stütze und andererseits die Biegebeanspruchung der Decke innerhalb des Pilzes signifikant reduziert.

Lorsque la tête est mise sous charge lors de sa mise en place, c'est-à-dire précontrainte, elle transmet la charge sans déformation supplémentaire de la dalle, et décharge immédiatement la dalle à renforcer. La redistribution de la charge, de la dalle sur la tête RINO Exo précontrainte, réduit notablement, d'une part l'effort tranchant par poinçonnement dans la section de contrôle,  $u$ , autour de la colonne, et d'autre part la sollicitation en flexion de la dalle à l'intérieur de la tête.

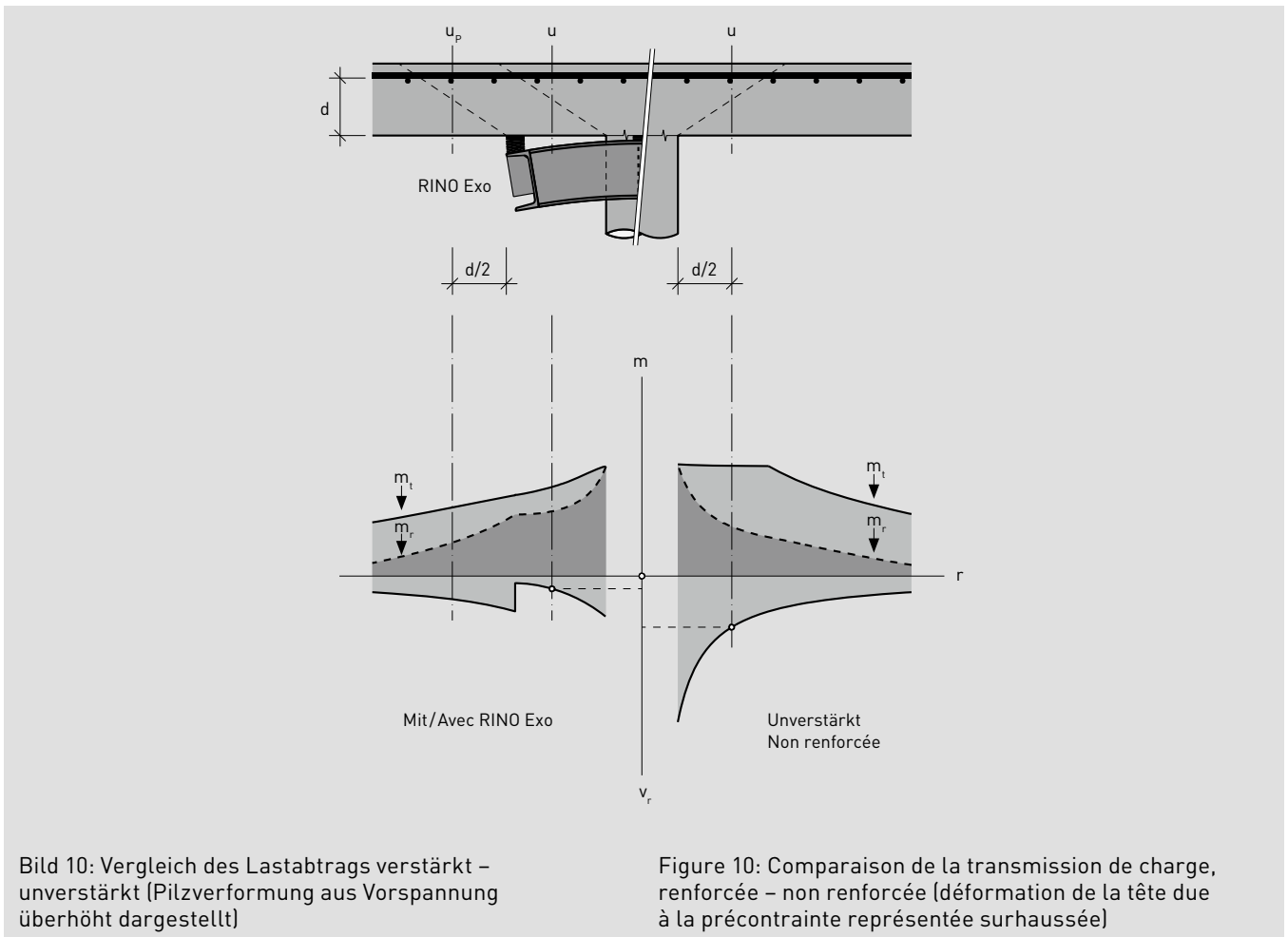
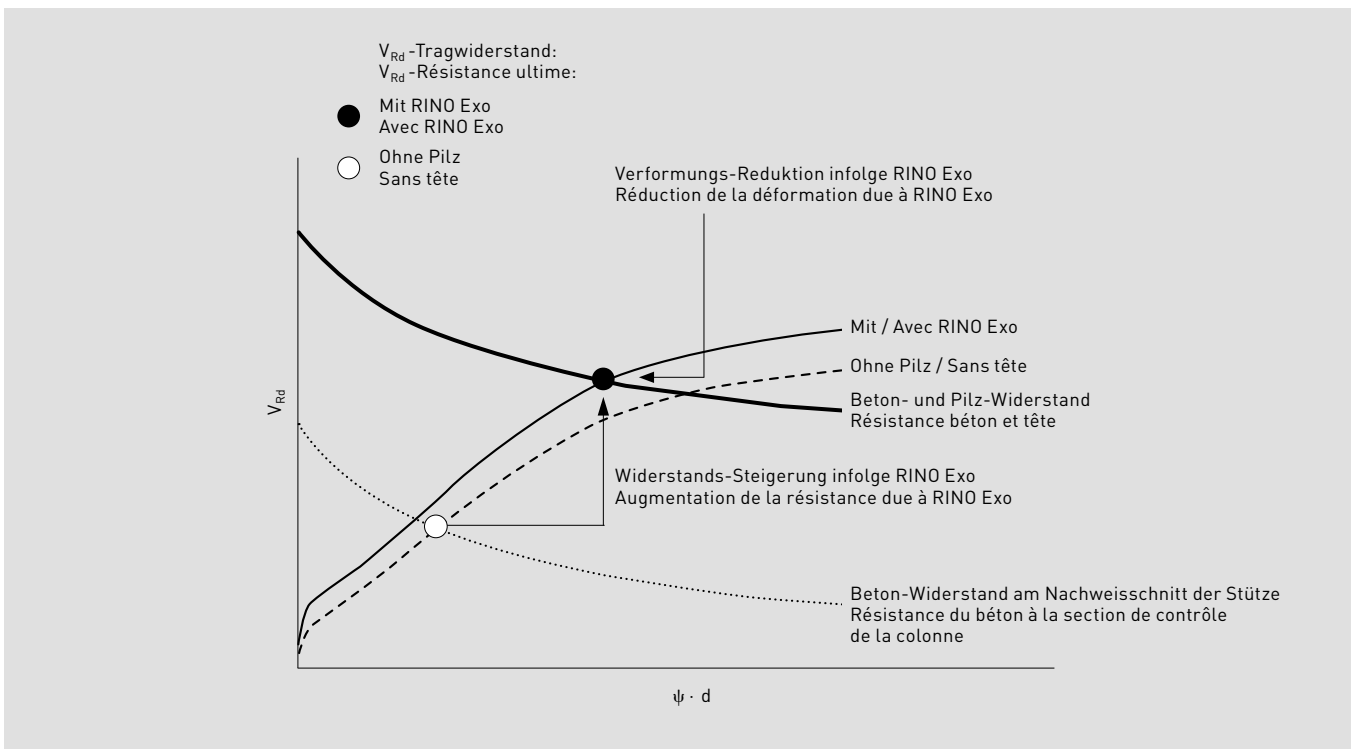


Bild 10 zeigt oben in der linken Bildhälfte eine mit RINO Exo verstärkte und in der rechten Bildhälfte eine unverstärkte Decke und unten die Schnittkräfte bei gleicher Belastung. Im Schnitt der Futterung wird Kraft von der Decke auf den RINO Exo übertragen. Das führt – im Gegensatz zur unverstärkten Decke – zu einer reduzierten Querkraftbeanspruchung,  $v_r$ , innerhalb des Futterungsbereiches. Dadurch werden die radialen Momente,  $m_r$ , etwas grösser und die tangentialen Momente,  $m_t$ , kleiner.

La figure 10 montre en haut, dans sa moitié gauche, une dalle renforcée avec RINO Exo, dans sa moitié droite, une dalle non renforcée, et en bas les efforts intérieurs, avec une même charge. Dans la section des cales, la force est transmise de la dalle sur la tête RINO Exo. Cela entraîne – contrairement à une dalle non renforcée – une sollicitation d'effort tranchant réduite,  $v_r$ , à l'intérieur de la zone de calage. Les moments radiaux,  $m_r$ , s'en trouvent un peu augmentés, et les moments tangentiels,  $m_t$ , diminués.



Infolge der reduzierten tangentialen Momente,  $m_t$ , wird die Verformung der Stahlbetonplatte reduziert. Gleichzeitig kann im inneren Nachweisschnitt,  $u$ , der aufgebaute Pilz-widerstand zum Widerstand der Decke addiert werden. Insgesamt nimmt dadurch der Widerstand,  $V_{Rd}$ , und auch die Verformung beim Bruch deutlich zu, vgl. Bild 11.

Die erforderliche Vorspannkraft des RINO Exo wird unter Berücksichtigung der ständigen Lasten, der Vorverformung aus Entlastung und dem Bemessungswert der Durchstanzlast festgelegt. Bei sehr hohen Vorspanngraden können einzelne tragende Bauteile des Pilzes, wie Stegbleche oder Randträger, in die Nähe der Fließgrenze beansprucht werden. Beim lastbedingten Kraftzuwachs werden die überproportionalen Verformungszunahmen der teilweise plastifizierten Bereiche in Anlehnung an [16] bestimmt, siehe Bild 12. Die Last-Verformungs-Kurve ist in die drei Regimes «linear-elastisch», «elastisch-plastisch» und «ideal-plastisch» unterteilt. Die Regimewechsel sind in Bild 12 durch schwarze Kreise gekennzeichnet. Zusätzlich wird die Interaktion mit der Querkraft berücksichtigt.

La réduction des moments tangentiels,  $m_t$ , réduit la déformation de la dalle en béton armé. La résistance de la tête engendrée peut en même temps être ajoutée à la résistance de la dalle dans la section de contrôle intérieure,  $u$ . La résistance,  $V_{Rd}$ , et également la déformation à la rupture s'en trouvent au total nettement augmentées, voir figure 11.

La force de précontrainte nécessaire de RINO Exo est fixée en tenant compte des charges permanentes, de la prédéformation due au déchargement et de la valeur de dimensionnement de la charge de poinçonnement. Avec des degrés de précontrainte très élevés, des éléments structuraux porteurs composant la tête, tels qu'âmes ou profilés de bord, peuvent être soumis à une sollicitation approchant la limite d'écoulement. En cas de surcroît de la force dû à la charge, les augmentations de la déformation surproportionnelles des zones partiellement plastifiées sont déterminées suivant l'exemple de [16], voir figure 12. La courbe charge/déformation est subdivisée en trois régimes, «linéaire élastique», «élastique plastique» et «idéal plastique». Les changements de régime sont indiqués à la figure 12 par des cercles noirs. L'interaction avec l'effort tranchant est en outre prise en considération.

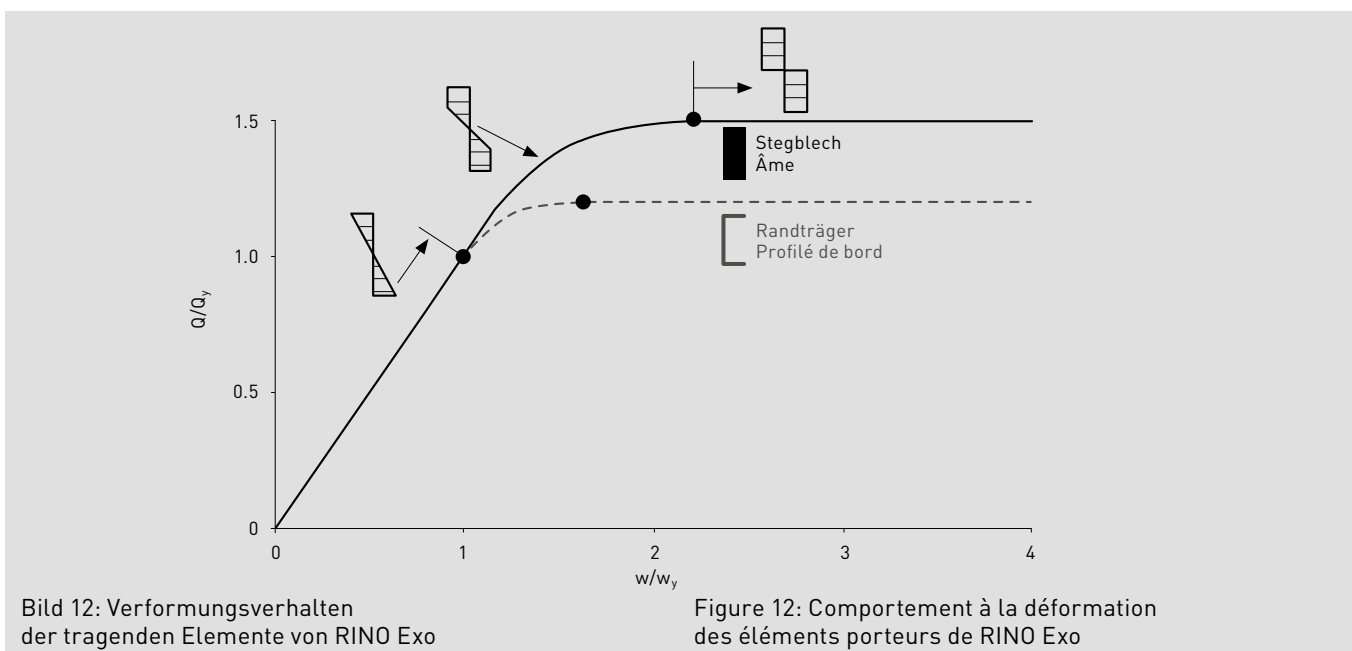


Bild 12: Verformungsverhalten der tragenden Elemente von RINO Exo

Figure 12: Comportement à la déformation des éléments porteurs de RINO Exo

## 3.5 Bemessung

### 3.5.1 Einführung

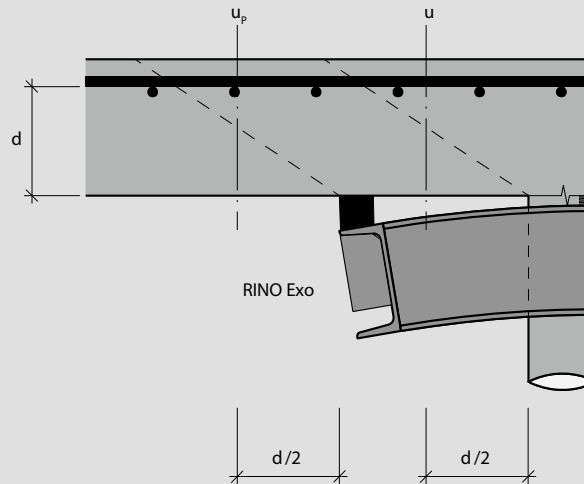


Bild 13: Nachweisschnitte

## 3.5 Dimensionnement

### 3.5.1 Introduction

Figure 13: Sections de contrôle

Die Erkenntnisse der Versuchsauswertung der RINO Exo Versuche wurden in das für die DURA Durchstanzbewehrung entwickelte Bemessungskonzept für durchstanzgefährdete Flachdecken, Boden- und Brückenplatten der Firma F.J. Aschwanden AG eingearbeitet. Folgende Erkenntnisse wurden gewonnen:

- Der punktuellen Kraftübertragung vom Beton in den Pilz ist Rechnung zu tragen,
- die Pilzvorspannung auf das Niveau der ständigen Last ist zur Erreichung eines optimierten Tragwiderstands zwingend erforderlich,
- die Pilzvorspannung verhindert Schlupfverformungen zwischen Pilz und Decke, reduziert die Auswirkungen allfälliger kriechbedingter Entlastungsverluste oder Einbaungenauigkeiten und ergibt eine robuste Verstärkungsmassnahme,
- eine zuverlässige Methode zur Abschätzung der Last-Verformungs-Beziehung der zur verstärkenden Decke auf der Basis von aktualisierten Bauwerksdaten ist notwendig.

Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Versagensarten (Betonversagen, Stahlversagen) und Nachweisschnitte (innerhalb und ausserhalb des Exo Pilzes) können mit Hilfe des für RINO Exo erweiterten Bemessungskonzepts Durchstanzwiderstände,  $V_{Rd}$ , auf Bemessungsniveau gemäss Norm SIA 262 und – zum Vergleich mit den Versuchsergebnissen – Durchstanzwiderstände,  $V_{Rm}$ , auf Bruchniveau ermittelt werden.

Der Bemessungswert bei Betonversagen im Nachweisschnitt,  $u_p$ , ergibt sich gemäss [1] zu:

$$V_{Rd} = k_{st} \cdot k_r \cdot \tau_{cd} \cdot u_p \cdot d \quad (1)$$

Der Umfang des Nachweisschnitts,  $u_p$ , ergibt sich nach SIA 262 Ziffer 4.3.6. Dabei ist die gestützte Fläche durch die Auflagerpunkte, unterstützt durch krafteinleitende Rippen, definiert. Die geraden Strecken des Nachweisschnitts werden bis maximal  $3d$  angerechnet.

Der Beiwert  $k_r$  berücksichtigt die lokalen Verdrehungen bzw. Rissöffnungen im kritischen Bereich.

Der Beiwert  $k_{st}$  beträgt bei RINO Exo sowie bei DURA Pilzen ohne aussen anschliessende DURA Körbe 1.0. Für die Kombination DURA Pilz mit Korb beträgt  $k_{st} = 2.5$  [17].

Les connaissances acquises par l'analyse des essais RINO Exo ont été incorporées au concept de dimensionnement pour planchers-dalles, radiers et dalles de pont exposés au poinçonnement, mis au point par F.J. Aschwanden SA pour l'armature de poinçonnement DURA. Les connaissances suivantes ont été acquises:

- La transmission ponctuelle des forces du béton dans la tête doit être prise en compte,
- la précontrainte de la tête au niveau de la charge permanente est absolument nécessaire pour obtenir une résistance ultime optimisée,
- La précontrainte de la tête empêche les déformations de glissement entre tête et dalle, réduit les effets d'éventuels pertes de déchargement dues au fluage ou d'imprécisions de mise en place, et engendre un dispositif de renforcement robuste.
- une méthode fiable pour l'estimation du rapport charge/déformation de la dalle à renforcer, basée sur des données de l'ouvrage actualisées, est nécessaire.

En tenant compte des différents modes de ruine (ruine du béton, ruine de l'acier) et des sections de contrôle (à l'intérieur et à l'extérieur de la tête Exo), on peut, à l'aide du concept de dimensionnement élargi pour RINO Exo, calculer les résistances au poinçonnement,  $V_{Rd}$ , au niveau de dimensionnement selon norme SIA 262 et – pour comparer avec les résultats des essais – les résistances au poinçonnement,  $V_{Rm}$ , au niveau de rupture.

La valeur de calcul en cas de ruine du béton dans la section de contrôle,  $u_p$ , est donnée selon [1] par:

Le périmètre de la section de contrôle,  $u_p$ , est donné selon SIA 262, chiffre 4.3.6. La surface d'appui est en l'occurrence définie par les points de support, renforcés par des nervures introduisant les forces. Les segments droits de la section de contrôle sont pris en compte jusqu'à maximum  $3d$ .

Le coefficient  $k_r$  tient compte des rotations locales ou des ouvertures des fissures dans la zone critique.

Pour RINO Exo, comme pour les têtes DURA sans paniers DURA ajoutés à l'extérieur, le coefficient  $k_{st}$  est de 1.0. Pour la combinaison tête DURA avec panier, il est de 2.5 [17].

### 3.5.2 Verankerungslänge Biegebewehrung

Die Überprüfungspraxis zeigt, dass die Biegebewehrung im Stützenbereich häufig zu kurz verankert oder zu kurz gestossen ist. Dieser Nachteil kann sich – abhängig vom Verstärkungskonzept – verschärfen, wenn die gestützte Fläche noch weiter ins Feld verschoben wird oder der Momentenverlauf entsprechend beeinflusst wird. Versuch RINO-19 wurde mit einer ungenügenden Stosslänge von 1.50 m ausgeführt und mit einem RINO Exo verstärkt. Bei RINO-20 wurde, zusätzlich zum RINO Exo, RINO Flex (CFK-Lamellen) zur Ergänzung der fehlenden Verankerungslänge appliziert, siehe Bild 4. Beide Versuche wurden mit Vorverformung durchgeführt.

### 3.5.2 Longueur d'ancrage de l'armature de flexion

La pratique de vérification révèle que la longueur d'ancrage ou de recouvrement de l'armature de flexion est fréquemment trop courte dans la zone des colonnes. Ce désavantage peut s'aggraver – en fonction du concept de renforcement – si la surface d'appui est décalée encore plus dans le champ ou si l'allure des moments est influencée. L'essai RINO-19 a été effectué avec une longueur de recouvrement de 1.50 m insuffisante, et renforcé avec une tête RINO Exo. Pour RINO-20, on a appliqué, en plus de RINO Exo, des lamelles de carbone RINO Flex pour prolonger la longueur d'ancrage trop courte, voir figure 4. Les deux essais ont été effectués avec prédéformation.

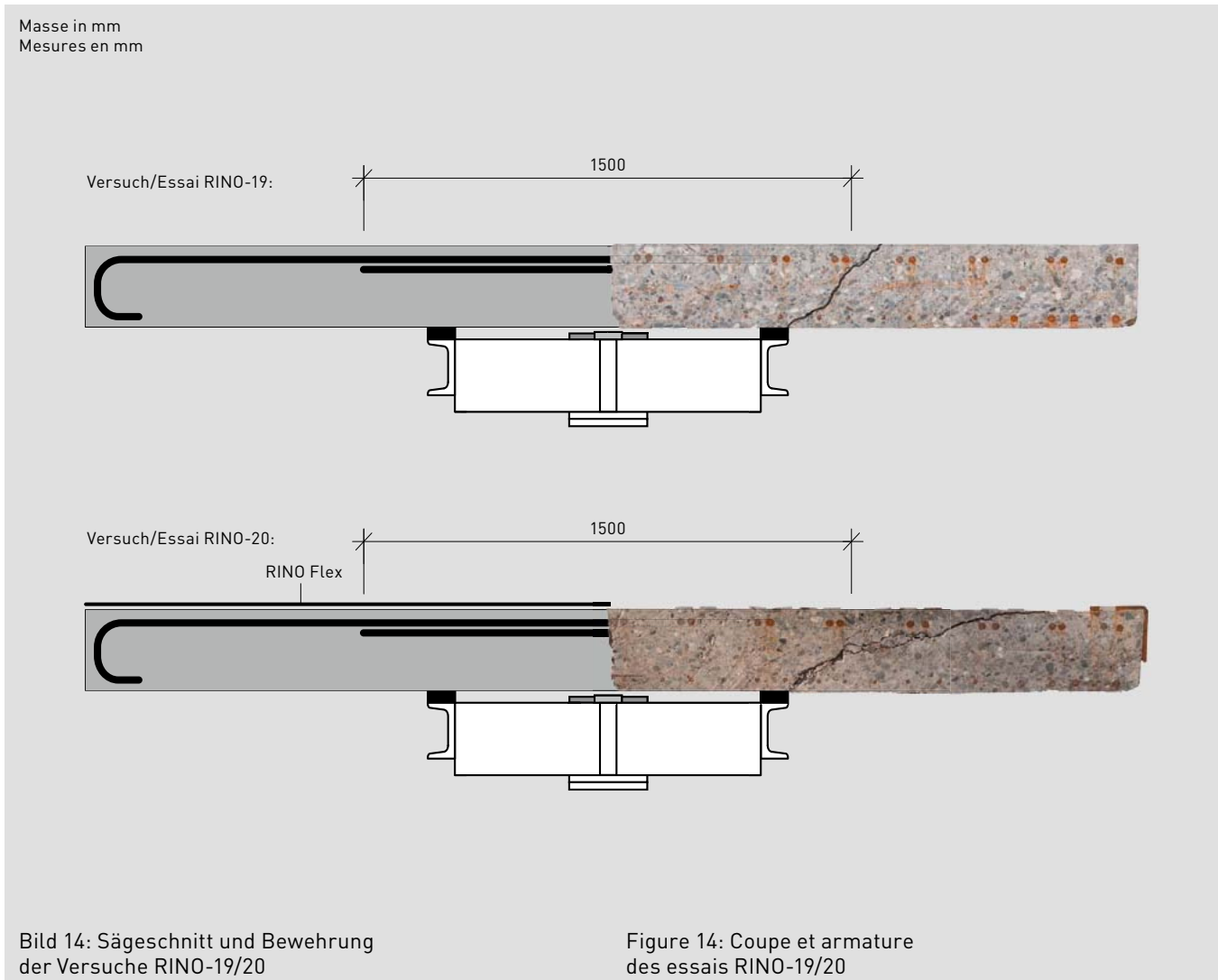


Bild 14: Sägeschnitt und Bewehrung der Versuche RINO-19/20

Figure 14: Coupe et armature des essais RINO-19/20

Bild 14 zeigt die Sägeschnitte der beiden Versuchskörper RINO-19 und RINO-20 auf der rechten Seite und die schematischen Bewehrungsbilder auf der linken Seite. Der Hauptschubriss beim Versuch RINO-19 läuft vom Futterplättchen am Pilzrand zum Stabende des Übergreifungsstosses an die Plattenoberfläche. Demgegenüber verläuft der Riss beim Versuch RINO-20 wesentlich flacher und aktiviert damit deutlich mehr Widerstand.

Während RINO-19 bereits bei einer Belastung von 1540 kN versagte, konnte die Bruchlast von RINO-20 (verstärkt mit RINO Flex) auf 1954 kN gesteigert werden. Trotz deutlich geringerer Betondruckfestigkeit (vgl. Tabelle 1) konnte der Bruchwiderstand von RINO-10 beinahe erreicht werden. Die zu knappe Verankerung der Biegebewehrung im Stützenbereich konnte mit RINO Flex wirksam verlängert werden.

La figure 14 montre les coupes des deux éprouvettes RINO-19 et RINO-20 à droite et les images schématiques de l'armature à gauche. Avec l'essai RINO-19, la principale fissure de cisaillement va de la plaquette de calage au bord de la tête à l'extrémité de la barre du joint à recouvrement à la surface de la dalle. Avec l'essai RINO-20, le trajet de la fissure est par contre beaucoup plus plat, activant ainsi nettement davantage de résistance.

Alors que RINO-19 a atteint l'état de ruine avec une charge de 1540 kN déjà, la charge de rupture de RINO-20 (renforcé avec RINO Flex) a pu être augmentée à 1954 kN. Malgré une résistance à la compression du béton nettement plus faible (voir tableau 1), la résistance à la rupture de RINO-10 a presque pu être atteinte. L'ancrage trop court de l'armature de flexion dans la zone des colonnes a pu être rallongé efficacement avec RINO Flex.

## 4. Vergleich mit Versuchen

### 4.1 Vergleich mit Betonbruchkriterium

Die Durchstanzwiderstände,  $V_{R,m}$ , auf Bruchniveau werden mit den aus den Versuchen bestimmten Mittelwerten der Materialeigenschaften des Betons, der Bewehrung und des Baustahls [3, 7–12] berechnet. Die eingesetzte Schubspannung wird in Anlehnung an [1] berücksichtigt, mit:

$$\tau_{cm} = 0.3 \sqrt{f_{cm}} \quad (2)$$

Bild 15 zeigt die Ergebnisse der Durchstanzversuche [3–5] im Vergleich mit dem Verlauf der Beiwerte  $k_{rm}$

$$k_{rm} = \frac{1}{0.4 + 0.125 \cdot \psi \cdot d \cdot k_{Dmax}} \quad (3)$$

und  $k_r$  (Bemessungswert des Beiwertes, gem. [17, 18]).

$$k_r = \frac{1}{0.45 + 0.1875 \cdot \psi \cdot d \cdot k_{Dmax}} \quad (4)$$

Die experimentell ermittelten Bruchlasten,  $V_{R,exp}$ , und Plattenverdrehungen,  $\psi_{R,exp}$ , beim Erreichen der Bruchlast sind, normiert

$$\frac{V_{R,exp}}{k_{st} \cdot u_{eff} \cdot d_{eff} \cdot \tau_{c,exp}} = k_{r,exp} \quad \text{mit/avec} \quad \tau_{c,exp} = 0.3 \sqrt{f_{c,exp}}$$

bzw. skaliert,

et converties,

$$\psi_{R,exp} \cdot d_{eff} \cdot k_{Dmax}$$

als Datenpunkte dargestellt.

représentées sous forme de points de données.

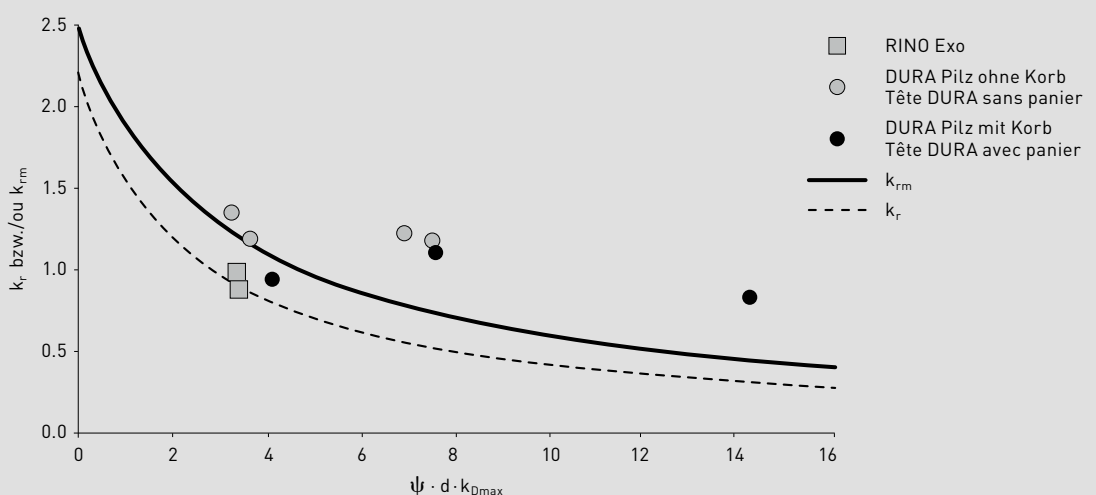


Bild 15: Vergleich der Beiwerte  $k_r$  und  $k_{rm}$  mit Versuchsergebnissen

Figure 15: Comparaison des coefficients  $k_r$  et  $k_{rm}$  avec les résultats des essais

Die Ergebnisse der RINO Exo Versuche sind vergleichbar mit den Versuchsergebnissen von DURA Pilzen ohne aussen anschließende DURA Körbe. Die etwas tieferen normierten Bruchlasten von RINO Exo sind u.a. durch die Vorverformung der Platten vor der Verstärkung mit RINO Exo bedingt, siehe Abschnitt 3.3, Bild 7.

Les résultats des essais avec RINO Exo sont comparables à ceux des essais avec têtes DURA sans paniers DURA ajoutés à l'extérieur. Les charges de rupture normalisées un peu plus basses de RINO Exo sont dues, entre autres, à la pré-déformation des dalles avant le renforcement avec RINO Exo, voir chapitre 3.3, figure 7.

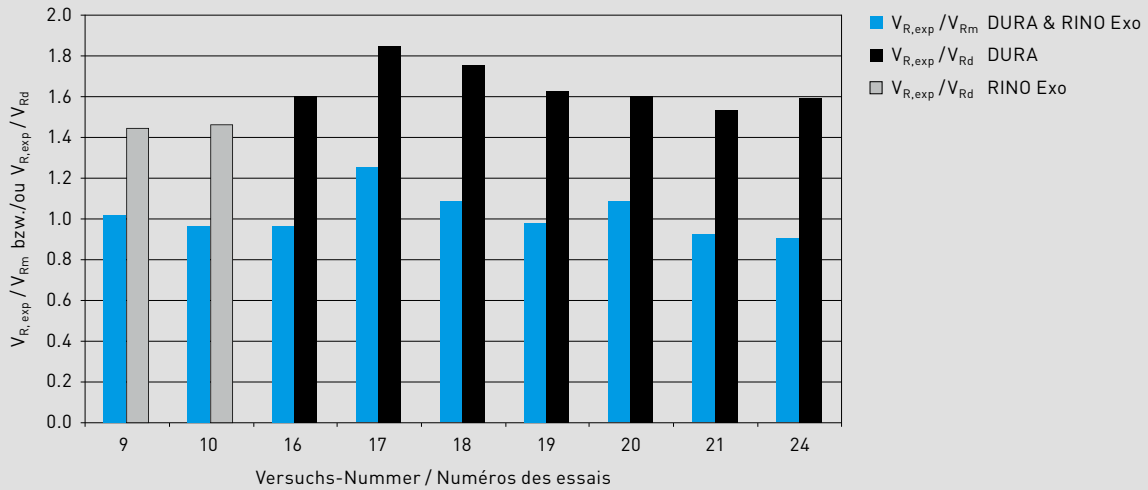


Bild 16: Vergleich der experimentellen Bruchlasten mit den rechnerischen Bruchlasten bzw. Bemessungswerten

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

Aus Bild 16 ist ersichtlich, dass die experimentellen Bruchlasten,  $V_{R,exp}$ , im Mittel 2.1% über den rechnerischen Bruchlasten,  $V_{Rm}$ , liegen. Der Variationskoeffizient ist mit 10.5% sehr gering und zeigt, dass das Bemessungskonzept für beide Pilztypen eine gute Übereinstimmung mit den Versuchen liefert.

Il ressort de la figure 16 que les charges de rupture expérimentales,  $V_{R,exp}$ , sont en moyenne de 2.1% plus élevées que les charges de rupture théoriques,  $V_{Rm}$ . Avec 10.5%, le coefficient de variation est très faible, et montre que le concept de dimensionnement pour les deux types de tête donne une bonne concordance avec les essais.

Tabelle 2: Zusammenstellung der Ergebnisse

Tableau 2: Récapitulation des résultats

	RINO Exo + DURA $V_{R,exp}/V_{Rm}$	RINO Exo $V_{R,exp}/V_{Rd}$	DURA (ohne Korb / sans panier) $V_{R,exp}/V_{Rd}$
Mittelwert / Valeur moyenne	1.02	1.46	1.63
Standardabweichung / Écart standard	0.11		0.09
Variationskoeffizient [%] / Coefficient de variation [%]	10.5		5.6
Minimalwert / Valeur minimale	0.91	1.45	1.54

Im Mittel sind die experimentellen Bruchlasten,  $V_{R,exp}$ , der DURA Pilz (ohne Körbe) um den Faktor 1.63 und die der RINO Exo um den Faktor 1.46 höher als die Bemessungswerte,  $V_{Rd}$ . Der Faktor 1.46 lässt sich an folgendem Beispiel nachvollziehen:

Les charges de rupture expérimentales,  $V_{R,exp}$ , des têtes DURA (sans paniers) sont en moyenne plus élevées du facteur 1.63, et celles de RINO Exo du facteur 1.46, que les valeurs de calcul,  $V_{Rd}$ . Le facteur 1.46 peut être expliqué avec l'exemple suivant:

Flachdecke mit:

Plancher-dalle avec:

$$f_{cm} = 60 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \tau_{cm} = 0.3 \sqrt{f_{cm}} = 2.32 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ck} \approx f_{cm} - 8 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \tau_{cd} = \frac{0.3 \sqrt{f_{ck}}}{1.5} = 1.44 \text{ N/mm}^2$$

$$\psi \cdot d \cdot k_{Dmax} \approx 3.3 \rightarrow k_{rm} \approx 1.23; k_r \approx 0.94$$

Daraus resultiert ein Schubspannungsverhältnis von:

Il en résulte un rapport de la contrainte de cisaillement de

$$\frac{\tau_{cm} \cdot k_{rm}}{\tau_{cd} \cdot k_r} \approx 2.12$$



Stahlpilz mit:

Tête en acier avec:

$$f_{sm} = 390 \text{ N/mm}^2$$
$$f_{sk} \approx f_{sm} - 35 \text{ N/mm}^2 \rightarrow f_{sd} = \frac{f_{sk}}{1.05} = 338 \text{ N/mm}^2$$

Daraus resultiert ein Stahlspannungsverhältnis von:

et un rapport de la contrainte dans l'acier de

$$\frac{f_{sm}}{f_{sd}} \approx 1.15$$

Bei einer Aufteilung der Widerstände auf z.B. 70% Stahlpilz und 30% Flachdecke ergibt dies ein Verhältnis von:

En répartissant les résistances à par exemple 70% sur la tête en acier et 30% sur le plancher-dalle, cela donne un rapport de

$$\frac{V_{Rm}}{V_{Rd}} \approx 1.44$$

Das Bemessungskonzept für RINO Exo liefert somit Bemessungswerte mit einer ausreichend grossen Reserve zur Bruchlast und erfüllt die Anforderungen der Norm SIA 262.

Le concept de dimensionnement pour RINO Exo donne ainsi des valeurs de calcul avec une réserve suffisamment grande pour la charge de rupture, et il répond aux exigences de la norme SIA 262.

## 5. Beurteilung des Bemessungskonzepts für die RINO Exo Durchstanzverstärkung

Die Erkenntnisse aus den RINO Versuchen wurden im DURA Bemessungskonzept für durchstanzgefährdete Flachdecken, Boden- und Brückenplatten der F.J. Achswanden AG eingearbeitet. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Versagensarten (Betonversagen, Stahlversagen) und Nachweisschnitte (innerhalb und ausserhalb des Exo Pilzes) können mit Hilfe des für RINO Exo erweiterten Bemessungskonzepts Durchstanzwiderstände auf Bemessungsniveau,  $V_{Rd}$ , gemäss Norm SIA 262 ermittelt werden. Aus dem Vergleich der experimentellen Bruchlasten und den rechnerischen Durchstanzwiderständen lassen sich folgende Feststellungen ableiten:

1. Die Bemessung der RINO Exo Verstärkung kann auf der Grundlage des in diesem Gutachten beschriebenen Bemessungskonzepts mit einem Sicherheitsniveau realisiert werden, das mit dem der Norm SIA 262 für Flachdecken ohne Durchstanzbewehrung vergleichbar ist.
2. Das Bemessungskonzept ist mit dem Nachweisformat der Norm SIA 262 für Platten mit Durchstanzbewehrung kompatibel.
3. Allfällig zu knappe Verankerungen oder zu kurze Übergreifungsstösse der Biegebewehrung im Stützenbereich nach der Verstärkung mit RINO Exo können mit RINO Flex kompensiert werden.

## 5. Évaluation du concept de dimensionnement pour le renforcement au poinçonnement RINO Exo

Les connaissances acquises à partir des essais RINO ont été incorporées au concept de dimensionnement DURA de F.J. Achswanden SA pour les planchers-dalles, radiers et dalles de pont exposés au poinçonnement. En tenant compte des différents modes de ruine (ruine du béton, ruine de l'acier) et des différentes sections de contrôle (à l'extérieur et à l'intérieur de la tête Exo), il est possible, à l'aide du concept de dimensionnement élargi pour RINO Exo, de déterminer les résistances au poinçonnement au niveau du dimensionnement,  $V_{Rd}$ , selon norme SIA 262. La comparaison des charges de rupture expérimentales et des résistances au poinçonnement théoriques permet les constatations suivantes:

1. Le dimensionnement du renforcement RINO Exo peut être réalisé sur la base du concept de dimensionnement décrit dans cette expertise, avec un niveau de sécurité comparable à celui de la norme SIA 262 pour planchers-dalles sans armature de poinçonnement.
2. Le concept de dimensionnement est compatible avec le format de vérification de la norme SIA 262 pour dalles avec armature de poinçonnement.
3. Les éventuels ancrages ou recouvrements trop courts de l'armature de flexion dans la zone des colonnes peuvent être compensés avec RINO Flex, après le renforcement avec RINO Exo.

## 6. Literatur

- [1] Norm SIA 262 Betonbau, Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein, Zürich, 2013
- [2] fib Model Code 2010 Final Draft, fib Bulletin 65 & 66, Fédération Internationale du béton fib, Lausanne, 2012
- [3] EMPA-Bericht Nr. 56 417, «Durchstanzversuche an drei Flachdeckenausschnitten mit spezieller Schubbewehrung», Oktober 1987
- [4] Muttoni, A., Burdet, O., Clément, T., «Essais de poinçonnement symétrique sur dalles en béton armé avec armature et tête de poinçonnement de type DURA», Versuchsbericht, IS-BETON, EPF Lausanne, Juni 2008
- [5] EMPA-Bericht Nr. 452798-1a, «Durchstanzversuche an Platten mit externem Stahlpilz», Dezember 2010
- [6] EMPA-Bericht Nr. 460633/461456, «Durchstanzversuche an Platten mit externem Stahlpilz», November 2012
- [7] EMPA-Prüfbericht Nr. 445 544, «Betonstahlidentifikation und Zugversuch mit Dehnungsmessung nach Norm SIA 262:2003», April 2007
- [8] EMPA-Prüfbericht Nr. 446 1 71, «Betonstahlidentifikation und Zugversuch mit Dehnungsmessung nach Norm SIA 262:2003», Juni 2007
- [9] EMPA-Prüfbericht Nr. 446 1 72, «Betonstahlidentifikation und Zugversuch mit Dehnungsmessung nach Norm SIA 262:2003», Juli 2007
- [10] EMPA-Prüfbericht Nr. 446 1 73, «Betonstahlidentifikation und Zugversuch mit Dehnungsmessung nach Norm SIA 262:2003», Juli 2007
- [11] EMPA-Prüfbericht Nr. 448 364, «Überprüfung der mechanischen Eigenschaften an 16 Betonstahlproben, 4 Rundzugproben, 16 Flachzugproben», Februar 2008
- [12] EMPA-Prüfbericht Nr. 459 186, «Überprüfung der mechanischen Eigenschaften an 5 Betonstahlproben, 4 Rundzugproben, 16 Flachzugproben», Juni 2012
- [13] Norm SIA 263 Stahlbau, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2003
- [14] Alvarez, M., «Einfluss des Verbundverhaltens auf das Verformungsvermögen von Stahlbeton», IBK Bericht Nr. 236, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Juli 1998
- [15] Marti, P., Alvarez, M., Kaufmann, W., Sigrist, V., «Tragverhalten von Stahlbeton», Fortbildungskurs für Bauingenieure, IBK Bericht Nr. SP008, ETH Zürich, 1999
- [16] Marti, P., «Baustatik», Ernst&Sohn, 2012
- [17] Kenel, A., Oelhafen, U., «DURA Durchstanzbewehrung», Gutachten zur Bemessung mit DURA Durchstanzbewehrung, 2009
- [18] Guandalini, S., Muttoni, A., «Tragwerksanalyse und Beurteilung», Dokumentation SIA D 0226 Tragsicherheit von Einstellhallen, Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein, Zürich, 2008, p. 45–62

## 6. Bibliographie

- [1] Norme SIA 262 Construction en béton, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich, 2013
- [2] fib Model Code 2010 Final Draft, fib Bulletins 65 & 66, Fédération Internationale du béton fib, Lausanne, 2012
- [3] Rapport EMPA no 56 417, «Durchstanzversuche an drei Flachdeckenausschnitten mit spezieller Schubbewehrung», octobre 1987
- [4] Muttoni, A., Burdet, O., Clément, T., «Essais de poinçonnement symétrique sur dalles en béton armé avec armature et tête de poinçonnement de type DURA», rapport d'essai, IS-BETON, EPF Lausanne, juin 2008
- [5] Rapport EMPA no 452798-1a, «Durchstanzversuche an Platten mit externem Stahlpilz», décembre 2010
- [6] Rapport EMPA no 460633/461456, «Durchstanzversuche an Platten mit externem Stahlpilz», novembre 2012
- [7] Rapport d'essai EMPA no 445 544, «Betonstahlidentifikation und Zugversuch mit Dehnungsmessung nach Norm SIA 262:2003», avril 2007
- [8] Rapport d'essai EMPA no 446 1 71, «Betonstahlidentifikation und Zugversuch mit Dehnungsmessung nach Norm SIA 262:2003», juin 2007
- [9] Rapport d'essai EMPA no 446 1 72, «Betonstahlidentifikation und Zugversuch mit Dehnungsmessung nach Norm SIA 262:2003», juillet 2007
- [10] Rapport d'essai EMPA no 446 1 73, «Betonstahlidentifikation und Zugversuch mit Dehnungsmessung nach Norm SIA 262:2003», juillet 2007
- [11] Rapport d'essai EMPA no 448 364, «Überprüfung der mechanischen Eigenschaften an 16 Betonstahlproben, 4 Rundzugproben, 16 Flachzugproben», février 2008
- [12] Rapport d'essai EMPA no 459 186, «Überprüfung der mechanischen Eigenschaften an 5 Betonstahlproben, 4 Rundzugproben, 16 Flachzugproben», juin 2012
- [13] Norme SIA 263 Construction en acier, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich, 2003
- [14] Alvarez, M., «Einfluss des Verbundverhaltens auf das Verformungsvermögen von Stahlbeton», rapport IBK no 236, Institut de statique et de construction, EPF Zurich, juillet 1998
- [15] Marti, P., Alvarez, M., Kaufmann, W., Sigrist, V., «Tragverhalten von Stahlbeton», cours de perfectionnement pour ingénieurs civils, rapport IBK no SP008, EPF Zurich, 1999
- [16] Marti, P., «Baustatik», Ernst&Sohn, 2012
- [17] Kenel, A., Oelhafen, U., «Armature de poinçonnement DURA», expertise pour le dimensionnement avec armature de poinçonnement DURA, 2009
- [18] Guandalini, S., Muttoni, A., «Analyse structurale et évaluation», Documentation SIA D 0226 Sécurité structurale des parkings couverts, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich, 2008, p. 45–62

**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.

10.2013 Copyright © by  
F.J. Aschwanden AG CH-3250 Lyss Switzerland  
Phone 032 387 95 95 Fax 032 387 95 99  
E-Mail [info@aschwanden.com](mailto:info@aschwanden.com)  
[www.aschwanden.com](http://www.aschwanden.com)

EN ISO 9001 zertifiziert/certifié

# Aschwanden

