

# campus

# Leviat®

A CRH COMPANY

## Fachevent 2022 – Dokumentation

Trag- und Verformungsverhalten von  
Stahlbetonbauteilen



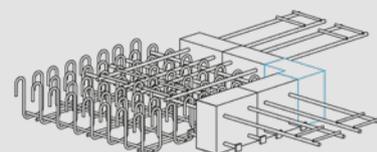
**Leviat**  
Projektmanager 10



**HALFEN**  
HDB Durchstanzbewehrung



**Ancon**  
Nichtrostende Bewehrung NIRO22



**Aschwanden**  
ARBO Kragplattenanschluss und  
DURA Durchstanzbewehrung

Schweiz

Ausgewählte Produktmarken:

**Ancon**

**Aschwanden**

  
**HALFEN**

## Wir sind Leviat.

### Inhalt

<b>Tragverhalten von HDB Durchstanzbewehrung und HSP Stahlpilzen</b> Referat Dr. Stefan Lips	<b>3 - 26</b>
<b>Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen mit nichtrostender Bewehrung NIRO22</b> Referat Prof. Dr. Albin Kenel	<b>27 - 42</b>
<b>Trag- und Verformungsverhalten eines Eckbalkons mit ARBO Kragplattenanschlüssen und DURA Durchstanzbewehrung</b> Referat Prof. Dr. Albin Kenel	<b>43 - 56</b>

### Wir sind bereit mit Ihnen unseren neuen Weg zu gehen.

Unser Unternehmen durchläuft spannende Veränderungen, die es uns ermöglichen, Ihnen ein verbessertes Produkt- und Dienstleistungsangebot zu bieten.

Leviat vereint das Fachwissen, die Fähigkeiten und Ressourcen von CRH Construction Accessories in einer einzigen globalen Organisation.

Führende vertraute Produktmarken der Industrie, darunter Ancon, Aschwanden, HALFEN und Plaka haben sich unter dem Namen Leviat zusammengeschlossen, um Sie besser unterstützen zu können.

Wir bauen auf unsere individuellen Stärken, damit wir flexibler auf Ihre Bedürfnisse eingehen können.

### Das können Sie erwarten:

Durch die Nutzung unserer globalen Engineering-Ressourcen und unserer Produktionsflächen können wir unsere Dienstleistungen vor Ort verbessern, indem wir flexibler und reaktionsfähiger werden.

Die Kombination unserer umfassenden technischen Expertise und Marktkenntnis sowie die Koordinierung all unserer Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten ermöglichen es uns, Innovationen schneller und effektiver voranzutreiben.

# Referat

Tragverhalten von HDB Durchstanzbewehrung  
und HSP Stahlpilzen



**Leviat**  
A CRH COMPANY

## Tragverhalten von HDB Durchstanzbewehrung und HSP Stahlpilzen

Leviat Campus Fachevent 2022

Dr. Stefan Lips

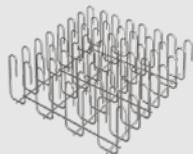
1 Leviat.com

Imagine. Model. Make.

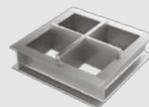
## Übersicht Durchstanzsysteme (Neubau)

**Leviat**  
A CRH COMPANY

**Aschwanden**



**HALFEN**



2 Leviat.com

Imagine. Model. Make.

# Tragverhalten von HDB Durchstanzbewehrung und HSP Stahlpilzen

## Übersicht Durchstanzversuche



Zwischen 1987 und 2022 wurden insgesamt **66** eigene grossmassstäbliche Durchstanzversuche durchgeführt.

Produktlinien	Element	Anzahl Versuche
Aschwanden DURA	Korb	14
Aschwanden DURA	S-Element	3
Aschwanden DURA	Kombination S-Element/Korb	3
Aschwanden DURA	Stahlpilz	4
Aschwanden DURA	Kombination Stahlpilz/Korb	3
Halfen HDB	Doppelkopfanker	10
Halfen HSP/HDB	Kombination Stahlpilz/Doppelkopfanker	4
Aschwanden RINO	Erhaltung von Stahlbetonplatten	25

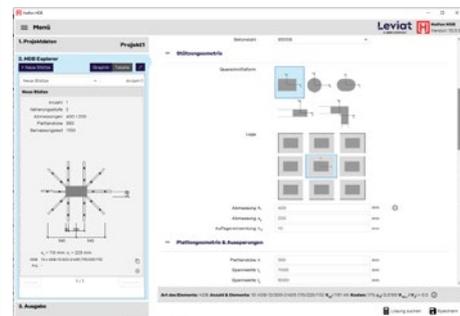
## Einleitung – Neuigkeiten



Technische Dokumentation

Gutachten

Bemessungsmodul



# Tragverhalten von HDB Durchstanzbewehrung und HSP Stahlpilzen

## Durchstanzversuche

5

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## Durchstanzversuche - HDB

Versuch	d [mm]	Ø Stütze [mm]	$\rho_{flex}$ [%]	$V_R$ [kN]
Z3	250	200	0.80	1616
Z4	250	200	0.80	1646
Z5	250	263	1.26	2024
Z6	250	200	1.26	1954
A1	145	179	0.87	693
A2	145	179	0.87	752
A3	144	179	1.55	831
B1	215	206	0.78	1339
B2	215	206	0.78	1365
Z7	355	400	0.62	3670

Referenzen [1 - 4]

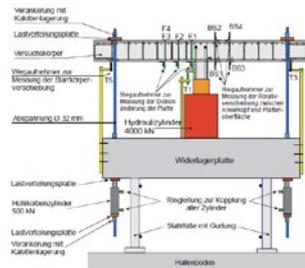
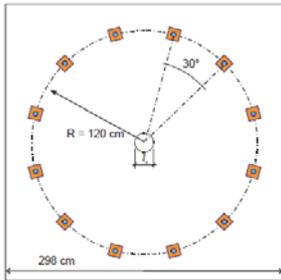
6

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

# Tragverhalten von HDB Durchstanzbewehrung und HSP Stahlpilzen

## Durchstanzversuche - HDB



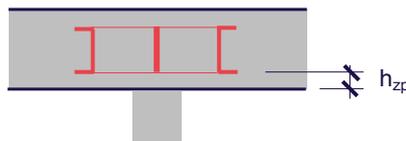
7 Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## Durchstanzversuche HDB/HSP Kombination



Versuch	d [mm]	a Stütze [mm]	$h_{zp}$ [mm]	$\rho_{flex}$ [%]	$V_R$ [kN]
HSP1	235	200	45	1.51	2547
HSP2	253	200	20	1.65	3394
HSP3	255	200	45	1.64	3580
HSP4	256	200	45	1.63	3656



Referenz [5]

8 Leviat.com

Imagine. Model. Make.

# Tragverhalten von HDB Durchstanzbewehrung und HSP Stahlpilzen

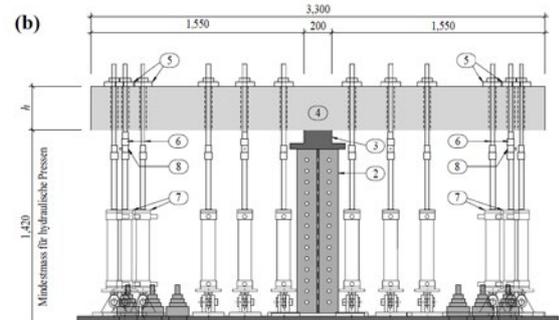
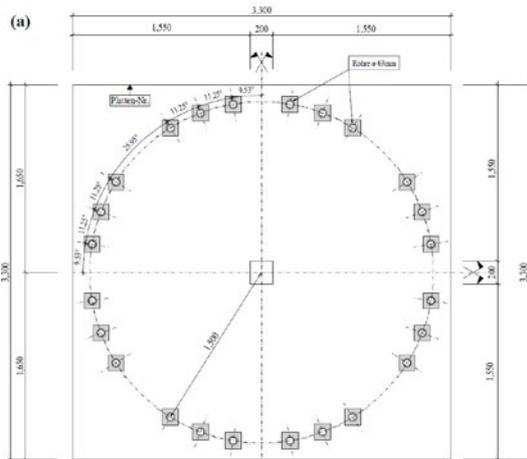
## Durchstanzversuche HDB/HSP Kombination



9 Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## Durchstanzversuche HDB/HSP Kombination

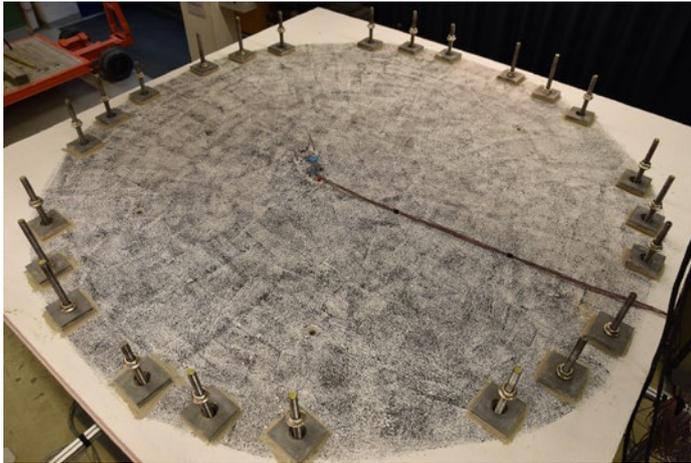


10 Leviat.com

Imagine. Model. Make.

# Tragverhalten von HDB Durchstanzbewehrung und HSP Stahlpilzen

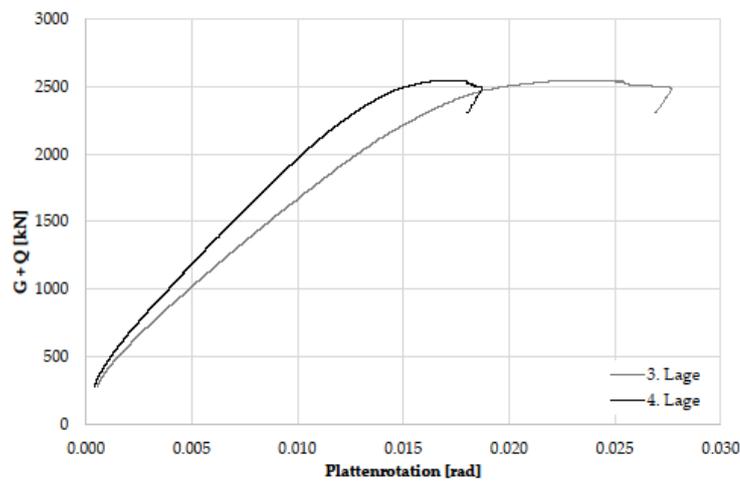
## Durchstanzversuche HDB/HSP Kombination



11 Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## Durchstanzversuche HDB/HSP Kombination

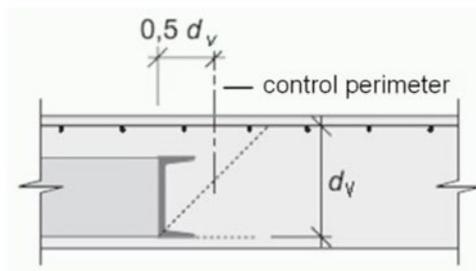
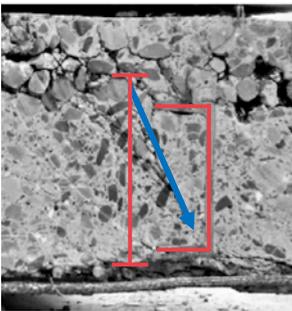
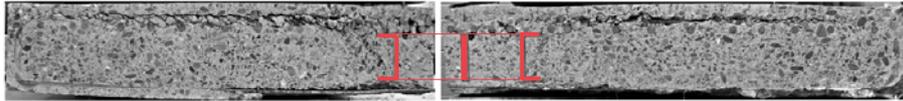


12 Leviat.com

Imagine. Model. Make.

# Tragverhalten von HDB Durchstanzbewehrung und HSP Stahlpilzen

## Durchstanzversuche HDB/HSP Kombination

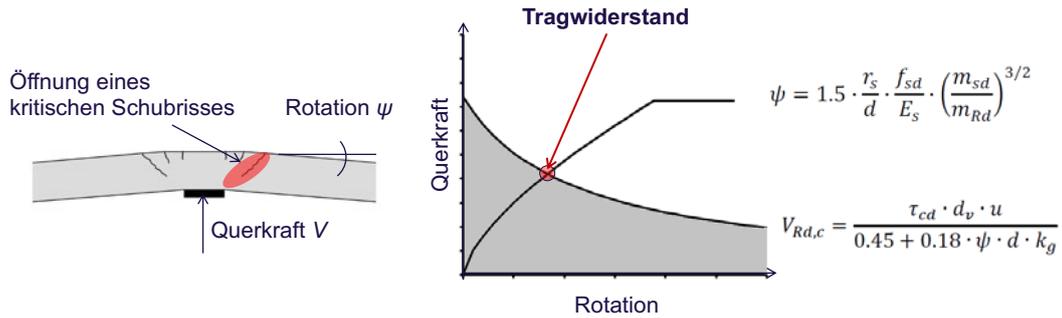


## Bemessung



# Tragverhalten von HDB Durchstanzbewehrung und HSP Stahlpilzen

## Grundlagen



Die Theorie des kritischen Schubrisses wurde an der Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne unter der Leitung von Prof. Dr. A. Muttoni entwickelt. [6, 7]

15

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## Grundlagen

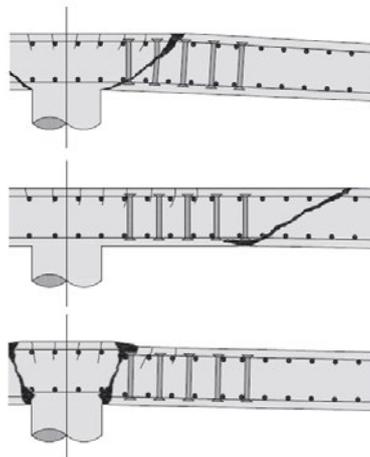


### Platten mit Durchstanzbewehrung

#### 3 Nachweise:

- Bruch im Bereich der Durchstanzbewehrung
- Bruch ausserhalb der Durchstanzbewehrung
- Bruch der Betondruckdiagonale

Aus Referenz [7, 8]



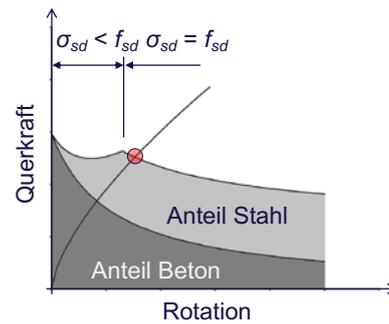
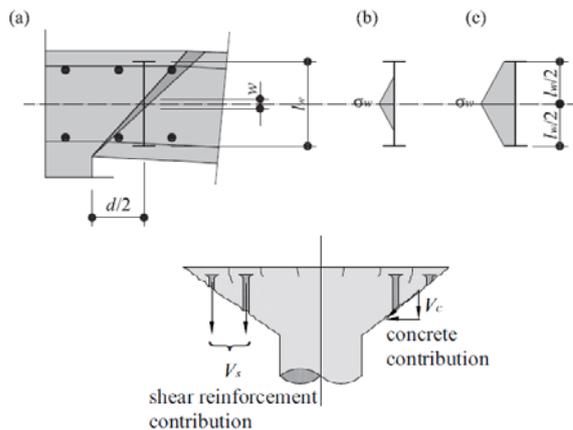
16

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

# Tragverhalten von HDB Durchstanzbewehrung und HSP Stahlpilzen

## Bruch im Bereich der Durchstanzbewehrung



Referenz [7, 8]

17

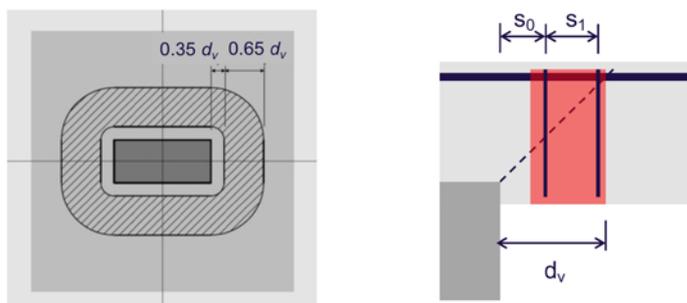
Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## Bruch im Bereich der Durchstanzbewehrung



Gemäss SIA 262:2013 [9] Ziffer 4.3.6.5.4:



18

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

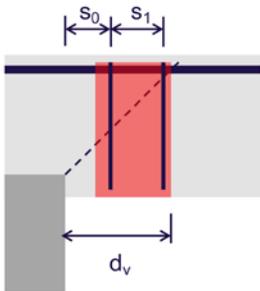
# Tragverhalten von HDB Durchstanzbewehrung und HSP Stahlpilzen

## Bruch im Bereich der Durchstanzbewehrung



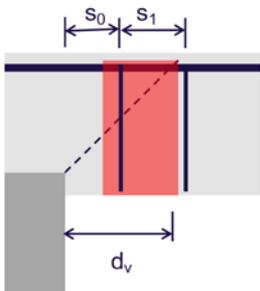
**Fall 1**

$s_0 + s_1 \leq d_v$



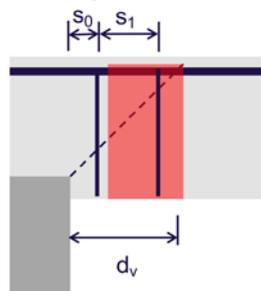
**Fall 2**

$s_0 + s_1 > d_v$



**Fall 3**

$s_0 < 0.35 d_v$



Falls mit genauer Anzahl Anker gerechnet wird, ist der Widerstandsanteil der Durchstanzbewehrung bei Fall 2 und 3 nur **halb so gross** wie bei Fall 1.

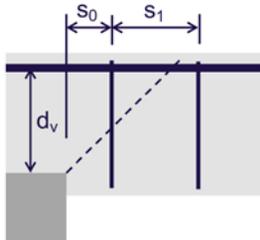
19
Leviat.com
Imagine. Model. Make.

## Bruch im Bereich der Durchstanzbewehrung



Die HDB Bemessung wird mit einer fiktiven Durchstanzbewehrungsfläche geführt. Dies ergibt eine grössere Sicherheit, um allenfalls Ungenauigkeiten beim Verlegen auszugleichen

$$A_{sw} = n_r \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \phi^2 \cdot \frac{d_v}{s_0 + 0.5s_1}$$



Dies ergibt etwas konservativere Resultate, führt aber zur baustellentauglichen Bemessung

20
Leviat.com
Imagine. Model. Make.

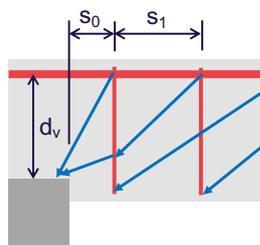
# Tragverhalten von HDB Durchstanzbewehrung und HSP Stahlpilzen

## Bruch im Bereich der Durchstanzbewehrung



Der Wert  $\frac{d_v}{s_0 + 0.5s_1}$  berücksichtigt die Lastabtragung der einzelnen Anker.

$$\frac{d_v}{s_0 + 0.5s_1} \approx 1.15 - 1.60$$

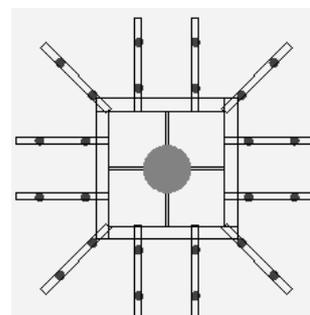
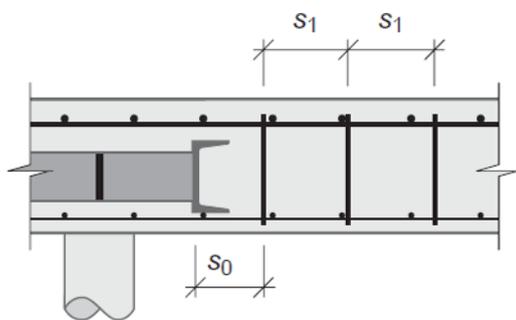


Ein Teil vom zweiten Anker wird vom 1. Anker aufgehängt und der Rest geht zur Stütze.

## Bruch im Bereich der Durchstanzbewehrung

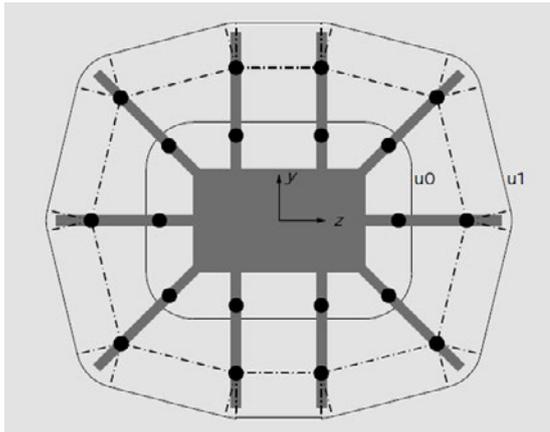


Gemäss SIA 262:2013 Figur 39:

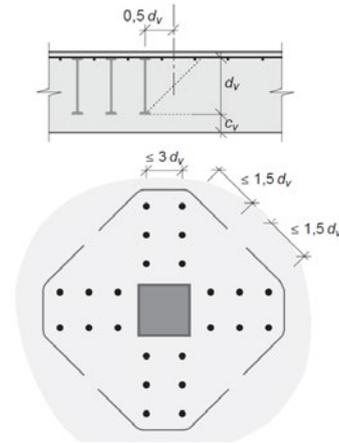


Abweichungen von dieser Anordnungen sind mit Versuchen zu bestätigen!

## Bruch ausserhalb der Durchstanzbewehrung



Gemäss SIA 262:2013 Figur 23:



23

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## Bruch der Betondruckdiagonale



$$V_{Rd,max} = k_{sys} \cdot V_{Rd,c} \leq 3,5 \cdot \tau_{cd} \cdot d_v \cdot u$$

$$V_{Rd,max} = k_{sys} \cdot \frac{\tau_{cd} \cdot d_v \cdot u}{0,45 + 0,18 \cdot \psi \cdot d \cdot k_g} \leq 3,5 \cdot \tau_{cd} \cdot d_v \cdot u$$

- Gemäss Norm SIA 262:2013 [9] gilt  $k_{sys} = 2.0$
- Faktor  $k_{sys}$  darf erhöht werden, wenn **experimentell** bestätigt wurde, dass ein vergleichbares Sicherheitsniveau wie im Bemessungsmodell für Platten ohne Durchstanzbewehrung erreicht wird. (Ziffer 4.3.6.5.8)
- Beim Einsatz von HDB Doppelkopfanker und HDB/HSB Doppelkopfanker/Stahlpilz Kombinationen kann  $k_{sys} = 3.0$  verwendet werden. Es sind jedoch die Verlegevorschriften einzuhalten.

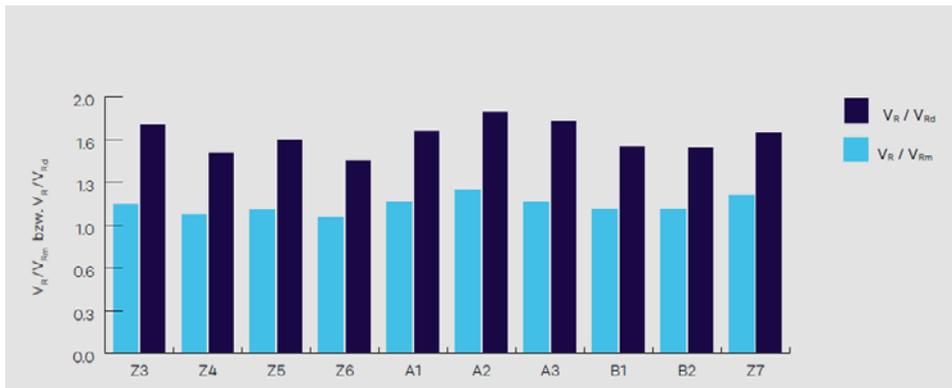
24

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

# Tragverhalten von HDB Durchstanzbewehrung und HSP Stahlpilzen

## Vergleichsrechnungen



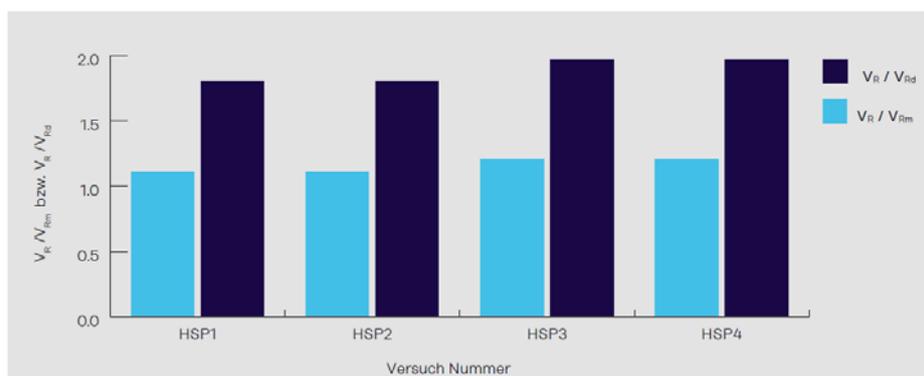
	$V_R / V_{Rm}$	$V_R / V_{Rd}$
Mittelwert	1.152	1.686
Variationskoeffizient	5.8 %	7.2 %

25

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## Vergleichsrechnungen



	$V_R / V_{Rm}$	$V_R / V_{Rd}$
Mittelwert	1.21	1.97
Variationskoeffizient	8.5 %	8.6 %

26

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## Konstruktive Durchbildung HDB



Der planmässige radiale Abstand zwischen dem ersten Anker und der Auflagerkante muss  $s_0 = 0.375 d_v$  betragen.

Der planmässige radiale Abstand zwischen dem zweiten Anker und der Auflagerkante darf nicht grösser als  $1.125 d_v$  sein.

Die Einbautoleranzen für die radiale Distanz zwischen Anker und der Auflagerkante betragen  $\Delta_{\text{stol}} = \pm 0.075 d_v$

27

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## Konstruktive Durchbildung HDB/HSP



Der planmässige radiale Abstand zwischen dem ersten Anker und der Stegachse des Randprofils sollte  $s_0 = 0.375 d_v$  betragen. Vereinfachend darf der Abstand  $s_0$  der Randprofilkante auf der Pilzinnenseite angenommen werden.

Ist der Abstand  $s_0$  zu gering, so dass es zu Konflikten zwischen den Randprofilen der Pilze und der Ankerköpfe kommt, dürfen die Ankerköpfe im Grundriss bündig mit der Flanschrand der Randprofile auf der Pilzaussenseite platziert werden.

Die Einbautoleranzen für die radiale Distanz zwischen Anker und der Stegachse des Randprofils bzw. Randprofilkante auf der Pilzinnenseite betragen  $\Delta_{\text{stol}} = \pm 0.075 d_v$

28

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

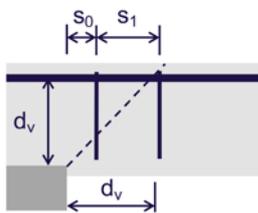
# Tragverhalten von HDB Durchstanzbewehrung und HSP Stahlpilzen

## Konstruktive Durchbildung



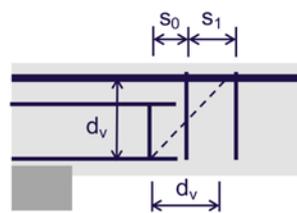
Halften HDB

$$s_0 = 0.375 d_v$$
$$s_0 + s_1 \leq 1.125 d_v$$



Halften HDB/HSP Kombination

$$s_0 = 0.375 d_v$$
$$s_0 + s_1 \leq 1.125 d_v$$



29

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

**Leviat**  
A CRH COMPANY

## Anwendung

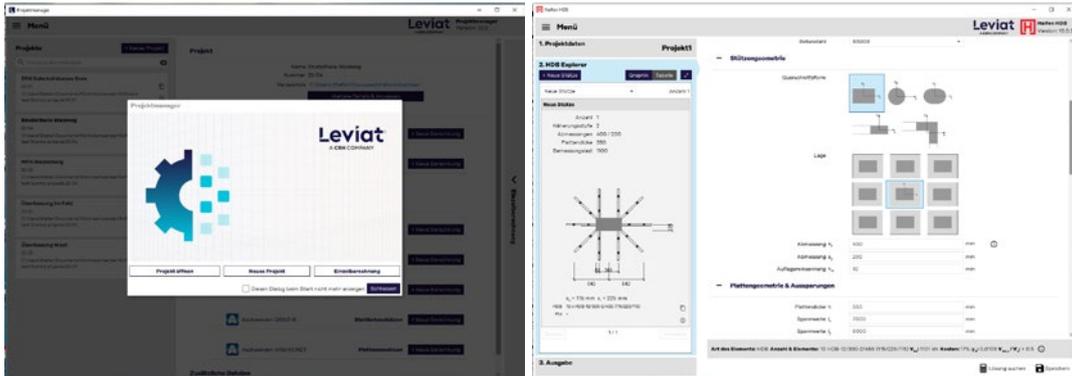
30

Leviat.com

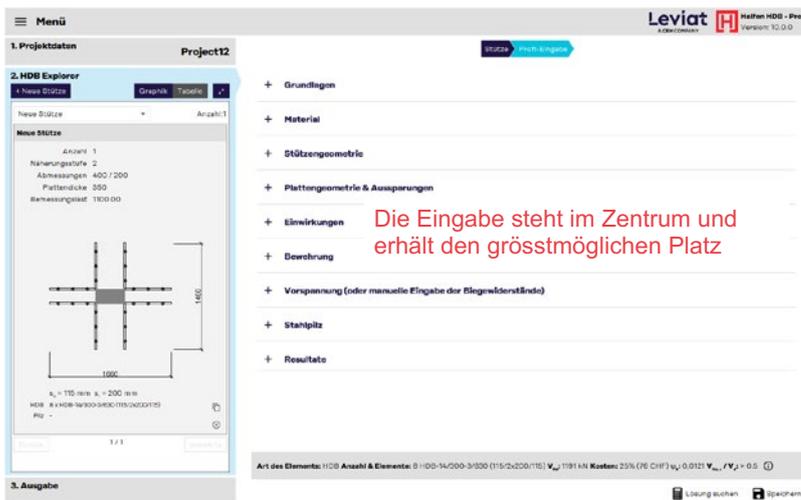
Imagine. Model. Make.

# Tragverhalten von HDB Durchstanzbewehrung und HSP Stahlpilzen

## Leviat Projektmanager V. 10.0



## Eingabeoberfläche



# Tragverhalten von HDB Durchstanzbewehrung und HSP Stahlpilzen

## Eingabeoberfläche

**Einwirkungen**

Durchstanzkraft  $V_{Ed}$   kN

Auflast und Nutzlast  $q_d$   kN/m<sup>2</sup>

Aufgezogene Verformungen vorhanden

$k_s$  mit Stützeinspannmomenten bestimmen

Exzentrizitätskoeffizient  $k_e$   ⓘ

Exzentrizität  $e_{ex}$  bei der Berechnung von  $m_{yk}$  berücksichtigen

**Bewehrung**

**Bewehrungsüberdeckung**

Ober  $c_{top,reqd}$   mm

Unten  $c_{bot,reqd}$   mm

**x-Richtung**

1. und 4. Lage  ⓘ

Durchmesser oben  $\phi$   mm ⓘ

Teilung oben  $s$   mm ⓘ

Durchmesser unten  $\phi$   mm ⓘ

Teilung unten  $s$   mm ⓘ

ⓘ - Button

33
Leviat.com
Imagine. Model. Make.

## Eingabeoberfläche - Eingabebehilfen

Hilfe ⓘ

Close

Bewehrungseingabe ⓘ

Lage	Durchschnittliche $\lambda_x$ [mm/mm]			Bewehrungshöhe [%]					
	75 mm	100 mm	150 mm	75 mm	100 mm	150 mm			
8 mm	870	903	1185	231	8 mm	2.211	0.168	0.108	0.079
10 mm	1047	1085	1424	280	10 mm	0.329	0.247	0.165	0.123
12 mm	1208	1251	1634	339	12 mm	0.474	0.356	0.237	0.173
14 mm	1363	1411	1814	400	14 mm	0.645	0.484	0.323	0.242
16 mm	1511	1564	2000	472	16 mm	0.843	0.632	0.422	0.316
18 mm	1653	1715	2194	554	18 mm	1.067	0.800	0.533	0.400
20 mm	1791	1862	2394	646	20 mm	1.317	0.988	0.639	0.494
22 mm	1925	2001	2604	748	22 mm	1.594	1.195	0.737	0.566
24 mm	2055	2159	2824	860	24 mm	2.004	1.470	1.119	0.835
26 mm	2181	2311	3054	982	26 mm	2.564	2.223	1.482	1.111
28 mm	2303	2469	3294	1114	28 mm	3.287	2.856	1.903	1.428
30 mm	2421	2631	3544	1256	30 mm	4.174	3.582	2.614	1.971

Hilfe ⓘ

Close

Hilfe ⓘ

Close

Hilfe ⓘ

**Hilfenlage von Pilz- und Auflager bei Innenstützen**

Close

34
Leviat.com
Imagine. Model. Make.

# Tragverhalten von HDB Durchstanzbewehrung und HSP Stahlpilzen

## Eingabeoberfläche - Zwischenresultate



Nachweisschnitt

Stützenabmessung	$a_x$	400.0 mm
	$a_y$	200.0 mm
Schubwirksame Höhe	$d$	301 mm
Leertexzentrität	$e_x$	-55 mm
	$e_y$	27 mm
Schwerpunkt Nachweisschnitt	$x_s$	-0 mm
	$y_s$	0 mm
Distanz eu	$e_u$	61 mm
Flächengleicher Durchmesser	$b$	651 mm
$k_s$ -Wert	$k_s$	0.91 [-]
Reduktionswert Aussparung	$k_{red}$	1.000 [-]
Umfang Nachweisschnitt ( $k_s \cdot k_{red} \cdot u_s$ )	$u$	1962 mm

Schliessen

35

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## Eingabeoberfläche - Zwischenresultate



Bewehrungsangaben

Stützstreifen	$b_s$	2139 mm
4. Lage	$\emptyset$	14.00 mm
	$s$	100 mm
	$d$	318 mm
	$m_{red}$	200 kNm/m
3. Lage	$\emptyset$	14.00 mm
	$s$	100 mm
	$d$	304 mm
	$m_{red}$	190 kNm/m
2. Lage	$\emptyset$	10.00 mm
	$s$	100 mm
	$d$	310 mm
	$m_{red}$	106 kNm/m
1. Lage	$\emptyset$	10.00 mm
	$s$	100 mm
	$d$	320 mm
	$m_{red}$	106 kNm/m

Schliessen

36

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

# Tragverhalten von HDB Durchstanzbewehrung und HSP Stahlpilzen



## Eingabeoberfläche - Zwischenresultate

**Hilfe** ✕

$U_{out} = 4258 \text{ mm}$   
 $A_{sw} = 1311 \text{ mm}^2$   
 $V_{Rd,cc} = 1390 \text{ kN}$   
 $V_{Rd,s} = 1105 \text{ kN}$   
 $V_{Rd,s} = 570 \text{ kN}$   
 $V_{Rd,out} = 1143 \text{ kN}$   
 $\Psi_{Rd,cc} = 0.015$   
 $\Psi_{Rd,s} = 0.010$   
 $\Psi_{Rd,out} = 0.011$

Schliessen

Alle diese Zwischenresultate ermöglichen das Nachvollziehen der Bemessung. Somit ist eine Plausibilitätskontrolle einfach durchführbar.

## Resultate



**Lösung 1**

Anzahl 1  
Näherungsstufe 2  
Abmessungen 400 / 200  
Plattendicke 350  
Bemessungslast 1100

$s_x = 115 \text{ mm}$   $s_y = 225 \text{ mm}$   
HDR 10 x HDB-12/905-2/125 (115/225/115)  
Pliz -

**Lösung 2**

Anzahl 1  
Näherungsstufe 2  
Abmessungen 400 / 200  
Plattendicke 350  
Bemessungslast 1100

$s_x = 115 \text{ mm}$   $s_y = 225 \text{ mm}$   
HDR 10 x HDB-14/905-2/125 (115/225/115)  
Pliz -

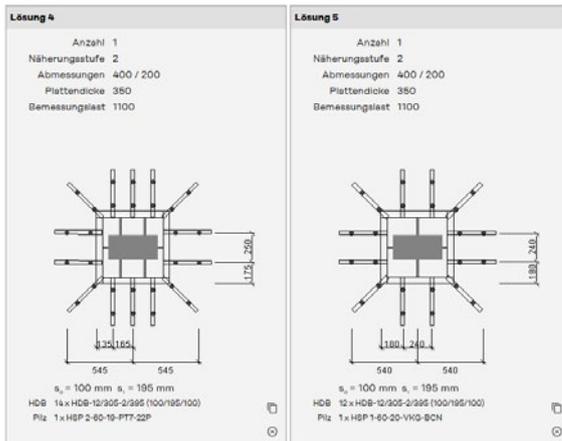
**Lösung 3**

Anzahl 1  
Näherungsstufe 2  
Abmessungen 400 / 200  
Plattendicke 350  
Bemessungslast 1100

$s_x = 115 \text{ mm}$   $s_y = 200 \text{ mm}$   
HDR 8 x HDB-14/905-3/130 (115/240/115)  
Pliz -

# Tragverhalten von HDB Durchstanzbewehrung und HSP Stahlpilzen

## Resultate



39

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## HDB Ankeranordnungen



Die Anker werden immer gleichmässig, um die Stütze verteilt auch bei Plattenrändern und Aussparung, da die Querkraft auch in diesen Bereichen wirkt.

Dies führt auch dazu, dass ein fließender Übergang z.B. von Innen- zu Randstützen geschieht.

40

Leviat.com

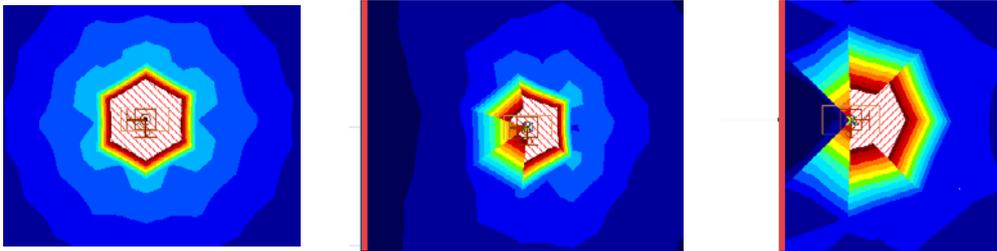
Imagine. Model. Make.

# Tragverhalten von HDB Durchstanzbewehrung und HSP Stahlpilzen

## HDB Ankeranordnungen



Querkraftverlauf bei Plattenränder (Linear-elastisch modelliert)



## HDB Ankeranordnungen



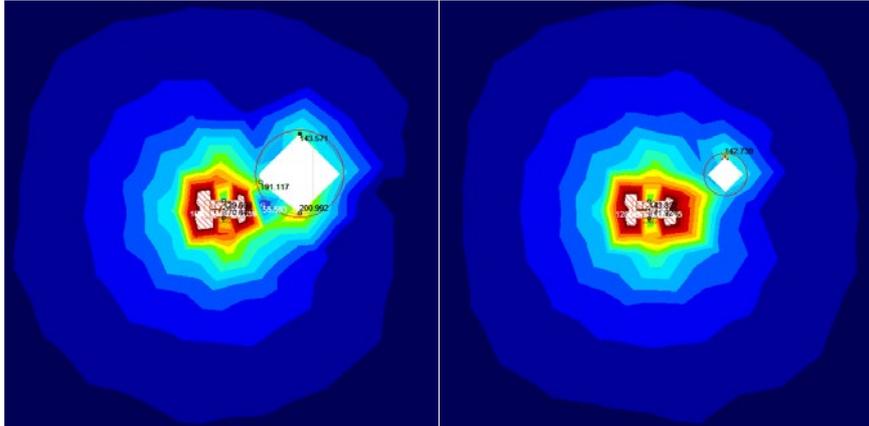
Innenstütze	Rand weit	Rand mittel	Rand nah
Anzahl 1 Näherungsstufe 2 Abmessungen 400 / 200 Plattendicke 350 Bemessungslast 1300	Anzahl 1 Näherungsstufe 2 Abmessungen 400 / 200 Plattendicke 350 Bemessungslast 800	Anzahl 1 Näherungsstufe 2 Abmessungen 400 / 200 Plattendicke 350 Bemessungslast 800	Anzahl 1 Näherungsstufe 2 Abmessungen 400 / 200 Plattendicke 350 Bemessungslast 600
$s_x = 115 \text{ mm } s_y = 225 \text{ mm}$ HDB 12 x HDB-14/300-3/680 (115/2x225/115) Plz -	$s_x = 115 \text{ mm } s_y = 220 \text{ mm}$ HDB 10 x HDB-12/300-3/670 (115/2x220/115) Plz -	$s_x = 115 \text{ mm } s_y = 175 \text{ mm}$ 5 x HDB-14/300-5/990 (115/4x175/115) HDB 2 x HDB-14/300-2/405 (115/175/115) 1 x HDB-14/300-2/220 (115/175/30) Plz -	$s_x = 115 \text{ mm } s_y = 220 \text{ mm}$ HDB 5 x HDB-16/300-4/800 (115/3x220/115) Plz -

# Tragverhalten von HDB Durchstanzbewehrung und HSP Stahlpilzen

## HDB Ankeranordnungen



Querkraftverlauf bei Aussparungen (Linear-elastisch modelliert)

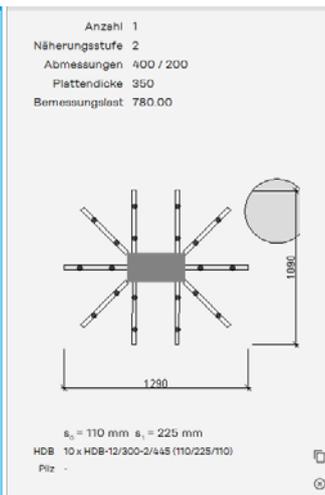
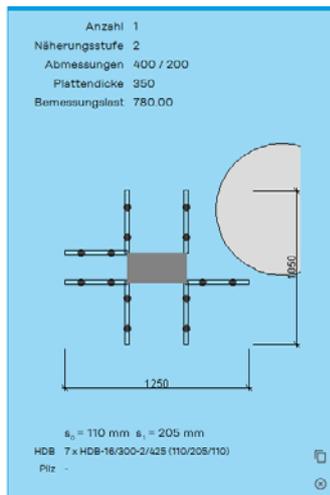


43

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## HDB Ankeranordnungen



44

Leviat.com

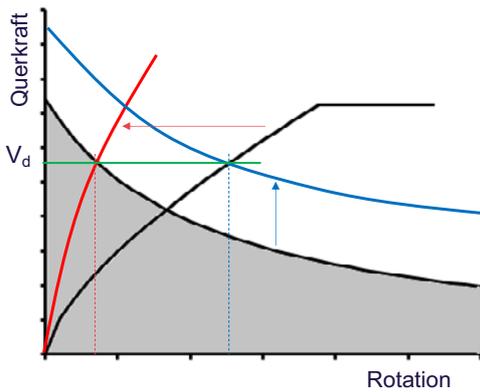
Imagine. Model. Make.

# Tragverhalten von HDB Durchstanzbewehrung und HSP Stahlpilzen

## Zusatzanmerkung: Biegebewehrung



Weshalb schlägt das HDB (und DURA) Bemessungsmodul keine Erhöhung der Biegebewehrung zur Steigerung des Durchstanzwiderstandes vor?



Die Steigerung des Durchstanzwiderstandes sollte anhand der «Verschiebung» des Bruchkriterium erreicht werden und nicht rein durch die Versteifung bzw. «Versprödung» der Last-Verformungsbeziehung.

Um das Bruchkriterium zu verschieben sind folgende Parameter relevant:

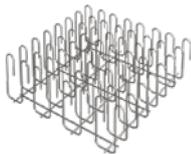
- Umfang Nachweisschnitt
- Schubwirksame statische Höhe
- Betonfestigkeit
- $k_e$ -Wert

45

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## Systemwahl



Vorteile:

- Grosser Toleranzbereich beim Verlegen
- Vorteile bei dicken Platten



Vorteile:

- Dank der steifen Verankerung grössere Durchstanzwiderstände möglich (Betondruckdiagonale)
- Vorteile bei sehr dünnen Platten

46

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

# Tragverhalten von HDB Durchstanzbewehrung und HSP Stahlpilzen

## Zusammenfassung



- Leviat hat ein einzigartiges Sortiment an Durchstanzbewehrungssystemen.
- Alle Durchstanzsysteme wurden einzeln und in Kombination experimentell geprüft und die verwendeten Bemessungsansätze validiert.
- Die Bemessungsansätze ermöglichen eine verlässliche Anwendung der Durchstanzsysteme auf der Baustelle, sodass die Ausführung mit der Bemessung übereinstimmt.

## Literatur



- [1] Ricker M, Auswertung von HDB Doppelkopfanke nach SIA 262:2013, Gutachten, Biberach, 2022
- [2] Hegger, J.; Beutel, R.; Goralski, C.; Bertram, G., «Versuchsbericht zum Durchstanzen mit Halfen HDB-N Ankern als Durchstanzbewehrung im Bereich von Innenstützen, Versuche Z1 bis Z6.» Versuchsbericht 64/2000, Lehrstuhl und Institut für Massivbau, RWTH Aachen, 2001
- [3] Hahnenkamp, W. und Niemann, H.-J., «Experimentelle Untersuchungen zum Tragverhalten von Durchstanzbewehrungen Halfen Typ HDB II. Bericht Nr.: A – 20/96-1», Ruhr Universität Bochum, Konstruktiver Ingenieurbau, Bereich Konstruktionsteilprüfungen, 1996
- [4] Hegger, J.; Siburg, C., «Versuchsbericht zum Durchstanzen mit glatten HDB-Ankern aus S355.» Versuchsbericht 219/2008, Lehrstuhl und Institut für Massivbau, RWTH Aachen, 2008.
- [5] Kenel, A., Rohrer, M., «Durchstanzversuche an Platten mit Halfen HDB Doppelkopfanke und HSP Stahlpilzen», Versuchsbericht, Hochschule Luzern, Technik und Architektur, 2022
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Lips, S., «Punching of Flat Slabs with Large Amounts of Shear Reinforcement», EPFL, Dissertation, Lausanne, 2012, 273p.
- [9] Norm SIA 262 Betonbau, Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein, Zürich, 2013, 102p.

# Referat

Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen  
mit nichtrostender Bewehrung NIRO22

Ancon

Leviat  
A CRH COMPANY

## Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen mit nichtrostender Bewehrung NIRO22

Leviat Campus Fachevent 2022

Prof. Dr. Albin Kenel

1 Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## Was ist nichtrostende Bewehrung NIRO22 ?

Ancon®

- NIRO22 sind gerippte und glatte nichtrostende Stähle mit der Werkstoffnummer EN 1.4482
- warmgewalzt und teilweise kaltverformt
- austenitisch-ferritisch (Duplex) mit PREN (Wirksamkeit) 22
- Streckgrenze  $f_y > 500 \text{ N/mm}^2$  und Zugfestigkeit  $f_u > 650 \text{ N/mm}^2$

2 Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen mit nichtrostender Bewehrung NIRO22

### Wo wird NIRO22 als Bewehrung eingesetzt ?

Ancon®

- In Konsolköpfen von Brücken
  - Erhöhung der Dauerhaftigkeit
  - Reduktion der Bewehrungsüberdeckung
- Lawinenverbauungen
- Personenunterführungen
- Fassadenelemente (möglichst geringe Gesamtdicke)

3 Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## Korrosion

Leviat  
A CRH COMPANY

4 Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen mit nichtrostender Bewehrung NIRO22

### Wie wird NIRO22 betreffend Korrosion eingesetzt ?



- Für einbetonierte, nichtrostende Bewehrung gilt das MB SIA 2029
- Die Stähle werden über die Wirksamkeit (= PREN) in Korrosionswiderstandsklassen KWK eingeteilt:

Tabelle 1 Korrosionswiderstandsklassen (KWK) für (nichtrostenden) Betonstahl

KWK	Wirksamkeit	Bemerkungen / typische Vertreter
0	0 – 9	Unlegierter oder niedrig legierter Betonstahl
1	10 – 16	Chromstähle
2	NIRO22 17 – 22	Chromnickelstähle
3	23 – 30	Chromnickelstähle mit Molybdän
4	≥ 31	Stahlsorten mit erhöhtem Gehalt an Chrom und/oder Molybdän

### Einsatz von NIRO22 nach MB SIA 2029



Tabelle 3 Richtwerte zur Anwendung nichtrostender Betonstähle

	Beton- sorte	Expositions- klasse	$c_{nom}^{2)}$ [mm]	Empfohlene Korrosionswiderstandsklasse KWK			
				für $c_{nom}^{2)}$		für $c_{red}^{2)} < c_{nom}^{2)}$	
				a	b	≥ 20mm	≥ 30mm
Hochbauten	A	XC2(CH)	35	0	0	1	
	B	XC3(CH)	35	0	0	1	
	C	XC4(CH), XF1(CH)	40	0	1	1	
Tiefbauten	D + E	XC4(CH), XD1(CH), XF2/4(CH)	40	0	1	2	1
	F + G	XC4(CH), XD3(CH), XF2/4 (CH)	55	0 <sup>1)</sup>	2	4	3

**a** bzw. **b**: keine bzw. Karbonatisierung auf Bewehrungshöhe zu erwarten

# Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen mit nichtrostender Bewehrung NIRO22

## Einsatz von NIRO22 nach SN EN 1993-1-4



- Auswahl durch den Korrosionsbeständigkeitsfaktor (CRF)  
→ Ermittlung der erforderlichen Korrosionsbeständigkeitsklasse (CRC)
- Für **Aussenbereiche** gilt: **CRF = F1 + F2 + F3**
- Dabei werden folgende Einflüsse berücksichtigt:
  - **F1** das Risiko der Exposition gegenüber Chloriden
  - **F2** das Risiko der Exposition gegenüber Schwefeldioxid
  - **F3** das Reinigungskonzept oder die Exposition gegenüber Abwaschen durch Regen

## Einsatz von NIRO22 für Aussenbereiche



**F1:**

**F2 = 0**

**F3:**



Vollständige Exposition gegenüber Abwaschen durch Regen: **F3 = 0**



Spezifisches Reinigungskonzept: **F3 = -2**

Kein Abwaschen durch Regen oder kein Spezifisches Reinigungskonzept: **F3 = -7**

**NIRO22: CRF 0 ... -7**

## Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen mit nichtrostender Bewehrung NIRO22

**Leviat**  
A CRH COMPANY

# Bemessung

9

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## Kann NIRO22 gemäss SIA 262 eingesetzt werden ?

**Ancon**

- Aktuelles Register normkonformer nichtrostender Betonstähle nach Norm SIA 262:2013 hat „nur“ einen Produkteintrag!
- NIRO22 ist aktuell nicht im Register normkonformer nichtrostender Betonstähle eingetragen

10

Leviat.com

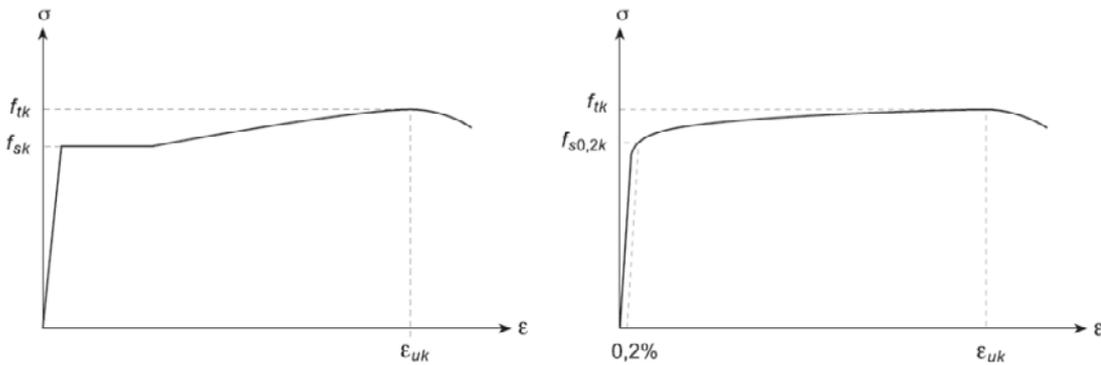
Imagine. Model. Make.

# Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen mit nichtrostender Bewehrung NIRO22

## Kein Registereintrag für NIRO22



- Das  $\sigma$ - $\epsilon$ -Diagramm von NIRO22 erfüllt die Anforderung der SIA 262 nicht  $\rightarrow$  insbesondere die erforderliche Dehnung bei Höchstlast  $\epsilon_{uk}$  wird nicht erreicht



Figur 5 aus Norm SIA 262 – Betonbau

11

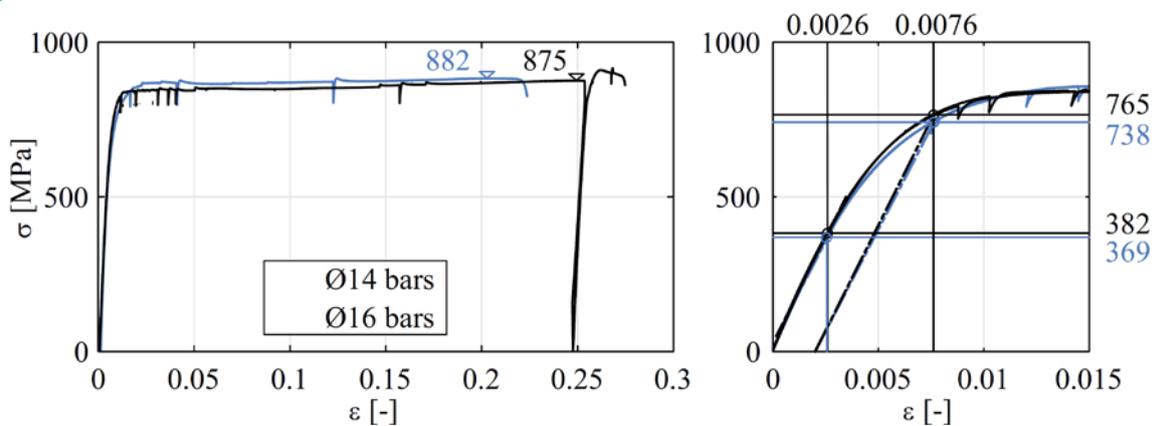
Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## NIRO22 im Zugversuch



Sehr grosse Dehnungen erreichbar !!



Reckinger N., Thoma K., Kaufmann W., „Moment redistribution and strain localisation in two-span concrete slab strips reinforced with low strain hardening steel“, Symposium in Civil Engineering Sep. 5 to 7, 2022, Rome

12

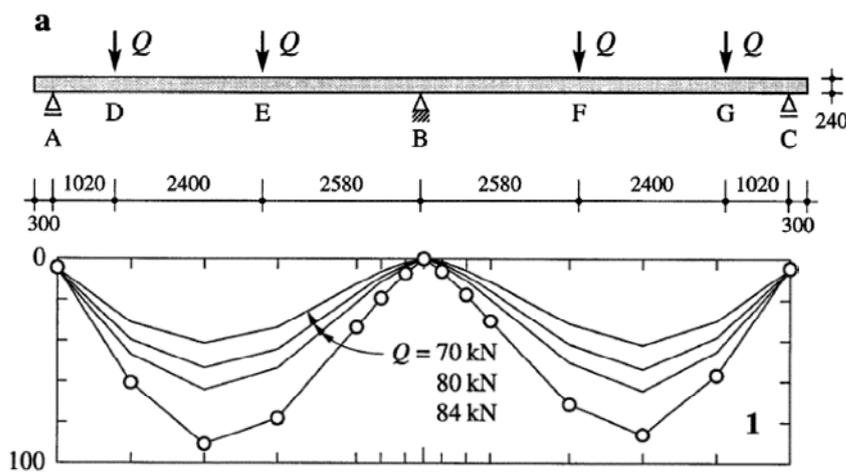
Leviat.com

Imagine. Model. Make.

# Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen mit nichtrostender Bewehrung NIRO22

## Versuche

## Ausgangslage: Traglastversuche ETHZ



Manuel Alvarez, Stefan Köppl, und Peter Marti,  
"Rotation Capacity of Reinforced Concrete Slabs", ACI  
Structural Journal, V. 97, No. 2, March-April 2000

# Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen mit nichtrostender Bewehrung NIRO22

## NIRO22 im Traglastversuch



- Drei 2-Feld-Plattenstreifenversuche an der HSLU, zusammen mit ETHZ: identisch in Geometrie und Material (Beton und Bewehrung)
- Unterschiedliche Eigenspannungszustände: (durch Vertikalverschiebung des Mittenauflegers)
- Messungen:
  - Beanspruchung und Auflagerkräfte
  - Stahldehnungen (in beiden Feldern und über Auflager) mittels Faseroptik
  - Verzerrungen der Betonoberfläche mittels Digital Image Correlation
  - Verformungen mit induktiven Wegmessern (LVDT)

15

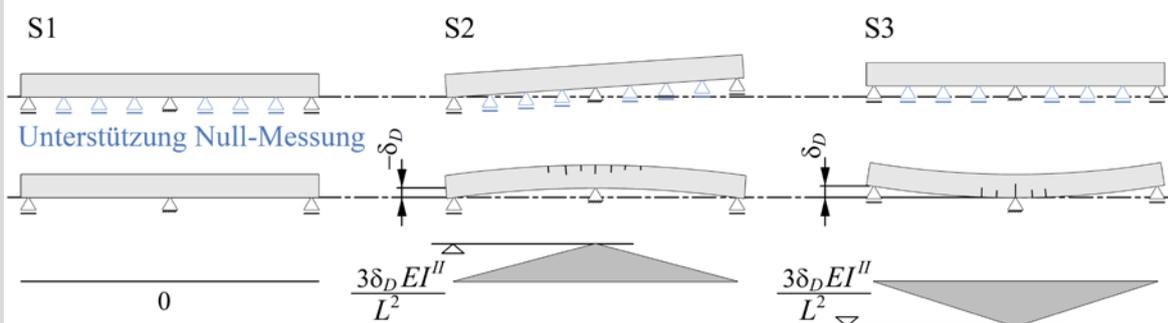
Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## NIRO22 im Traglastversuch



Unterschiedliche Eigenspannungszustände:



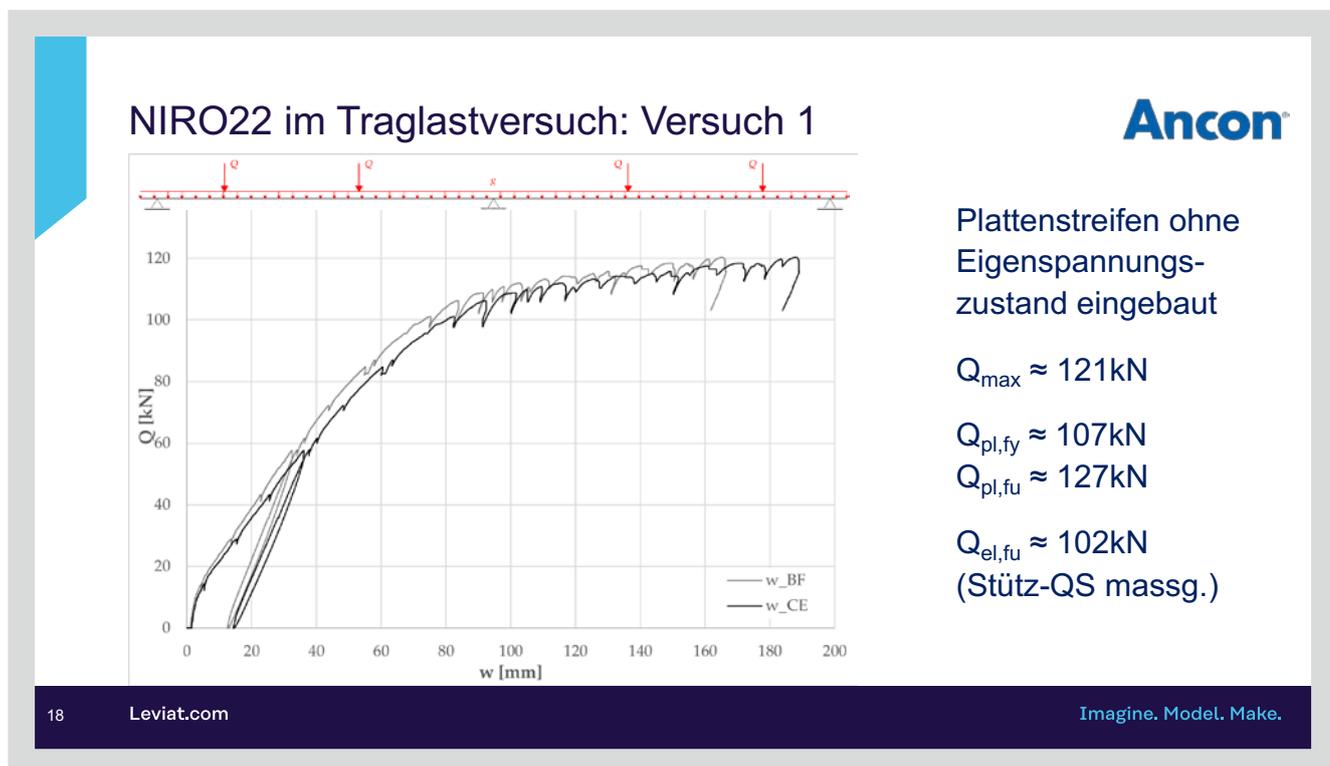
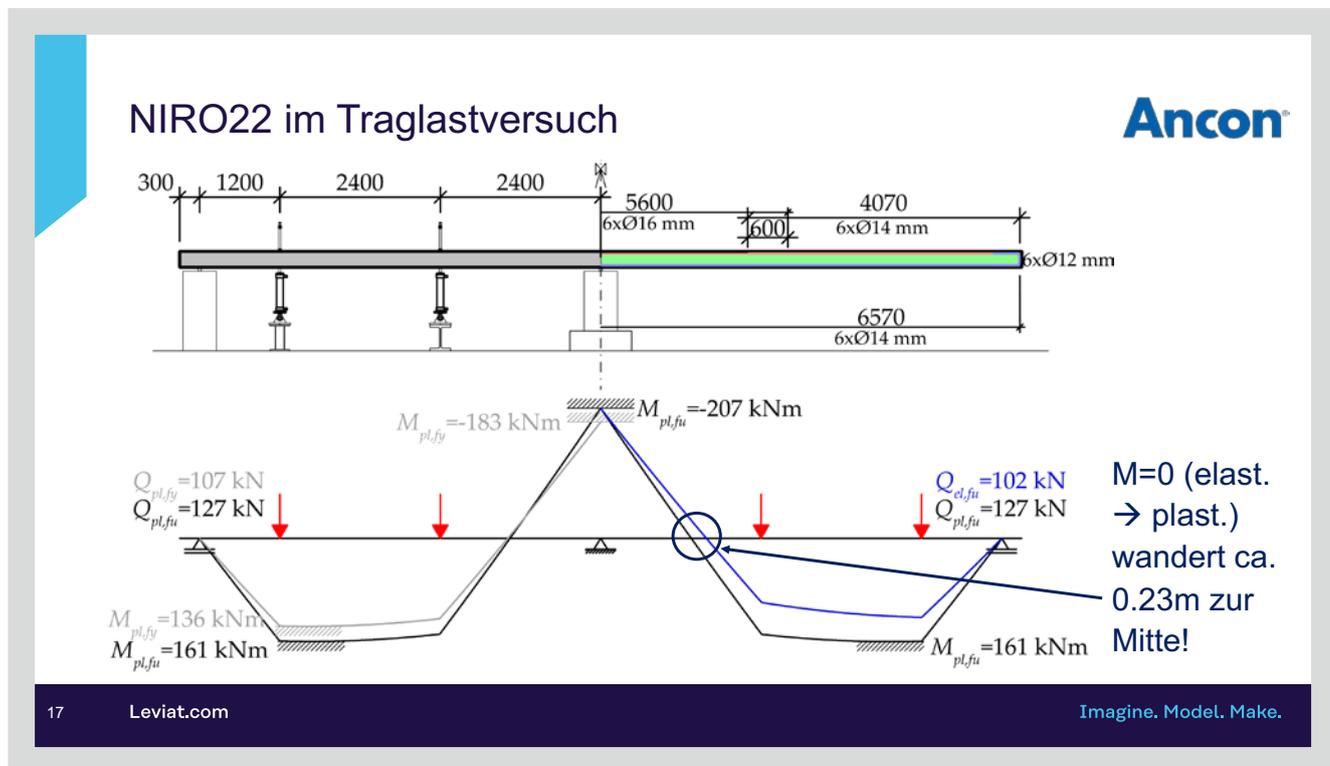
Reckinger N., Thoma K., Kaufmann W., „Moment redistribution and strain localisation in two-span concrete slab strips reinforced with low strain hardening steel“, Symposium in Civil Engineering Sep. 5 to 7, 2022, Rome

16

Leviat.com

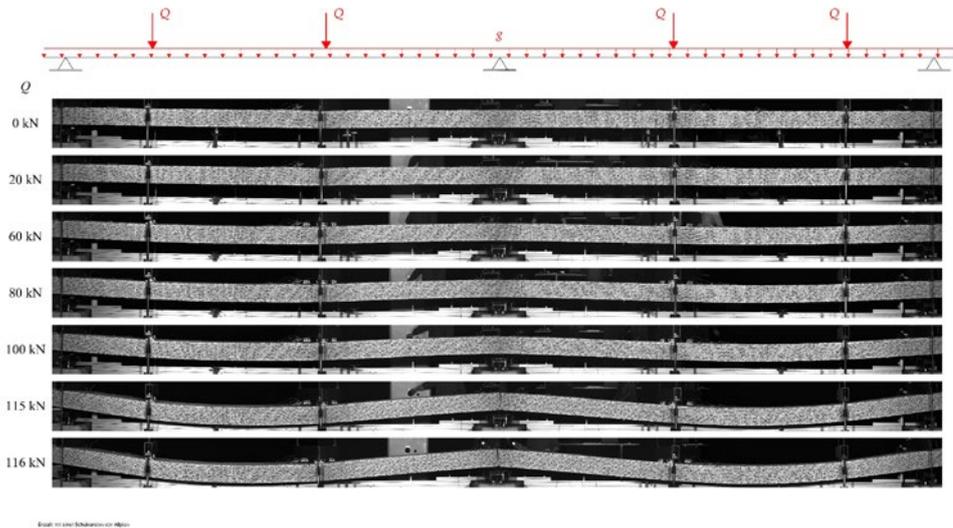
Imagine. Model. Make.

# Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen mit nichtrostender Bewehrung NIRO22



# Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen mit nichtrostender Bewehrung NIRO22

## NIRO22 im Traglastversuch: Versuch 1

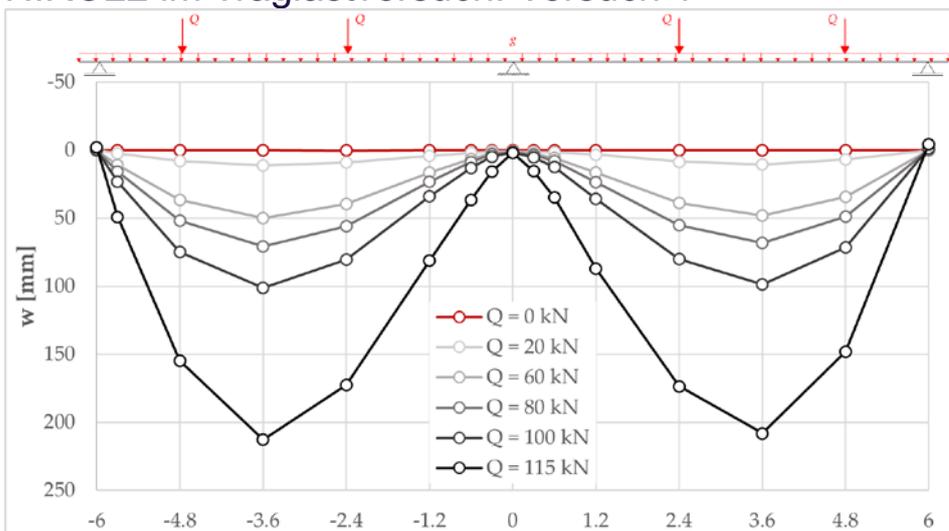


19

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## NIRO22 im Traglastversuch: Versuch 1



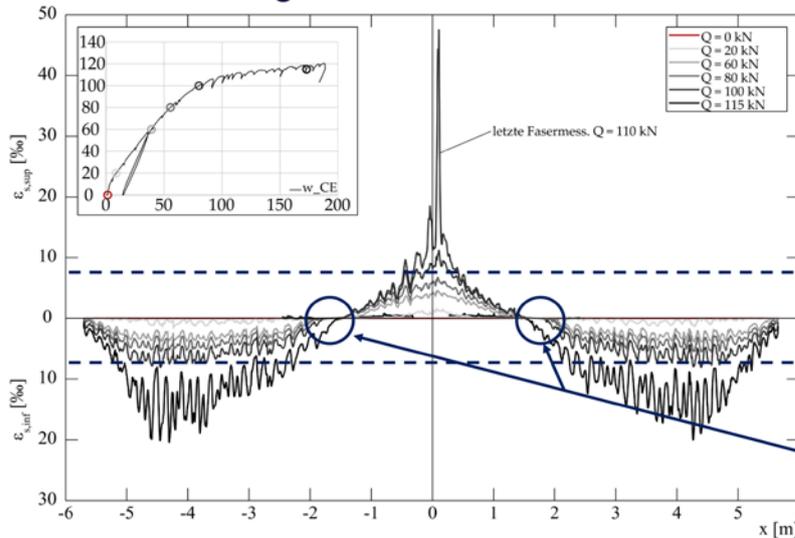
20

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

# Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen mit nichtrostender Bewehrung NIRO22

## NIRO22 im Traglastversuch: Versuch 1

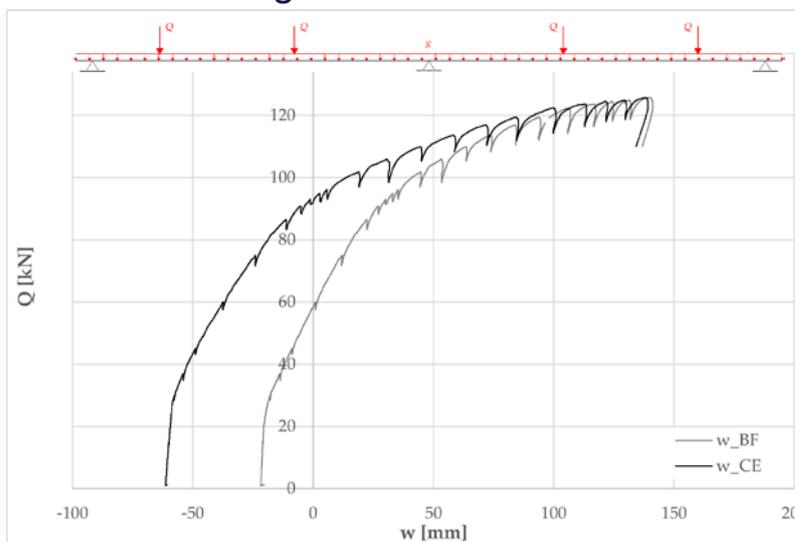


Maximal messbare Faserdehnung ca. 4-5%

nominale Fließdehnung  $\epsilon_{sy,m}$  ca. 0.76%

M=0 (elast. → plast.) wandert ca. 0.23m zur Mitte!

## NIRO22 im Traglastversuch: Versuch 2



Zwischenauflager 100mm nach oben verschoben:

$Q_{max} \approx 127kN$

$Q_{pl,fy} \approx 107kN$

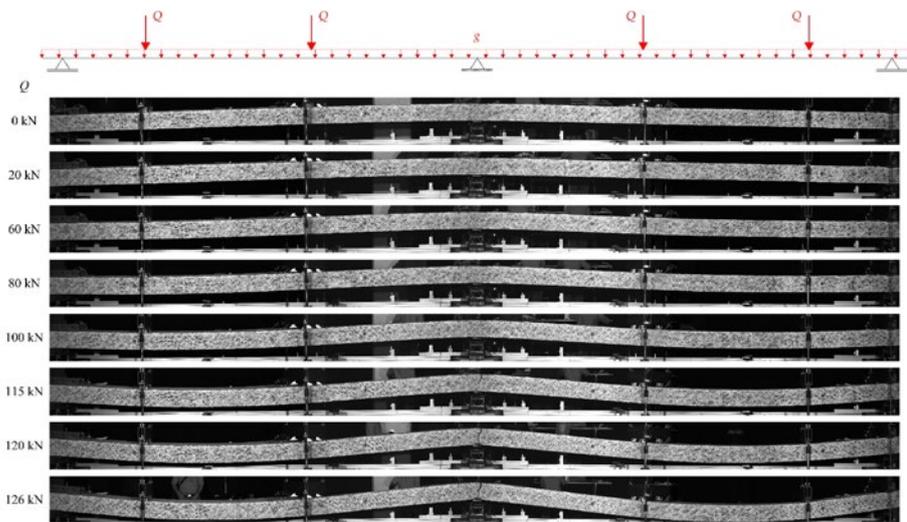
$Q_{pl,fu} \approx 127kN$

$Q_{el,fu} \approx 26kN$

(Stütz-QS massg.)

# Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen mit nichtrostender Bewehrung NIRO22

## NIRO22 im Traglastversuch: Versuch 2

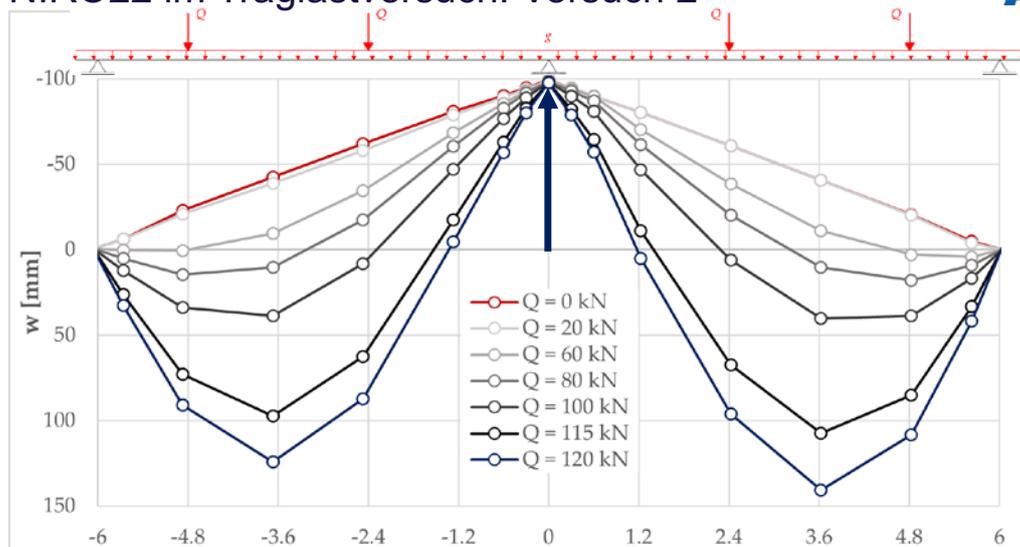


23

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## NIRO22 im Traglastversuch: Versuch 2



24

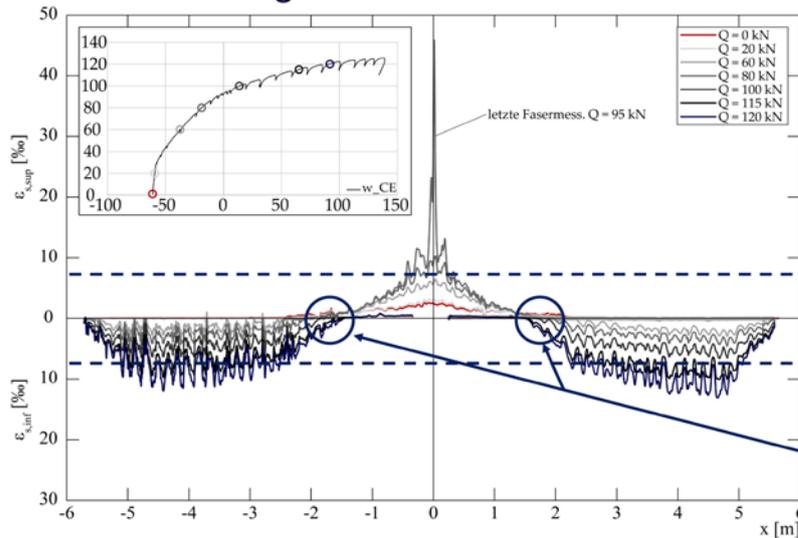
Leviat.com

Imagine. Model. Make.

# Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen mit nichtrostender Bewehrung NIRO22

## NIRO22 im Traglastversuch: Versuch 2

Ancon



Maximal messbare Faserdehnung ca. 4-5%

nominielle Fließdehnung  $\epsilon_{sy,m}$  ca. 0.76%

M=0 (elast. → plast.) wandert ca. 0.23m zur Mitte!

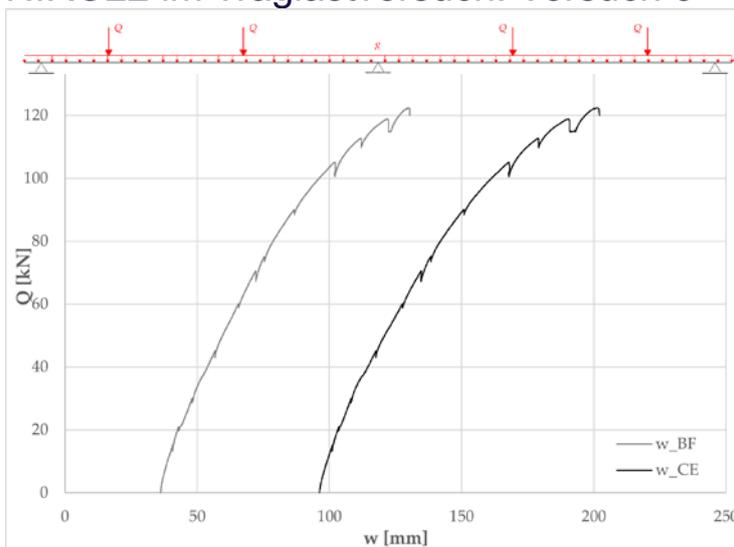
25

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## NIRO22 im Traglastversuch: Versuch 3

Ancon



Zwischenaufleger 120mm nach unten verschoben:

$Q_{max} \approx 123\text{kN}$

$Q_{pl,fy} \approx 107\text{kN}$

$Q_{pl,fu} \approx 127\text{kN}$

$Q_{el,fu} \approx 123\text{kN}$

(Feld-QS massg.)

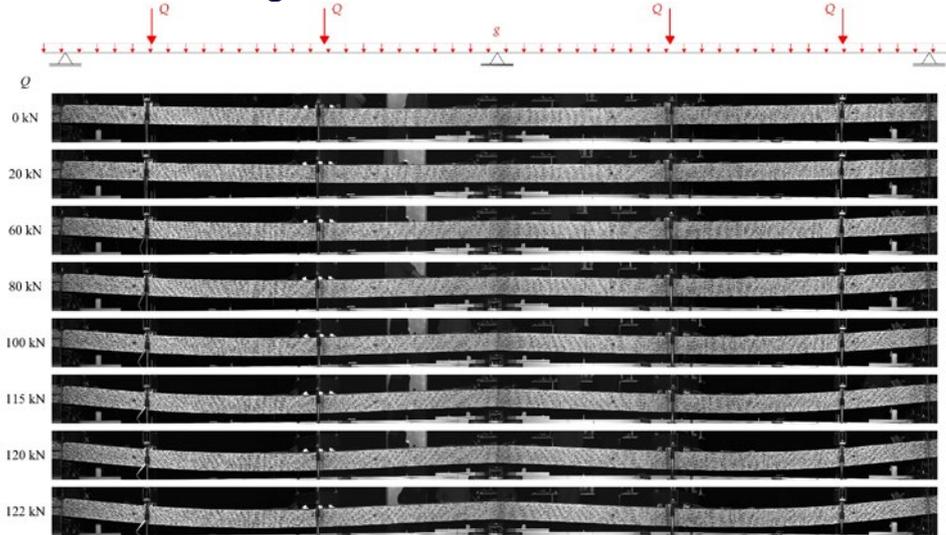
26

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

# Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen mit nichtrostender Bewehrung NIRO22

## NIRO22 im Traglastversuch: Versuch 3

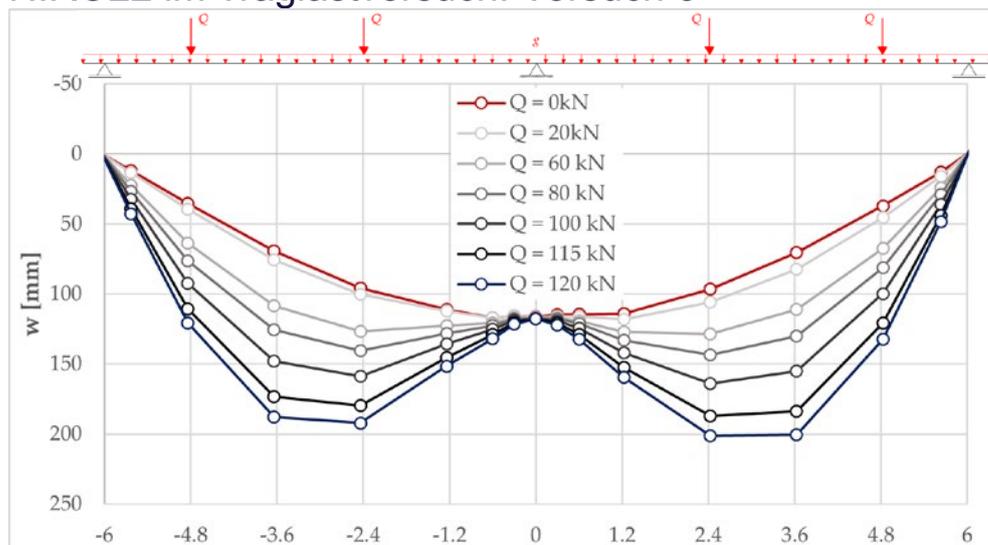


27

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## NIRO22 im Traglastversuch: Versuch 3



28

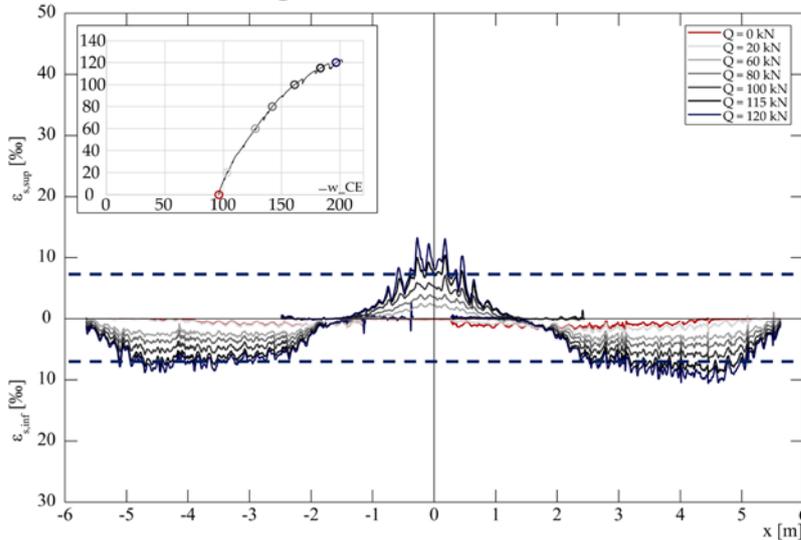
Leviat.com

Imagine. Model. Make.

# Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen mit nichtrostender Bewehrung NIRO22



## NIRO22 im Traglastversuch: Versuch 3



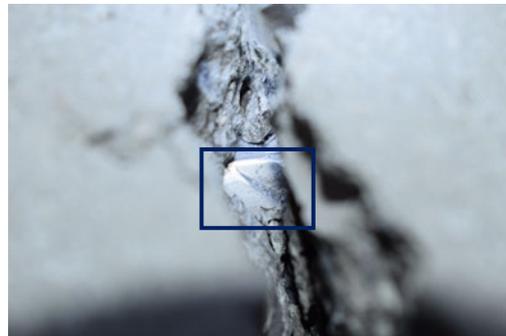
Maximal messbare Faserdehnung ca. 4-5%

nominale Fließdehnung  $\epsilon_{Sy,m}$  ca. 0.76%

## NIRO22 im Traglastversuch: Zusammenfassung



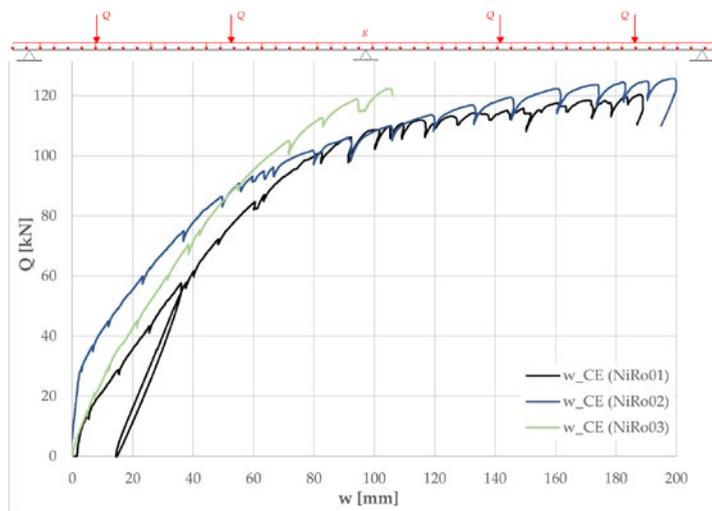
- Infolge der enormen Dehnungskapazität des NIRO22 konnte trotz nur einem plastischen Biegeriss (über dem Mittenaufleger) genügend Rotation zur Plastifizierung der Feldbewehrung erreicht werden:



## Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen mit nichtrostender Bewehrung NIRO22

### NIRO22 im Traglastversuch: Zusammenfassung

Ancon®



$$Q_{\max,1} \approx 121 \text{ kN}$$

$$Q_{\max,2} \approx 127 \text{ kN}$$

$$Q_{\max,3} \approx 123 \text{ kN}$$

$$Q_{pl,fy} \approx 107 \text{ kN}$$

$$Q_{pl,fu} \approx 127 \text{ kN}$$

Die Traglast  $Q_{pl,fu}$  konnte unabhängig vom Eigenspannungszustand erreicht werden !

31

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

### NIRO22 im Traglastversuch: Schlussfolgerung

Ancon®

- NIRO22 erfüllt die Duktilitätsanforderung der SIA 262 nicht:  
→ normative Voraussetzung für duktilen Tragwerkverhalten nicht erfüllt
- NIRO22 hat eine enorme Dehnungskapazität:  
→ erlaubt (bei Hochbauplatten) die notwendige Plattenrotation zur Plastifizierung der angrenzenden Feldbewehrungen  
→ die erreichbaren Verformungen sind grösser als mit «klassischem Betonstahl»  
→ die plastische Traglast wird erreicht
- Mit NIRO22 können Hochbauplatten plastisch und duktil bemessen werden !!

32

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

# Referat

Trag- und Verformungsverhalten eines  
Eckbalkons mit ARBO Kragplattenanschlüssen  
und DURA Durchstanzbewehrung

**Aschwanden**

**Leviat**  
A CRH COMPANY

## Trag- und Verformungsverhalten eines Eckbalkons mit ARBO Kragplattenanschlüssen und DURA Durchstanzbewehrung

Leviat Campus Fachevent 2022

Prof. Dr. Albin Kenel

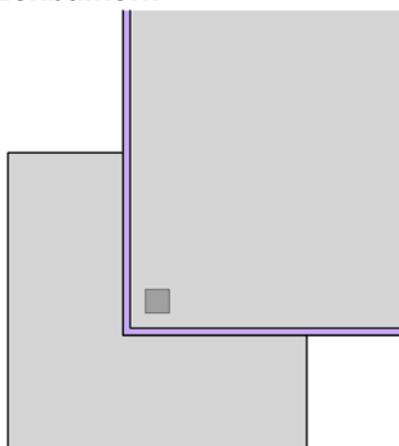
1 Leviat.com

Imagine. Model. Make.

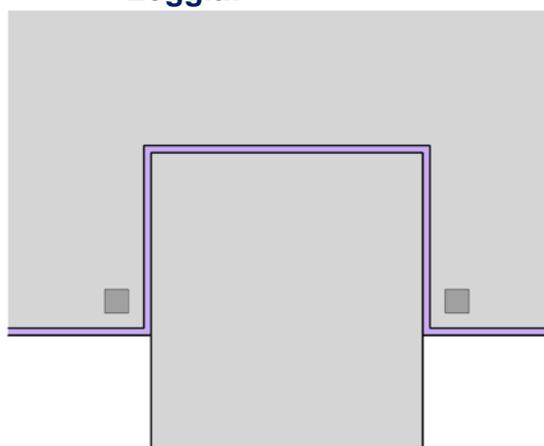
## Typische Situationen – thermisch getrennte Fuge

**Aschwanden**

**Eckbalkon:**



**Loggia:**



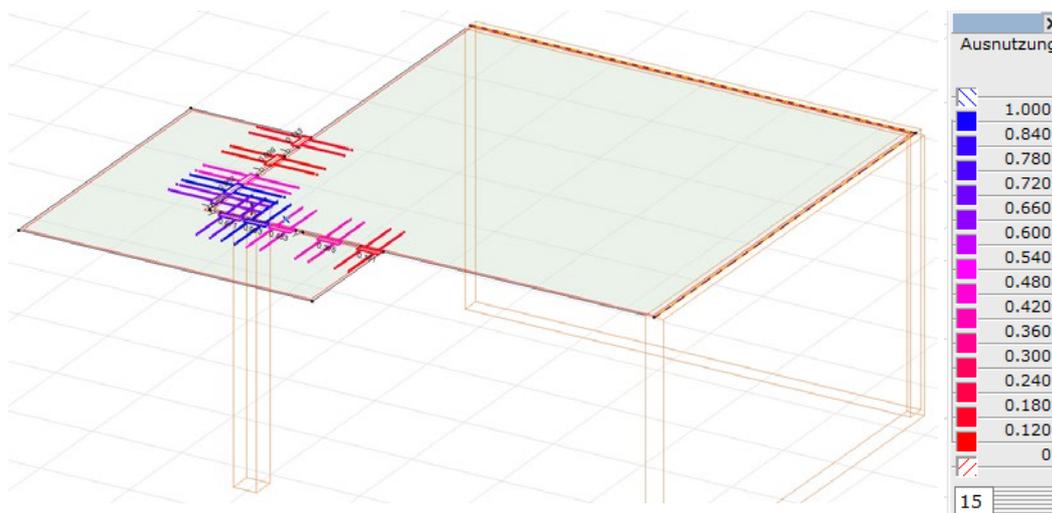
2 Leviat.com

Imagine. Model. Make.

# Trag- und Verformungsverhalten eines Eckbalkons mit ARBO Kragplattenanschlüssen und DURA Durchstanzbewehrung

## Bemessung der Kragplattenelemente mit Axis VM

Aschwanden

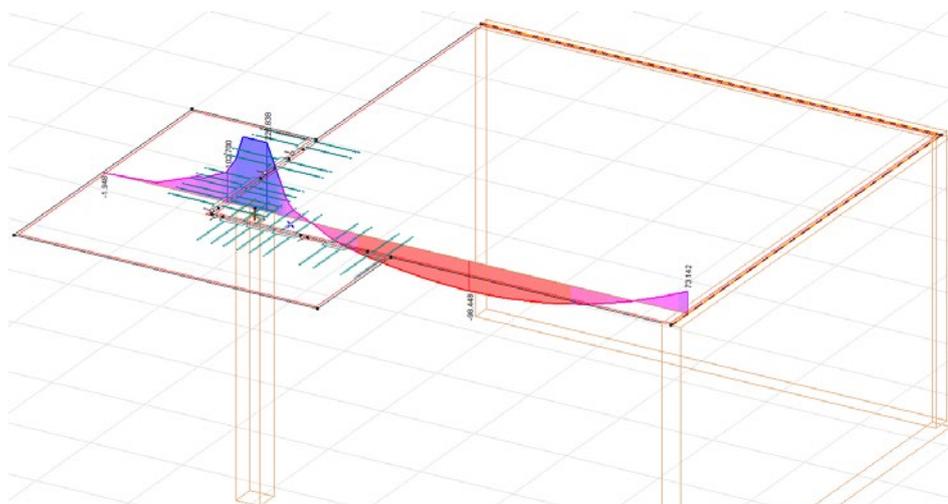


3 Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## Bemessung der Kragplattenelemente mit Axis VM

Aschwanden



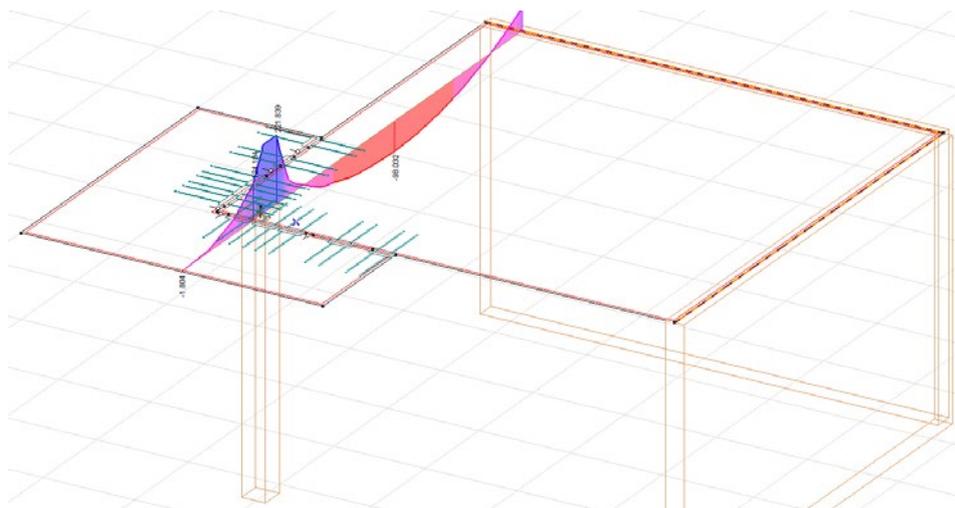
4 Leviat.com

Imagine. Model. Make.

Trag- und Verformungsverhalten eines  
Eckbalkons mit ARBO Kragplattenanschlüssen  
und DURA Durchstanzbewehrung

## Bemessung der Kragplattenelemente mit Axis VM

**A**schwanden



5 Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## Traglast-Versuche

**Leviat**  
A CRH COMPANY

6 Leviat.com

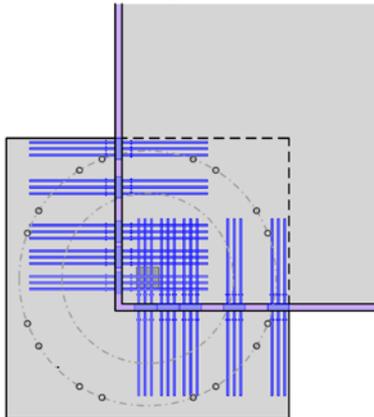
Imagine. Model. Make.

# Trag- und Verformungsverhalten eines Eckbalkons mit ARBO Kragplattenanschlüssen und DURA Durchstanzbewehrung

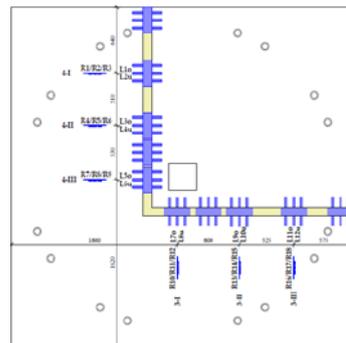
## Versuche an der Hochschule Luzern

**Aschwanden**

### Bemessungs-Situation:



### Versuche: mit / ohne DURA Korb



Platte  
3.3/3.3/0.25m  
Bewehrung  
Ø20@150mm  
Korb DURA45  
ARBO-425-08  
U3 (-E)

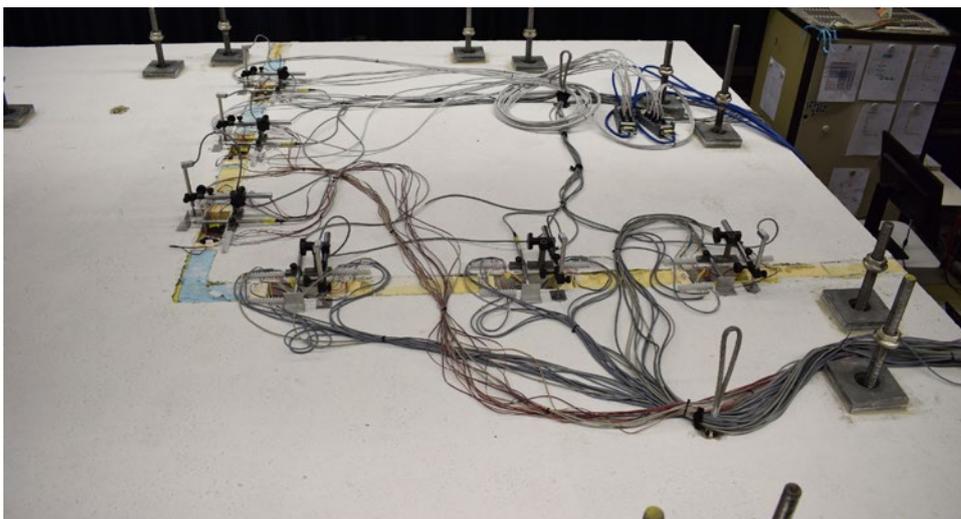
7

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## Versuche an der Hochschule Luzern

**Aschwanden**



8

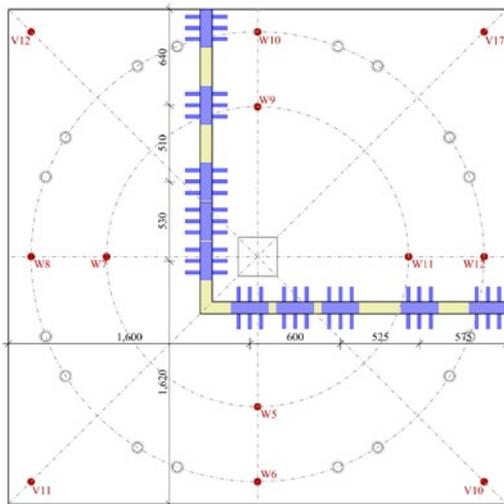
Leviat.com

Imagine. Model. Make.

Trag- und Verformungsverhalten eines  
Eckbalkens mit ARBO Kragplattenanschlüssen  
und DURA Durchstanzbewehrung

Messungen an den Versuchskörpern: global

**Aschwanden**



Durchbiegungen an verschiedenen  
Stellen (Hauptachsen und Diagonalen)

Beanspruchungen (Kraftmessdosen  
an Hydraulikzylindern)

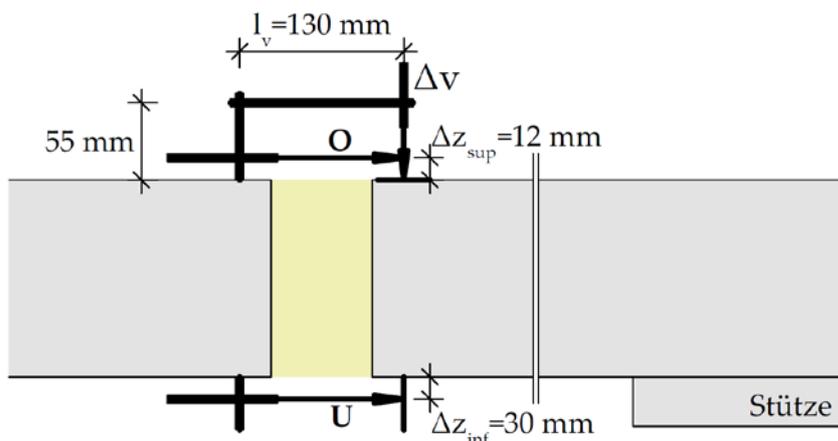
9

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

Messungen an den Versuchskörpern: lokal

**Aschwanden**



Verformungen  
der Fuge:

Vertikalversatz  
(Schub)

Öffnung  
oben/unten  
(Biegung)

10

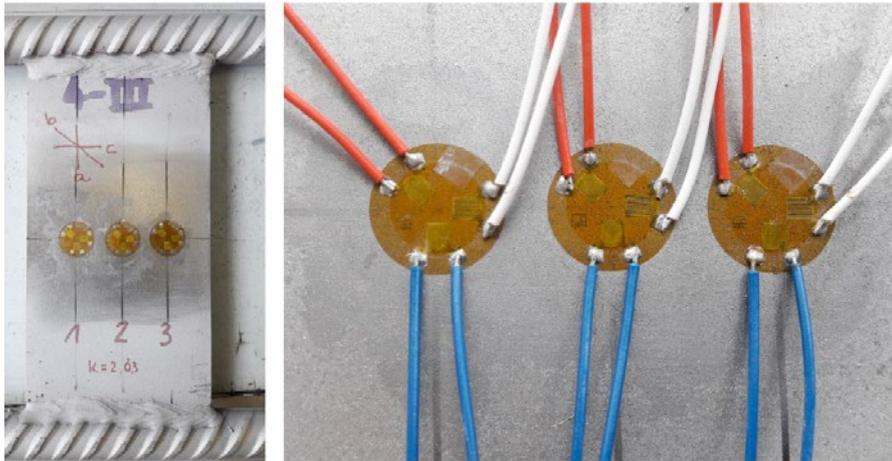
Leviat.com

Imagine. Model. Make.

Trag- und Verformungsverhalten eines Eckbalkons mit ARBO Kragplattenanschlüssen und DURA Durchstanzbewehrung

Messungen an den Versuchskörpern: Dehnungen

**Aschwanden**



Dehnungs-Rosetten auf den Blechen (Schub)

Dehnmess-Streifen auf den Stäben (Biegung)

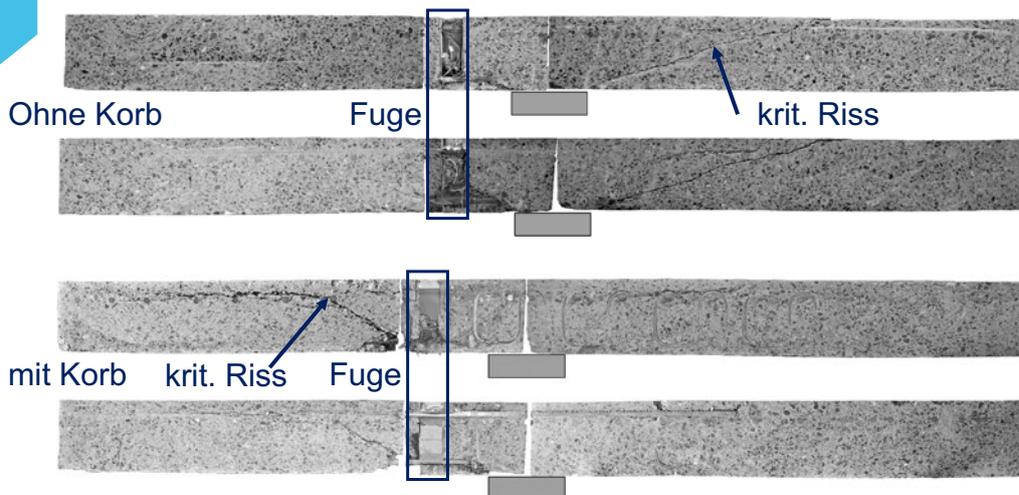
11

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

Versuchsergebnisse: ohne / mit DURA Korb

**Aschwanden**



Bruchlast 996kN;  
Bruch im «Innen-Quadrant»

Bruchlast 1248kN;  
Bruch «ausen»

12

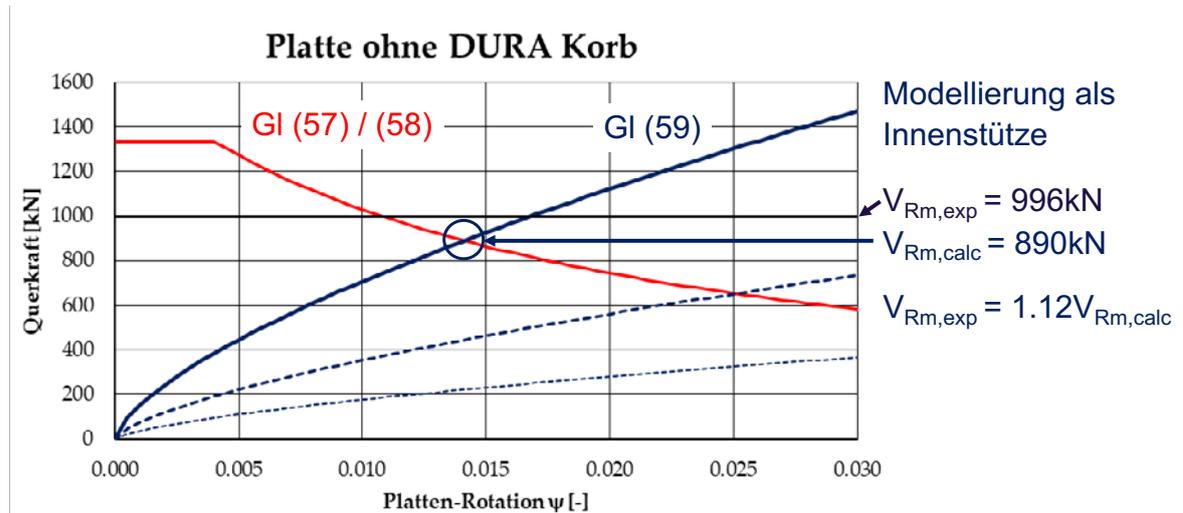
Leviat.com

Imagine. Model. Make.

Trag- und Verformungsverhalten eines  
Eckbalkons mit ARBO Kragplattenanschlüssen  
und DURA Durchstanzbewehrung

Vergleich mit SIA 262

**Aschwanden**



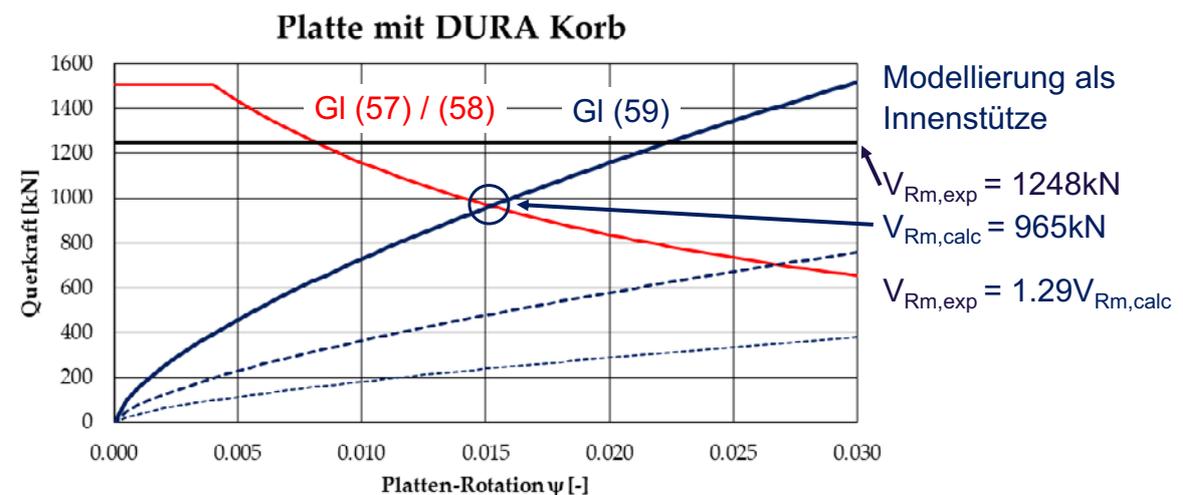
13

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

Vergleich mit SIA 262

**Aschwanden**



14

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## Trag- und Verformungsverhalten eines Eckbalkons mit ARBO Kragplattenanschlüssen und DURA Durchstanzbewehrung

### Versuche – Folgerungen

**Aschwanden**

- Der Durchstanzwiderstand entspricht dem einer Innenstütze
- Der DURA Korb über der Stütze verhindert das Durchstanzen im Nachweisschnitt, der Bruchkegel wurde von «innen» nach «ausen» verlagert
- Je nach Bemessungs-Situation muss die Balkonplatte schubbewehrt werden !
- Die Randbügel entlang der Fuge haben eine unkontrollierte Rissöffnung behindert → jeder **freie Plattenrand muss verbügelt** werden !
- Die ARBO-Elemente konnten die konzentrierten Lasten übertragen !

15

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## NLFEA Nicht Lineare Finite Element Analyse

**Leviat**  
A CRH COMPANY

16

Leviat.com

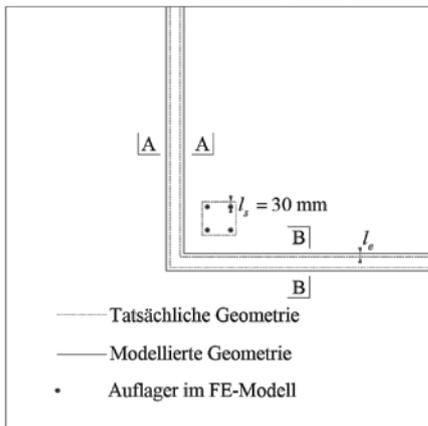
Imagine. Model. Make.

# Trag- und Verformungsverhalten eines Eckbalkens mit ARBO Kragplattenanschlüssen und DURA Durchstanzbewehrung

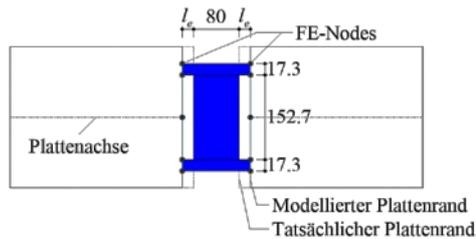
## Nicht Lineare Finite Element Analyse NLFEA

**Aschwanden**

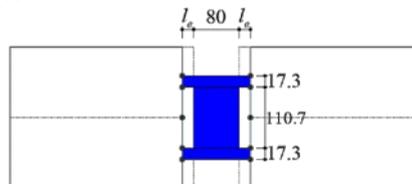
(a) Grundriss



(b) Schnitt A-A



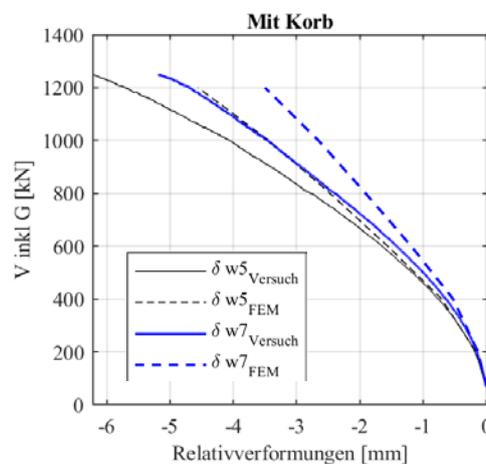
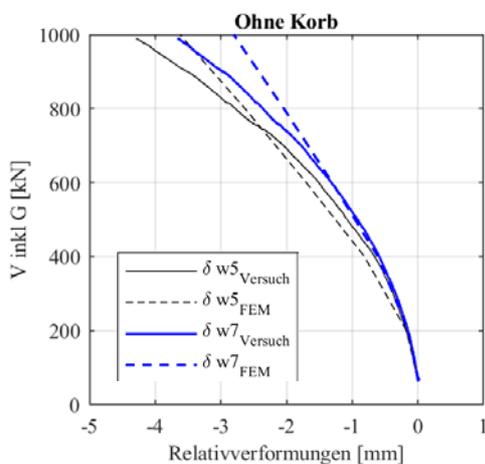
(c) Schnitt B-B



Karel Thoma, Patrick Roos, Gregor Borkowski, "Finite Elemente Analyse von Stahlbetonplatten", Beton- und Stahlbetonbau 109 (2014), Heft 12

## NLFEA – Kalibration an Messergebnissen: global

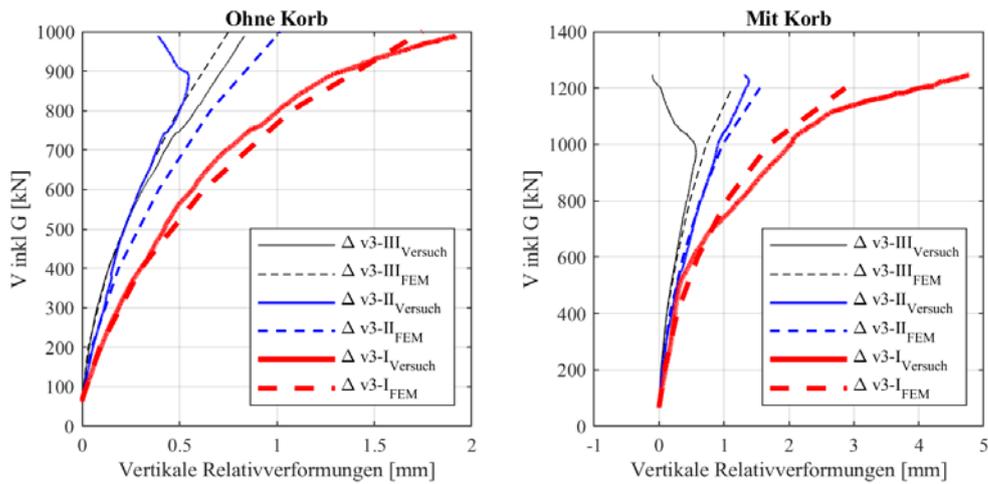
**Aschwanden**



Trag- und Verformungsverhalten eines Eckbalkons mit ARBO Kragplattenanschlüssen und DURA Durchstanzbewehrung

NLFEA – Kalibration an Messergebnissen: lokal

Aschwanden



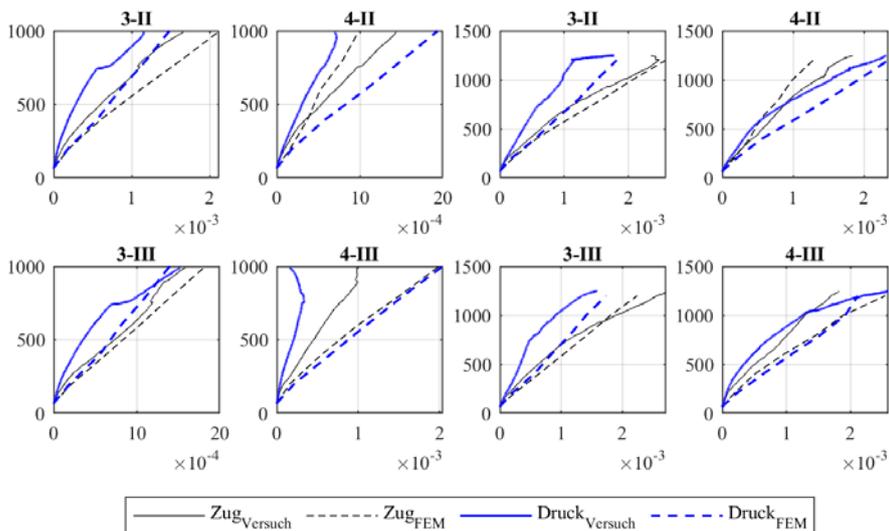
19

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

NLFEA – Kalibration an Messergebnissen: Dehnungen

Aschwanden



20

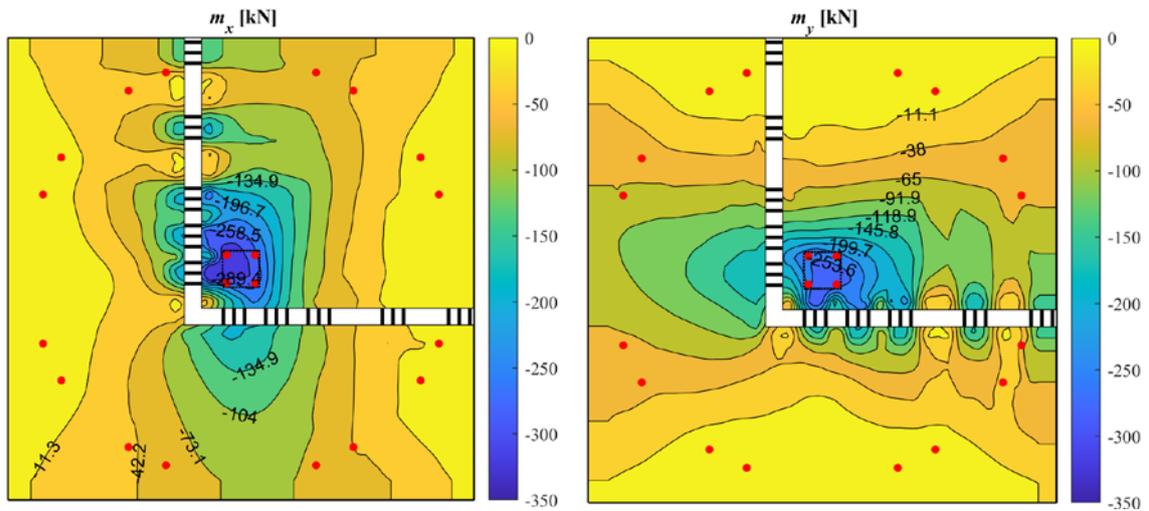
Leviat.com

Imagine. Model. Make.

Trag- und Verformungsverhalten eines Eckbalkens mit ARBO Kragplattenanschlüssen und DURA Durchstanzbewehrung

NLFEA – Rechenergebnisse bei  $V = 1000 \text{ kN}$

**A**schwanden



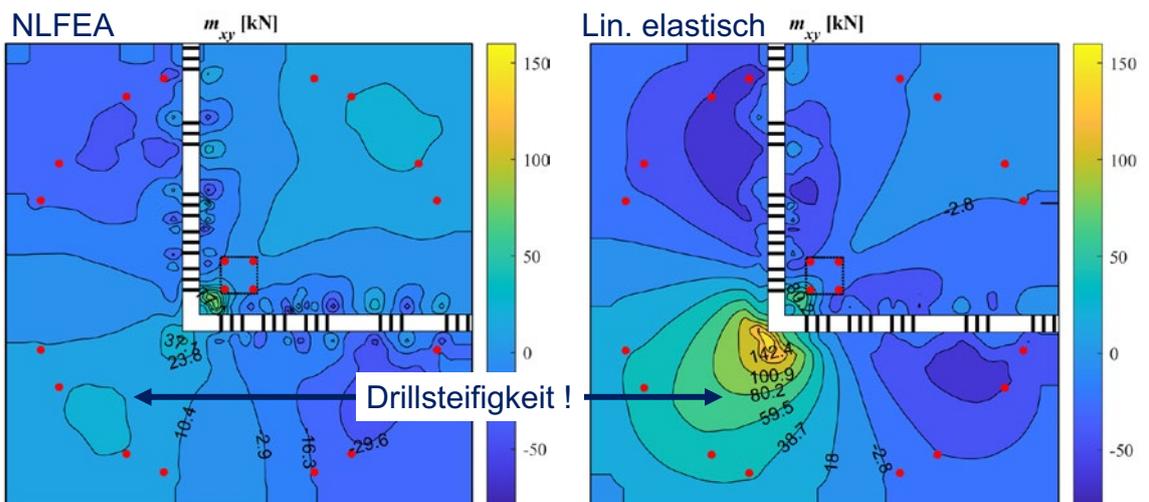
21

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

NLFEA – Rechenergebnisse bei  $V = 1000 \text{ kN}$

**A**schwanden

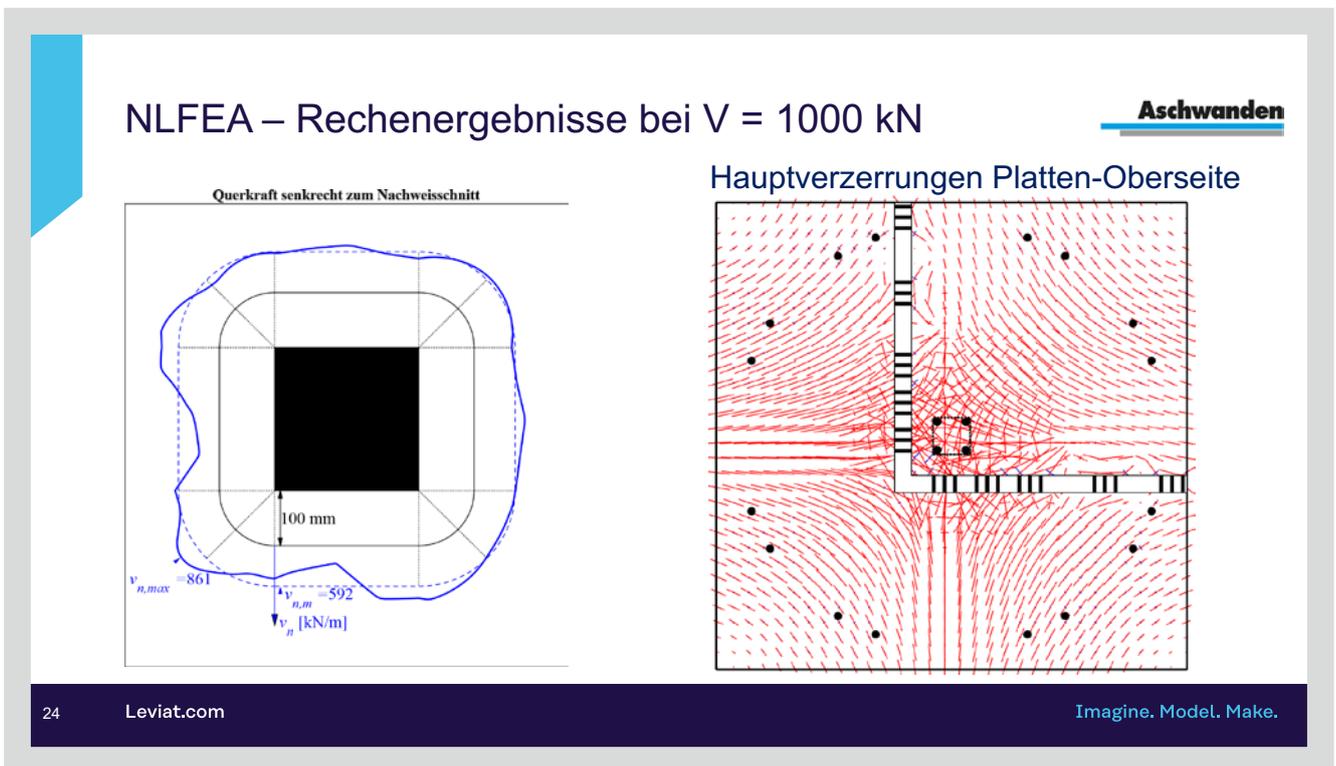
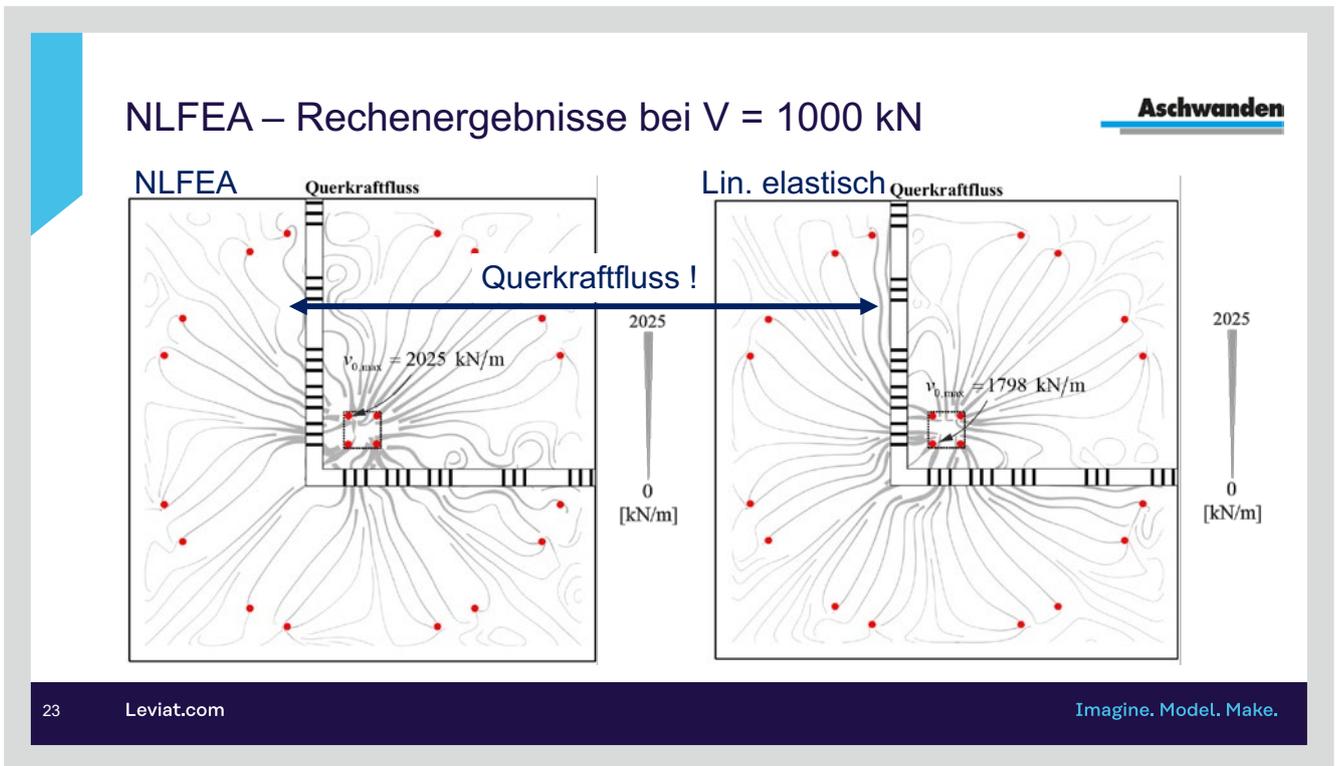


22

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

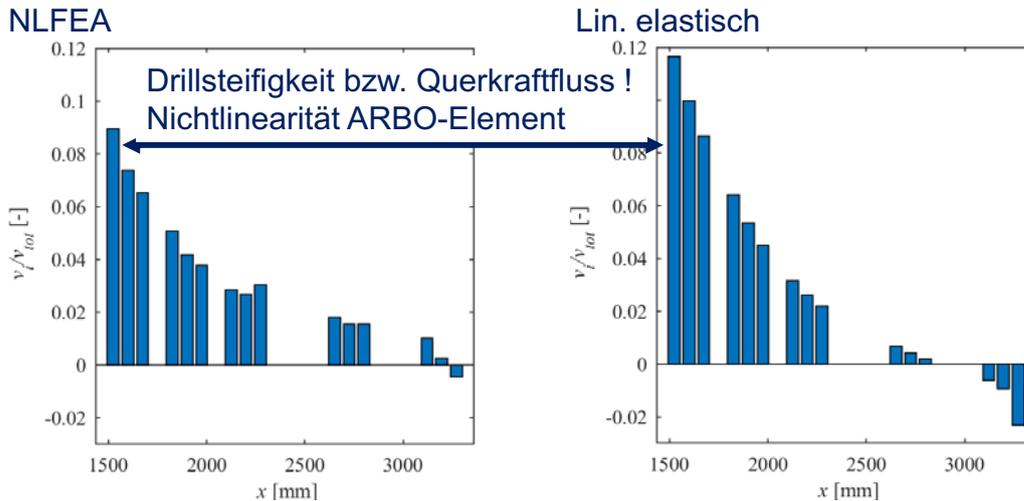
Trag- und Verformungsverhalten eines  
Eckbalkons mit ARBO Kragplattenanschlüssen  
und DURA Durchstanzbewehrung



# Trag- und Verformungsverhalten eines Eckbalkens mit ARBO Kragplattenanschlüssen und DURA Durchstanzbewehrung

## NLFEA – Rechenergebnisse bei $V = 1000 \text{ kN}$

**Aschwanden**



25

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## NLFEA – Folgerungen

**Aschwanden**

- Das Last-Verformungsverhalten (global und lokal) lässt sich ausreichend genau modellieren (NLFEA)
- Sobald die Betonplatte reißt, sinkt die Drillsteifigkeit markant (und die Drillmomente werden wesentlich kleiner)
- Der Querkraftfluss verändert sich gegenüber einer linear elastischen Analyse
- Das Vorzeichen der Querkraft-Beanspruchung kann innerhalb der Fuge ändern
- Die Beanspruchung der ARBO-Elemente verändert sich gegenüber einer linear elastischen Analyse → es findet ein Beanspruchungsausgleich statt !

26

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

## Trag- und Verformungsverhalten eines Eckbalkons mit ARBO Kragplattenanschlüssen und DURA Durchstanzbewehrung

### Folgerungen

**Aschwanden**

- Die Kragplatten-Elemente werden je nach Beanspruchung und Tragwerk unterschiedlich beansprucht und brauchen eine ausreichende Steifigkeit  
→ ARBO Elemente zeichnen sich durch eine sehr grosse Steifigkeit aus.
- Die Elemente sollten nach Möglichkeit entsprechend dem Kraftfluss positioniert werden  
→ eine gleichmässige Verteilung gleicher Elemente über die gesamte Balkonlänge ist bei punktgestützten Platten i.d.R. nicht zulässig  
→ keine Isolierte Balkonbetrachtung möglich

27

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

### Folgerungen

**Aschwanden**

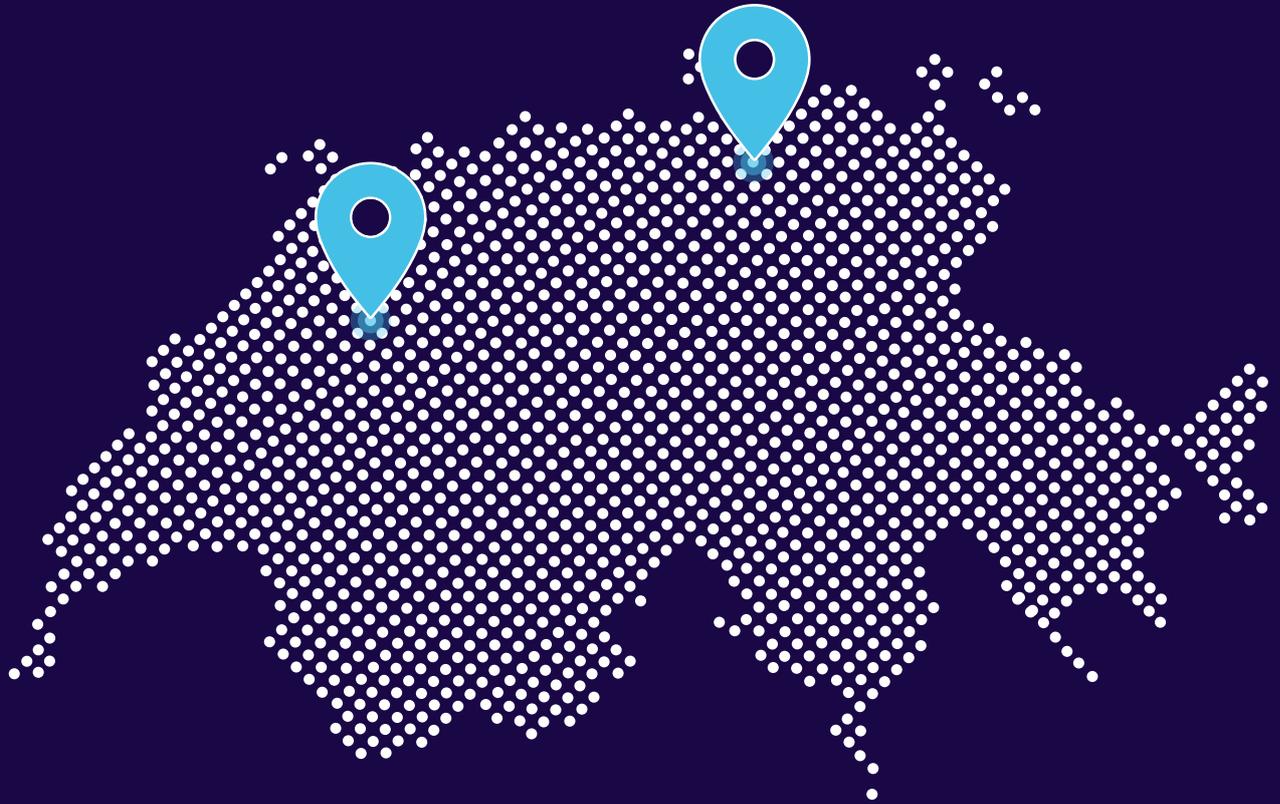
- Das ARBO/CRET Bemessungsmodul im Leviat Projektmanager und das ARBO/CRET Axis Vm Plug-in unterstützen den projektierenden Ingenieur:  
→ bei der Auswahl des richtigen Elements (inkl. Ecksituationen)  
→ zur optimalen Positionierung des Elements

28

Leviat.com

Imagine. Model. Make.

# Wir sind ein Team. Wir sind Leviat.



**1**

Land



**125+**

Mitarbeiter



**2**

Standorte

Für alle Fragen rund um das gesamte markenübergreifende Produktangebot kontaktieren sie Ihren persönlichen regionalen Ansprechpartner.



**Für weitere Produktinformationen wenden Sie sich bitte an Leviat:**

**Leviat AG**

Grenzstrasse 24 | 3250 Lyss

**Leviat AG | Verkaufsbüro Wallisellen**

Hertistrasse 25 | 8304 Wallisellen

Tel.: +41 (0)800 22 66 00

E-Mail: [info.ch@leviat.com](mailto:info.ch@leviat.com)