

Durchstanz- tragfähigkeit infolge unterschiedlicher Einbauteile aus Blechen

Fachbericht 1

Zusammenstellung
der Versuchsergebnisse von
Innenstützen
Körper A bis T
mit $h = 25 \text{ cm}$ und $\rho = 1,53 \%$

Ivonne Scherzer

INHALTSVERZEICHNIS

- 1 EINLEITUNG

- 2 VERSUCHSKÖRPER
 - 2.1 GEOMETRIE
 - 2.2 BEWEHRUNG
 - 2.3 BETON

- 3 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG
 - 3.1 VERSUCHSANLAGE
 - 3.2 MESSUNGEN
 - 3.3 VERSUCHSVORBEREITUNGEN UND ABLÄUFE

- 4 BESCHREIBUNG UND VERSUCHSERGEBNISSE DER KÖRPER
 - 4.1 VERSUCHSKÖRPER A
 - 4.2 VERSUCHSKÖRPER B
 - 4.3 VERSUCHSKÖRPER C
 - 4.4 VERSUCHSKÖRPER D
 - 4.5 VERSUCHSKÖRPER E
 - 4.6 VERSUCHSKÖRPER F
 - 4.7 VERSUCHSKÖRPER G

4.8 VERSUCHSKÖRPER H

4.9 VERSUCHSKÖRPER I

4.10 VERSUCHSKÖRPER J

4.11 VERSUCHSKÖRPER K

4.12 VERSUCHSKÖRPER L

4.13 VERSUCHSKÖRPER M

4.14 VERSUCHSKÖRPER N

4.15 VERSUCHSKÖRPER O

4.16 VERSUCHSKÖRPER P

4.17 VERSUCHSKÖRPER Q

4.18 VERSUCHSKÖRPER R

4.19 VERSUCHSKÖRPER S

4.20 VERSUCHSKÖRPER T

5 EINORDNUNG DER VERSUCHSERGEBNISSE

5.1 VERSUCHSKÖRPER A BIS F

5.2 VERSUCHSKÖRPER G BIS J

5.3 VERSUCHSKÖRPER K, M N, Q UND S

5.4 VERSUCHSKÖRPER L, P, R UND T

1 EINLEITUNG

Flachdecken sind punktgestützte Platten, welche keine Unterzüge zur Lastabtragung benötigen. Es ergeben sich daraus erhebliche Vorteile. Die Betonunterflächen sind eben. Dies vereinfacht das Einschalen der Decken und macht es möglich, moderne Schalungssysteme zu verwenden. Die Installationen der Ausbaugewerke werden nicht durch Unterzüge behindert und somit beschleunigt sich der Bauablauf.

Bei weitgespannten oder hochbelasteten Decken wird die Deckendicke häufig durch den Nachweis gegen Durchstanzen bestimmt. Der Widerstand gegen Durchstanzen kann durch zusätzliche Bügel- und Längsbewehrung nur begrenzt gesteigert werden.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen sollen neuartige Einbauteile betrachtet werden, welche im Bereich des Übergangs „Stütze - Flachdecke“ zwischen oberer und unterer Grundbewehrung eingebaut werden.

Die Versuchskörper variieren in der Betondruckfestigkeit, den Materialeigenschaften des Einbauteiles und deren Lage und Anordnung im Versuchskörper. Die Einbauteile bestehen aus langen Blechen mit unterschiedlichen Umschließungen der Bewehrung, welche sternförmig um die Stütze, kreuzweise oder in einer Richtung parallel zur Grundbewehrung zwischen oberer und unterer Bewehrung eingebaut werden. Weiterhin wurden kurze Bleche untersucht, die die obere und untere Bewehrung miteinander verbinden.

Die Einbauteile sollen ein leichtes und variables montieren ermöglichen. Die langen Bleche sollen im Bereich um die Stütze die Funktion des Abstandhalters zwischen der oberen und unteren Biegezugbewehrung übernehmen und die Umschließung der Biegezugbewehrung gewährleisten.

Die eingebauten Bleche sollen eine Steigerung des Durchstanzwiderstandes über den der Bügel hinaus erzielen und eine Erhöhung der Duktilität zur Folge haben.

Als Referenzkörper wurden zwei Versuchskörper ohne Einbauteile bzw. ohne Querkraftbewehrung und ein Versuchskörper mit Doppelköpfen hergestellt und geprüft.

2 VERSUCHSKÖRPER

2.1 GEOMETRIE

Die geprüften Versuchskörper stellen einen Ausschnitt aus einer Flachdecke im Bereich einer Innenstütze dar. Um wirklichkeitsgetreue Versuchsergebnisse zu erhalten, wurden die Versuchskörper mit praxisnahen Abmessungen hergestellt.

Bei einem zu Grunde gelegten quadratischen Stützenraster von etwa 6,0 m * 6,0 m ergaben sich Versuchskörperabmessungen von 2,80 m * 2,80 m. Die Dicke der Körper betrug $d = 25$ cm. Dies entspricht einer in der Praxis sehr häufig verwendeten Deckenstärke.

Die Stütze wurde als Rundstütze ausgeführt und hat einen Durchmesser von 30 cm.

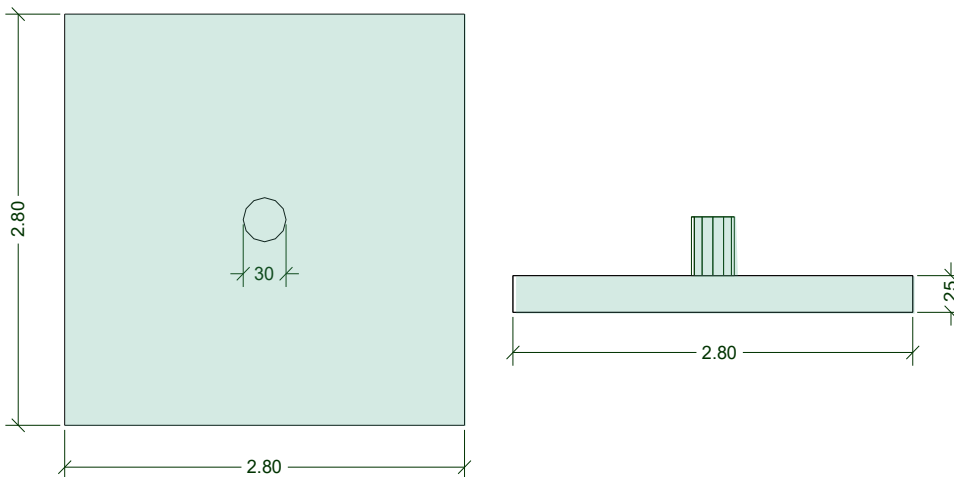


Bild 2.1: Versuchskörper

2.2 BEWEHRUNG

Die Biegezugbewehrung der Platte besteht aus Einzelstäben im Abstand von 100 mm in beiden Richtungen. Dies entspricht bei einem Durchmesser von $d_s = 20$ mm einer nominellen

Bewehrungsmenge von: $a_s = 31,40 \text{ cm}^2/\text{m}$.

bei einer Plattendicke von: $d = 25 \text{ cm}$

und einer Betondeckung von: $c = 2,5 \text{ cm}$

ergeben sich folgende statische Nutzhöhen:

äußere Lage	$h_x =$	21,5 cm
innere Lage	$h_y =$	19,5 cm
mittlere statische Nutzhöhe	$h_m =$	20,5 cm.

Damit errechnet sich der mittlere Bewehrungsprozentsatz zu

$$\rho_m = 1,53 \%$$

Die untere Bewehrung der Versuchskörper **A** bis **M** bestand aus Einzelstäben mit einem Durchmesser $d_s = 12$ mm im Abstand von 150 mm in beiden Richtungen.

Die untere Bewehrung der Versuchskörper **O**, **P** und **Q** bestand aus Einzelstäben im Abstand von 100 mm im Feld und 50 mm im Bereich der Stütze in beiden Richtungen, die einen Durchmesser von $d_s = 12$ mm aufwiesen.

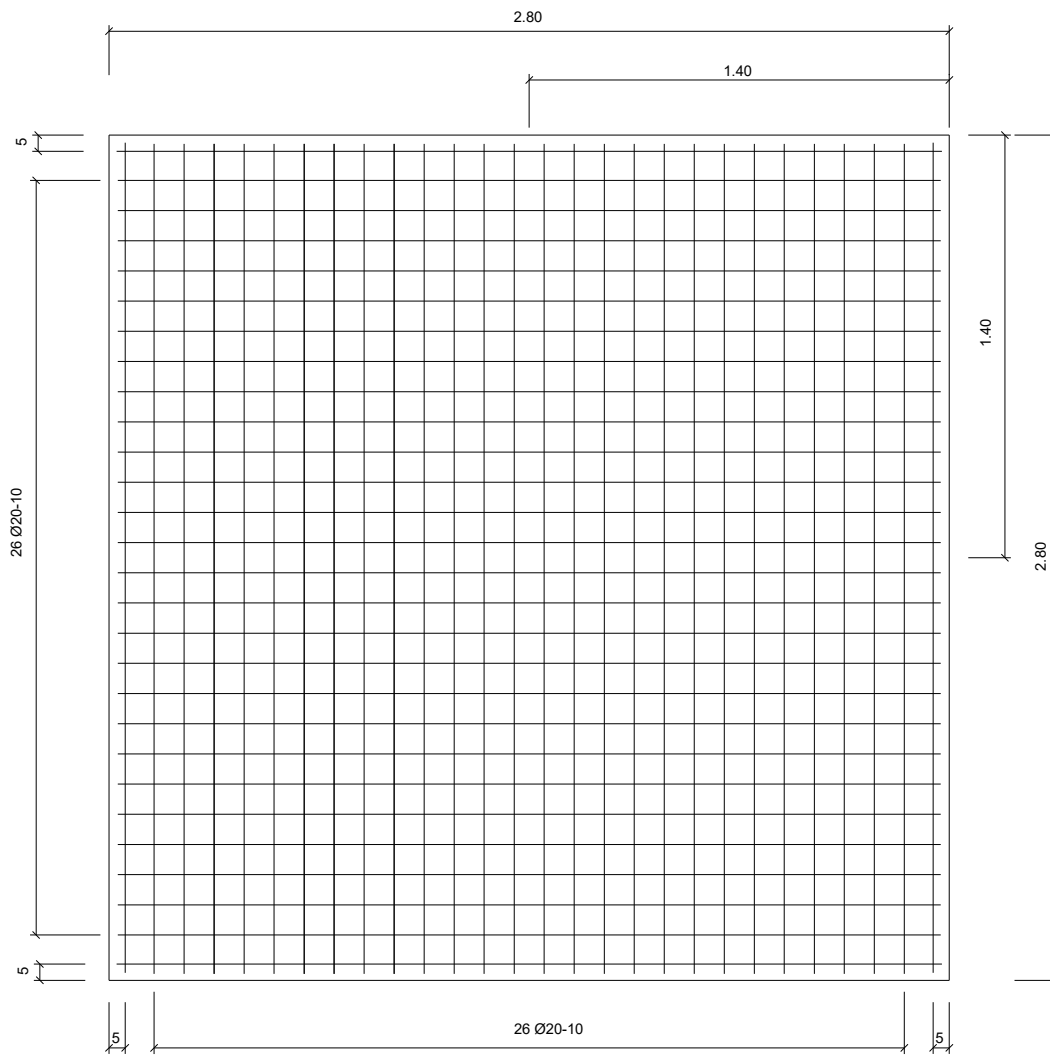
Die untere Bewehrung der Versuchskörper **N**, **R**, **S** und **T** bestand aus Einzelstäben mit einem Durchmesser von $d_s = 12$ mm im Abstand von 150 mm im Feld und 100 mm im Bereich der Stütze in beiden Richtungen. Zur Vermeidung eines fortschreitenden Versagens wurden zusätzlich je 3 Stäbe mit einem Durchmesser von $d_s = 12$ mm über die Stützstreifen hinweggeführt bzw. dort verankert (Fangnetzbewehrung).

Der Stützenstummel bestand aus:

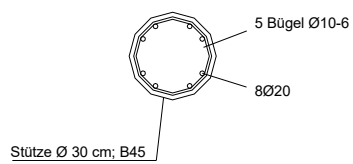
Längsbewehrung	8 Stäbe	mit $d_s = 20$ mm
Querbewehrung	5 geschlossene Bügel	mit $d_s = 10$ mm
	im Abstand von 60 mm.	

Die Längsbewehrung der Stütze ragte 17 cm tief in die Platte hinein.

B-B Obere Lage



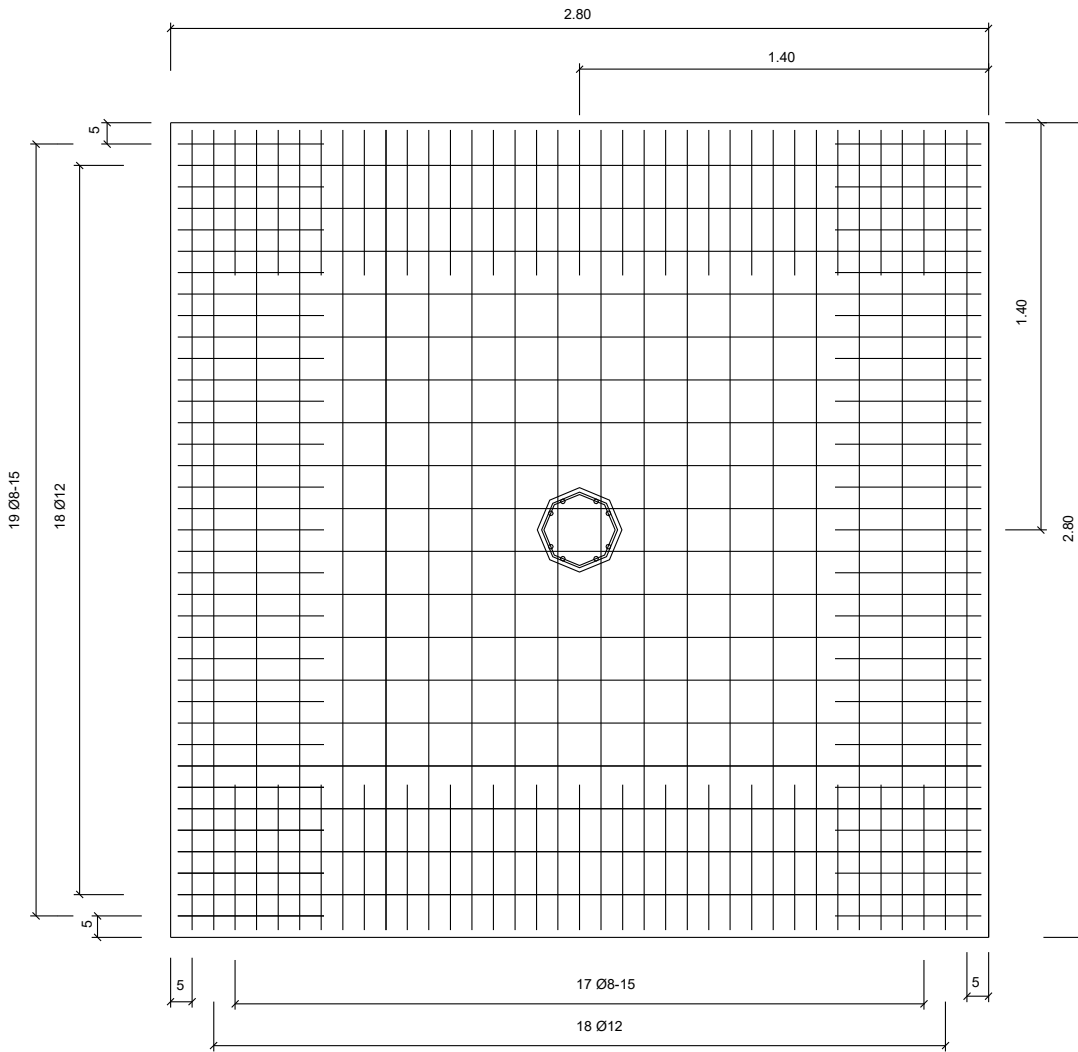
Schnitt a-a



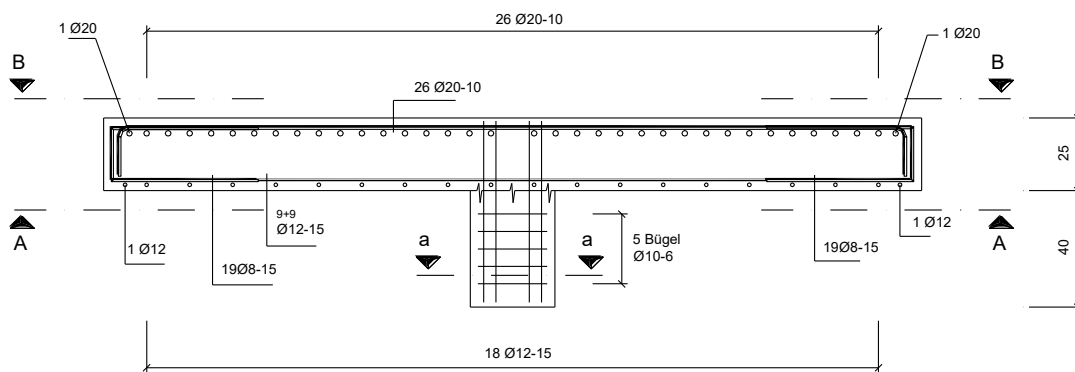
Einheit: m, cm

Bild 2.2.1: Grundbewehrung der oberen Lage der Versuchskörper A bis T

A-A Untere Lage



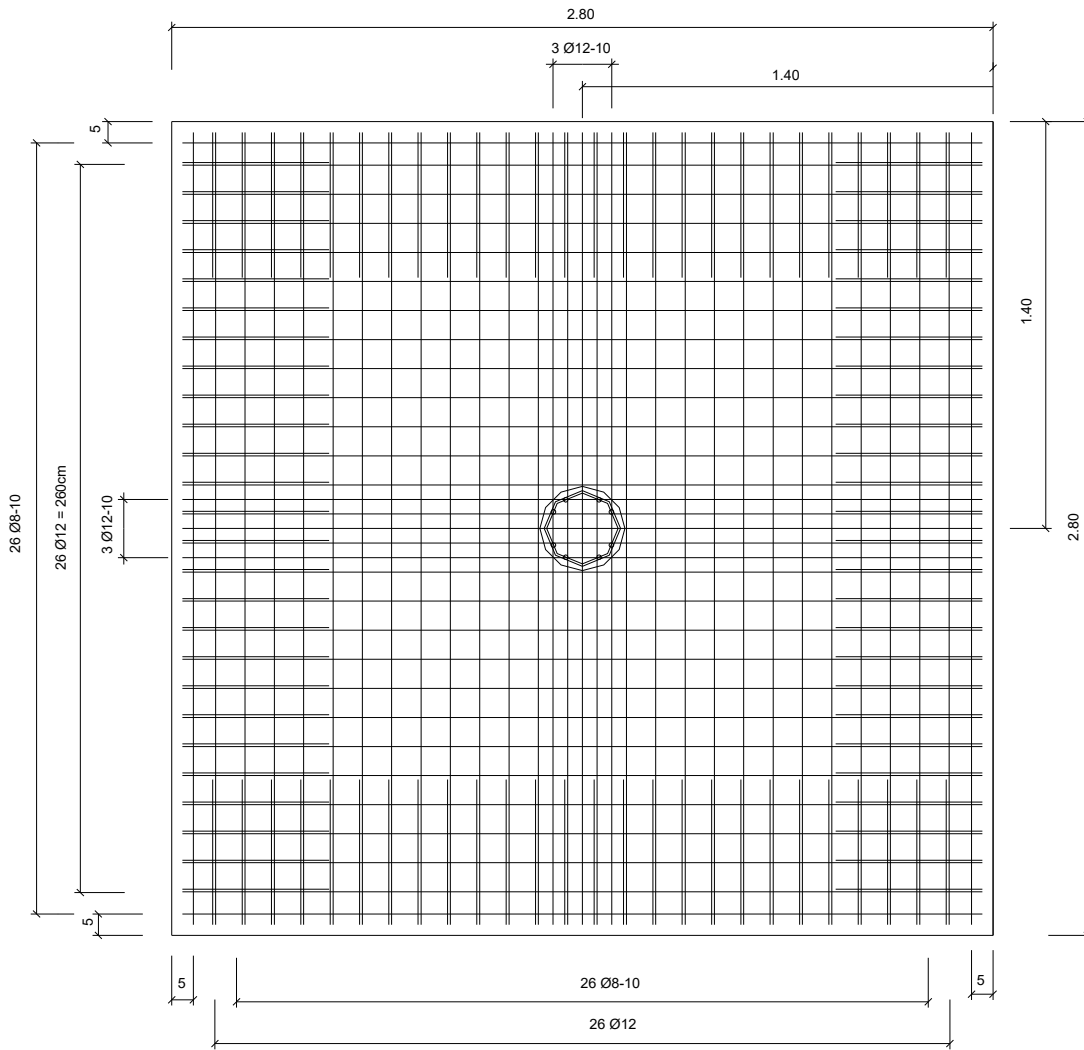
Schnitt 1-1



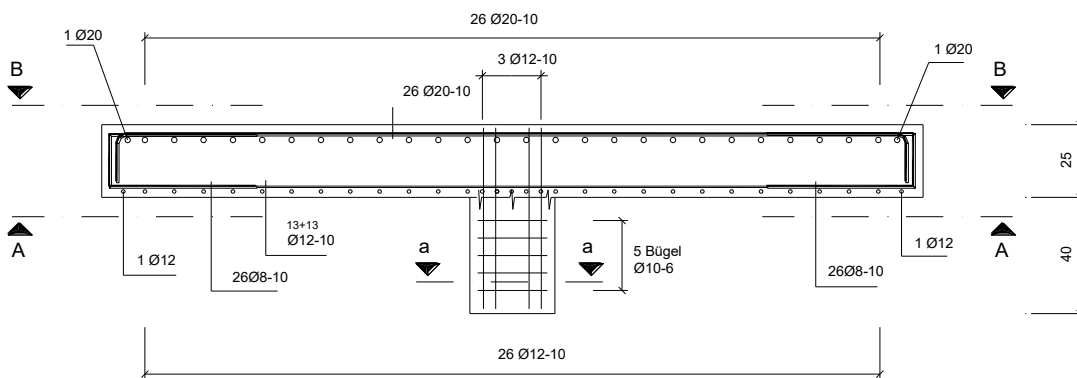
Einheit: m, cm

Bild 2.2.2: Grundbewehrung der unteren Bewehrung der Versuchskörper A bis M

A-A Untere Lage



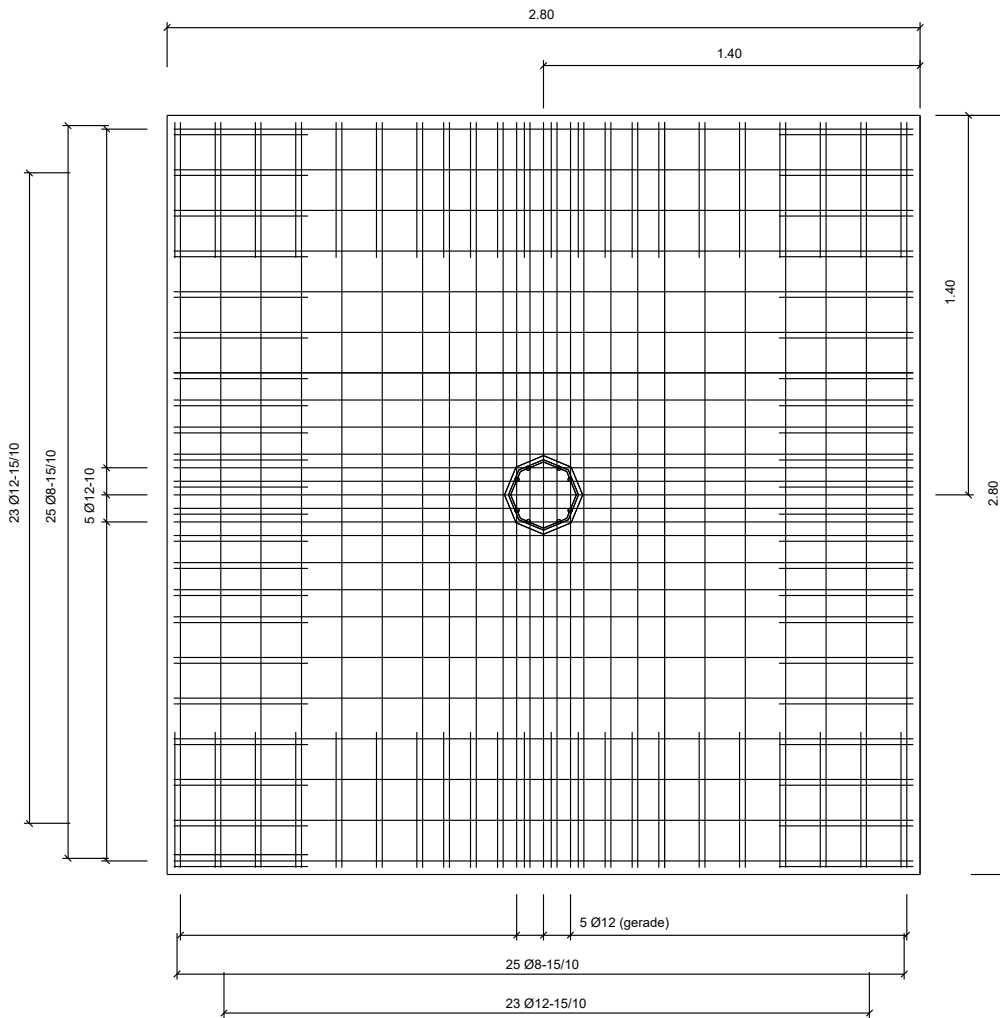
Schnitt 1-1



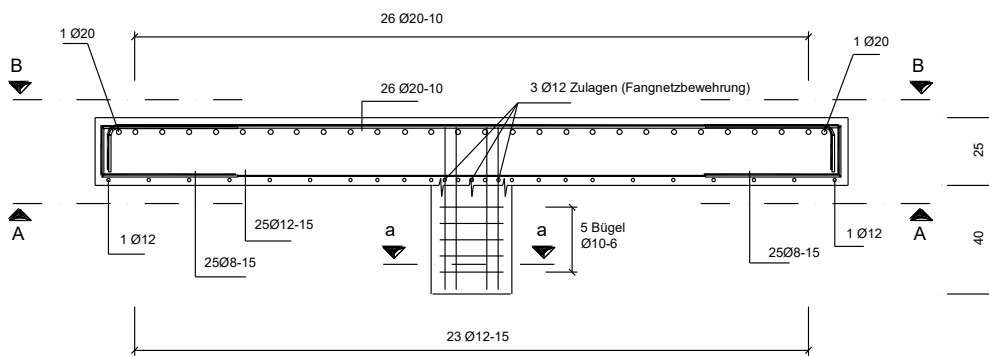
Einheit: m, cm

Bild 2.2.3: Grundbewehrung der unteren Lage der Versuchskörper O, P und Q
mit Fangnetzbewehrung

A-A Untere Lage



Schnitt 1-1



Einheit: m, cm

Bild 2.2.4: Grundbewehrung der unteren Lage der Versuchskörper N, R, S, und T
mit Fangnetzbewehrung

Für diese Versuchsreihe wurden Betonstähle der Güte BSt 500 S verwendet. Geprüft wurden 3 Proben der oberen Bewehrung ($d_s = 20$ mm, Proben 1 bis 3) und drei Proben der unteren Bewehrung ($d_s = 12$ mm, Proben 4 bis 6). Von diesen Proben wurden anhand von Zugversuchen die Materialeigenschaften ermittelt. Die Proben 1 bis 3 wurden vor dem Zugversuch auf 16 mm abgedreht.

Die ermittelten Kennwerte der verwendeten Stähle sind in Tabelle 2.2.1 dargestellt.

		Rippenstahl							
		/1	/2	/3	i. M.	/4	/5	/6	i. M.
Stabdurchmesser	[mm]	20	20	20		12	12	12	
Prüfdurchmesser	[mm]	16	16	16		12	12	12	
Prüfquerschnitt	[mm ²]	201	201	201		113	113	113	
Streckgrenze	[N/mm ²]	492	494	500	495	503	485	494	494

Tabelle 2.2.1: Kenndaten der verwendeten Stähle

2.3 BETON

Der für die Platten der Versuchskörper benötigte Beton wurde im Betonwerk hergestellt und geliefert.

Für jeden Körper wurden je 3 Probewürfel mit den Kantenlängen von 150 mm hergestellt. Zwei der drei Würfel wurden am gleichen Tag wie die Platte geprüft. Die Festigkeit des Dritten Würfels wurde im Allgemeinen nach 28 Tagen ermittelt.

3 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

3.1 VERSUCHSANLAGE

Der Aufbau der Versuchsanlage bedingte den Einbau der Platte mit dem Stützenstummel nach oben zeigend in den Spannfeldrahmen.



Bild 3.1.1: Versuchsaufbau zur Untersuchung von Innenstützen

Durch neun Einzellasten in einer Kreisanordnung mit einem Radius von $r = 1,08 \text{ m}$ wurde der Idealfall einer rotationssymmetrischen Belastung für den Versuchsaufbau angenähert. Dieser Radius entsprach etwa der Lage des Nullkreises der Radialmomente. Bei Flachdeckenausschnitten wird deshalb dieser Nullkreis der Radialmomente als Belastungskreis angenommen, in welchem näherungsweise die Linienlast $P / \pi * D$ ($P =$ Stützenlast, $D =$ Durchmesser des Belastungskreises) angreift.

Die Einzellasten wurden jeweils über zentrisch gelagerte, runde Druckplatten mit einem Durchmesser von $D = 0,20 \text{ m}$ auf die Plattenoberseite übertragen. Bei den gewählten Außenabmessungen der Platte von $2,80 \text{ m} * 2,80 \text{ m}$ war somit ein ausreichender Plattenüberstand gewährleistet, um die Biegezugbewehrung zu verankern.

Die neun hydraulischen Einzelzylinder wurden untereinander zu einem Ölkreislauf verbunden. Dadurch wurde gewährleistet, dass stets alle neun Einzellasten gleich groß waren, unabhängig von unplanmäßigen Verschiebungen der Belastungskonstruktion und von unsymmetrischen Verformungen der Versuchsplatte, wie sie durch Rissbildung entstehen.



Bild 3.1.2: Anordnung der hydraulischen Einzelzylinder zur Erzeugung der Belastungen

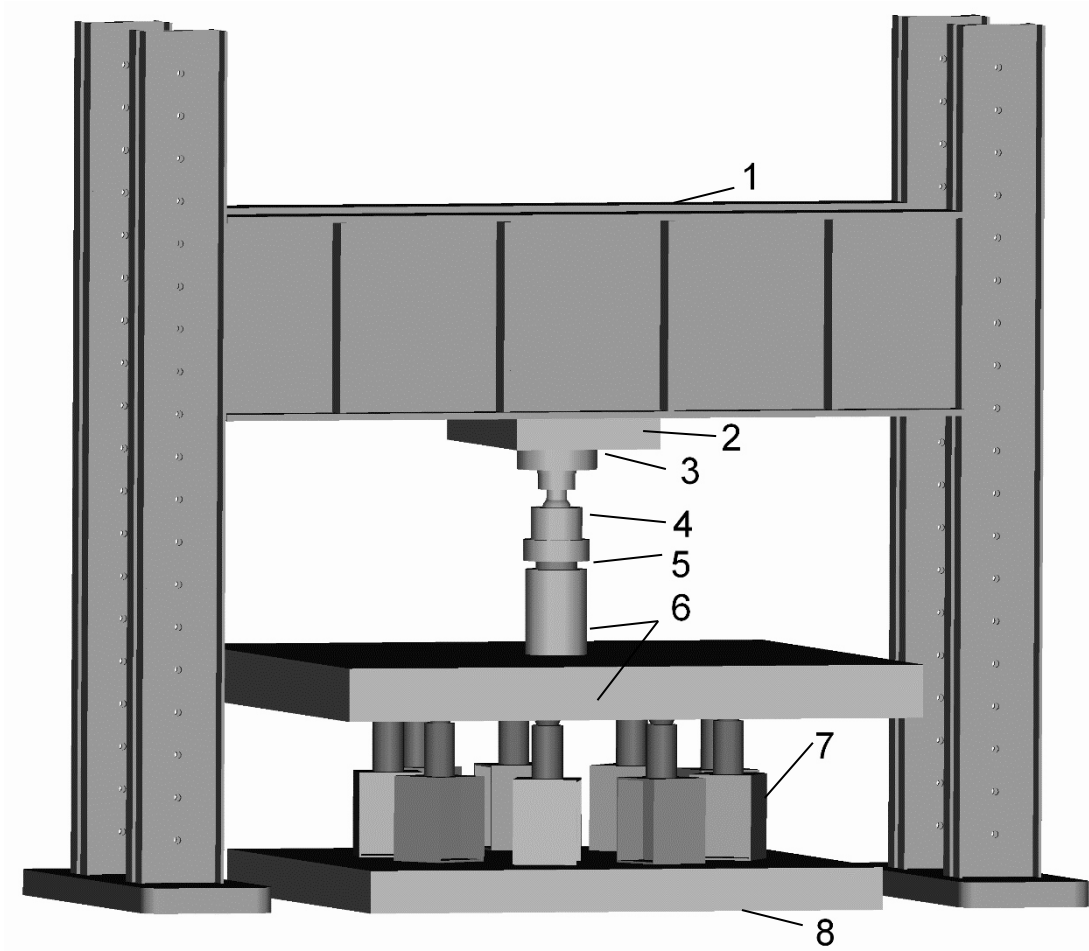


Bild 3.1.3: Prinzipieller Versuchsaufbau

- 1 Vorhandener Spannungsfeldrahmen der Firma MFL
- 2 Stahlplatte $d = 150 \text{ mm}$
- 3 Kraftmessdose 2000 kN
- 4 Kugelgelenk
- 5 Gleitlager
- 6 Prüfkörper
- 7 9 Prüfsylinder mit zentrisch gelagerten Druckplatten, je 200 kN ,
auf HEA 400 Unterstellstützen
- 8 Druckverteilende Platte $d = 20 \text{ cm}$; B35

3.2 MESSUNGEN

In den Versuchen wurden Messungen der Platten - Durchbiegungen, der Plattendicke im Bereich des Durchstanzkegels und Kraftmessungen über die Kraftmessdose der Versuchsanlage, sowie Messungen mit Dehnungsmessstreifen (DMS) durchgeführt.

Zur Ermittlung der Durchbiegung wurden an den Versuchskörpern induktive Wegaufnehmer (Bild 3.2.1 und Bild 3.2.2) mit unterschiedlichen Messweglängen verwendet.

Die Abstände, sowie die Anordnung der Messstellen für den Versuchskörper J sind beispielhaft in den Bildern 3.2.3 und Bild 3.2.4 dargestellt.



Bild 3.2.1: Wegaufnehmer an der Oberseite der Platte



Bild 3.2.2: Wegaufnehmer an der Unterseite der Platte

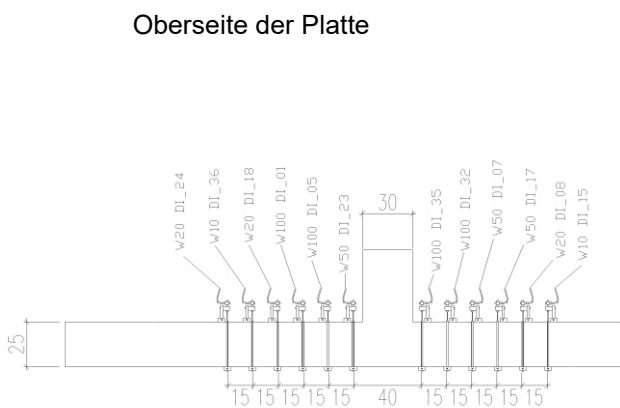


Bild 3.2.3: Schnitt A - A (Versuchskörper J)

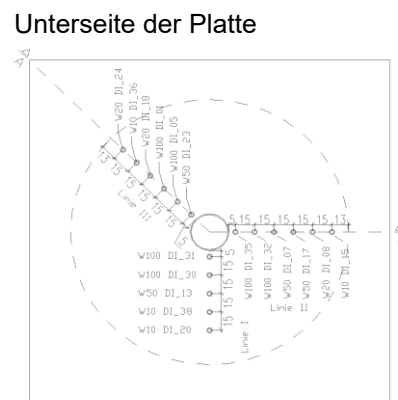


Bild 3.2.4: Draufsicht (Versuchskörper J)

Zur Dickenmessung wurden ebenfalls induktive Wegaufnehmer nach Durchbohrung der Platten an den vorgesehenen Stellen angeordnet (Bild 3.2.1). Mit einer durch die Bohrung geführten Tastspitze sind die Veränderungen der Plattendicke messbar.

Die genaue Position der Wegaufnehmer variierte in den Versuchen.

3.3 VERSUCHSVORBEREITUNGEN UND ABLÄUFE

Nach dem Einbau des Versuchskörpers in die Prüfmaschine und der Montage der Lastübertragungskonstruktion wurden die zur Durchbiegungs- und Dickenmessung notwendigen induktiven Wegaufnehmer installiert und abgeglichen.

Die Versuch - Durchführungen erfolgten durch Kraftregelung mittels der zentralen Kraftmessdose.

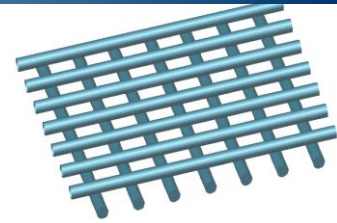
Bei den Versuchen wurde die Last zunächst kontinuierlich auf eine Grundlast hochgefahren. Die Versuchskörper A bis I hatten eine Grundlast von 100 kN und die Versuchskörper J bis T von 50 kN. Nach Erreichen der Grundlast erfolgte eine Weiterbelastung auf die vorab näherungsweise ermittelte Gebrauchslast. Danach wurde wieder auf den Wert der Grundlast entlastet. Dieser Lastwechsel zwischen Grund- und Gebrauchslast wurde 10-mal wiederholt, um das Rissbild auszuprägen. Nach der zehnten Lastwiederholung bis zur Gebrauchslast wurde die Belastung bis zum Bruch kontinuierlich gesteigert.

Die Messwerte wurden mit Hilfe einer Vielstellenmessanlage erfasst und abgespeichert.

4 BESCHREIBUNG UND VERSUCHSERGEBNISSE DER KÖRPER

4.1 VERSUCHSKÖRPER A

Ohne Einbauteile - nur Grundbewehrung



Alter: 67 Tage

$f_{c, \text{cube, dry}}$: 60,1 N/mm²

10 Lastwechsel zwischen 100 kN und 600 kN

V_u : 1253 kN

Bruchlast



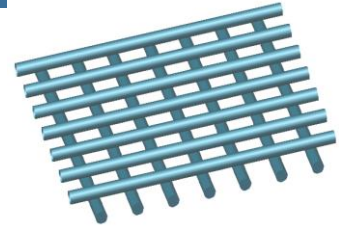
Bild 4.1: Rissverlauf des Versuchskörpers A

4.2 VERSUCHSKÖRPER B

Ohne Einbauteile - nur Grundbewehrung

Alter: 104 Tage

$f_{c, \text{cube, dry}}$: 58 N/mm²



10 Lastwechsel zwischen 100 kN und 650 kN

V_u : 1190 kN

Bruchlast

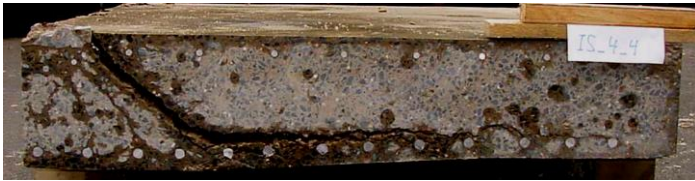


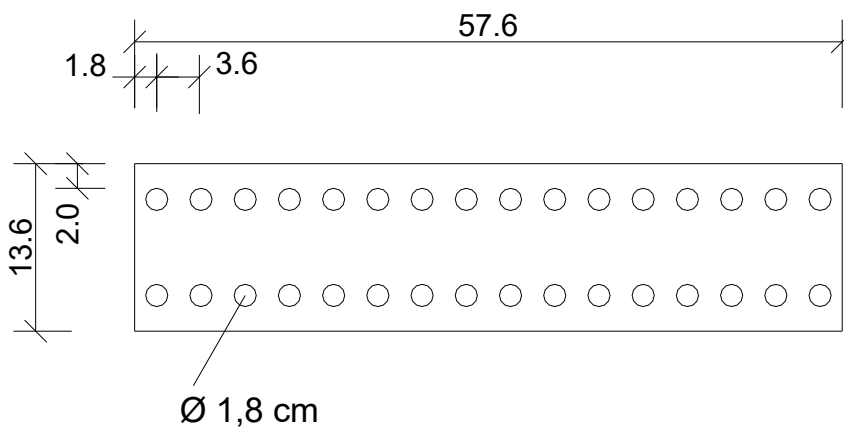
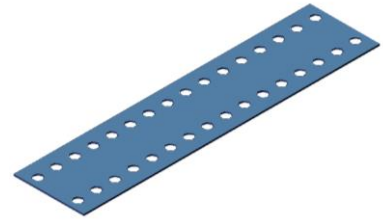
Bild 4.2: Durchstanzkegel Versuchskörper B

Der Durchstanzkegel verläuft in einem Winkel im Mittel von 27 °

4.3 VERSUCHSKÖRPER C

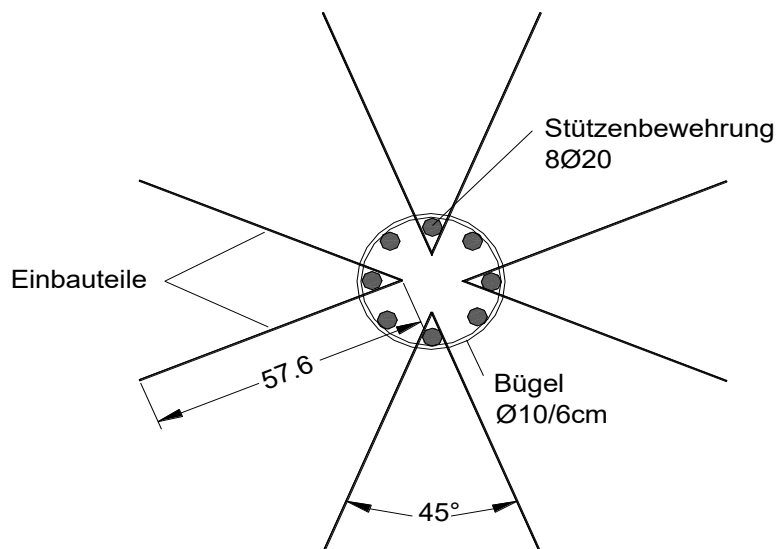
Einbauteil:

Dicke: 3,0 mm
Stahlgüte: St 52
Streckgrenze: 524 N/mm²
Abmessungen: Länge: 57,6 cm
Höhe: 13,6 cm



Stückzahl der Einbauteile: 4

Anordnung: V-förmig in einem Winkel von 45°



Alter: 77 Tage

$f_{c, \text{cube, dry}}$: 42 N/mm²

10 Lastwechsel zwischen 100 kN und 600 kN

V_u : 1231 kN

Bruchlast



Bild 4.3: Durchstanzkegel Versuchskörper C

Der Durchstanzkegel verläuft in einem Winkel im Mittel von 29,5 °

4.4 VERSUCHSKÖRPER D

Einbauteil:

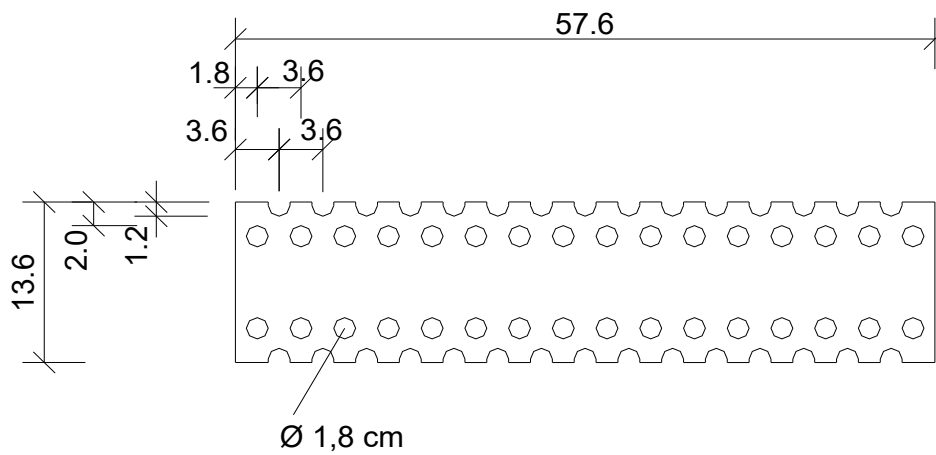
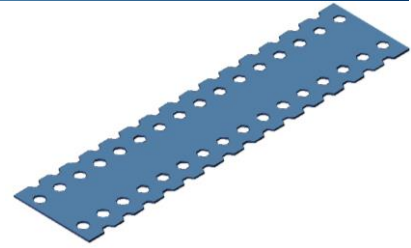
Dicke: 3,0 mm

Stahlgüte: St 52

Streckgrenze: 524 N/mm²

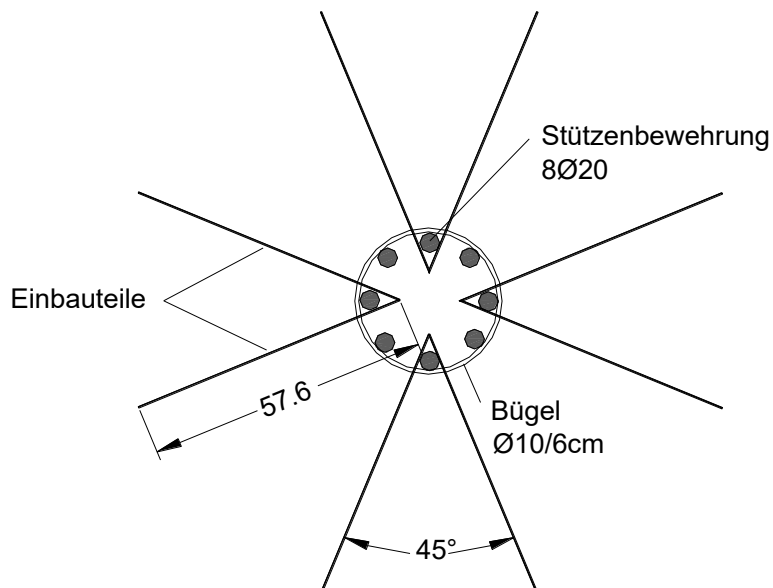
Abmessungen: Länge: 57,6 cm

Höhe: 13,6 cm



Stückzahl der Einbauteile: 4

Anordnung: V-förmig in einem Winkel von 45°



Alter: 17 Tage

$f_{c, \text{cube, dry}}$: 26 N/mm²

10 Lastwechsel zwischen 100 kN und 500 kN

V_u : **786 kN**

Bruchlast

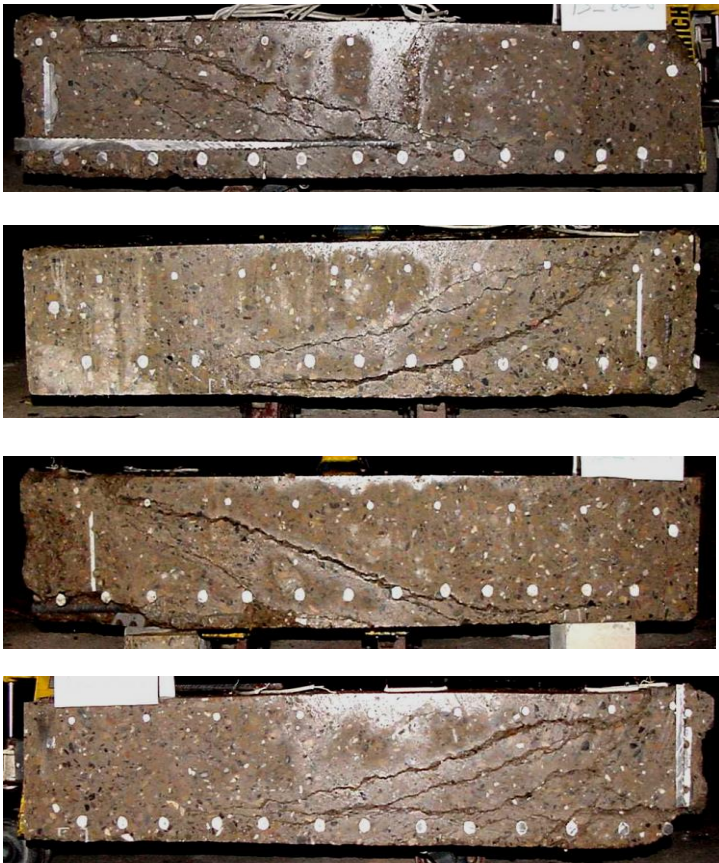


Bild 4.4: Durchstanzkegel Versuchskörper D

Der Durchstanzkegel verläuft unter einem Winkel im Mittel von 23 °

4.5 VERSUCHSKÖRPER E

Einbauteil:

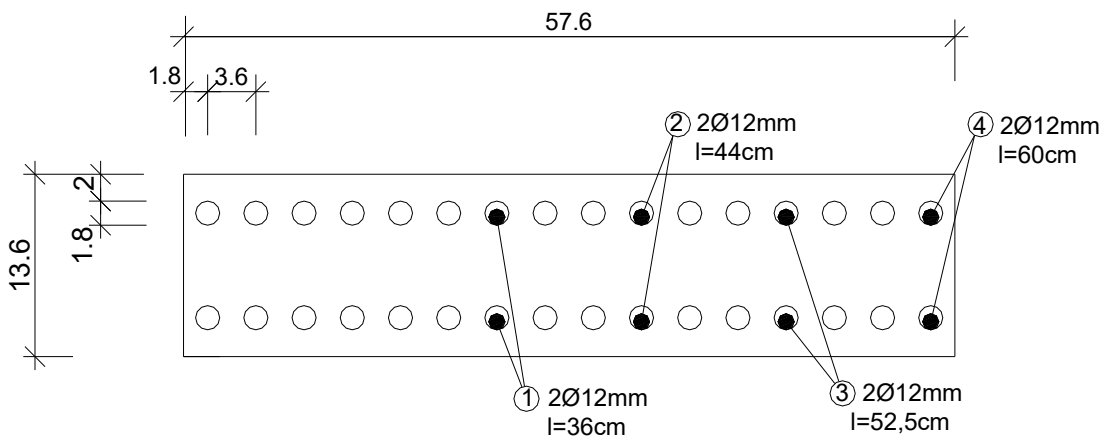
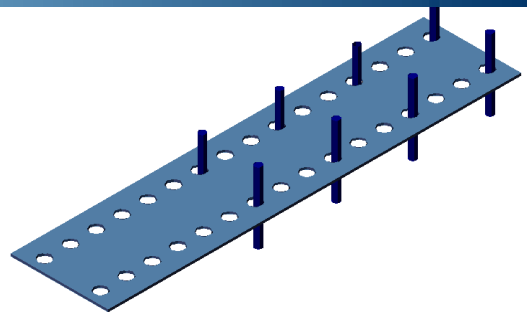
Dicke: 3,0 mm

Stahlgüte: St 52

Streckgrenze: 524 N/mm²

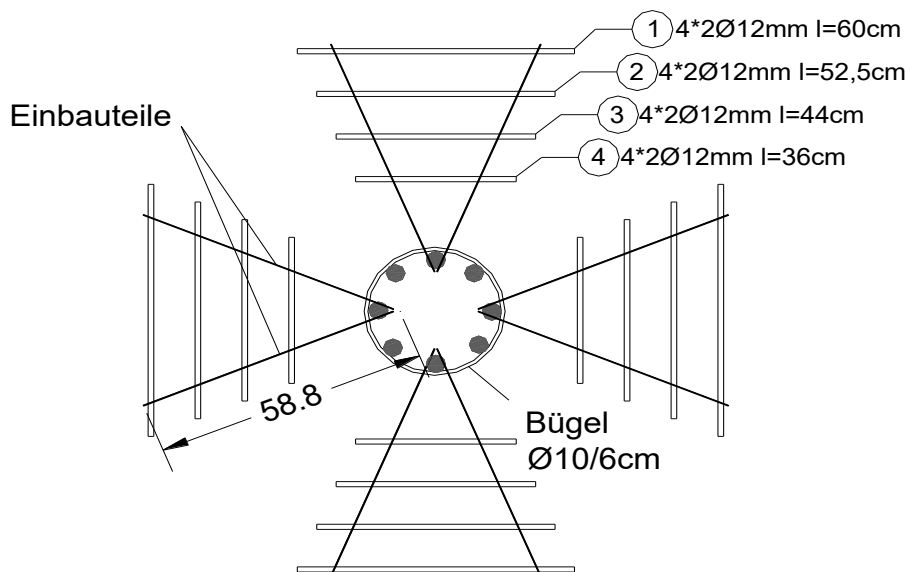
Abmessungen: Länge: 57,6 cm

Höhe: 13,6 cm



Stückzahl der Einbauteile: 4

Anordnung: V-förmig in einem Winkel von 45°



Alter: 19 Tage

$f_{c, \text{cube, dry}}$: 52 N/mm²

10 Lastwechsel zwischen 100 kN und 600 kN

V_u : **1321 kN**

Bruchlast

4.6 VERSUCHSKÖRPER F

Einbauteil:

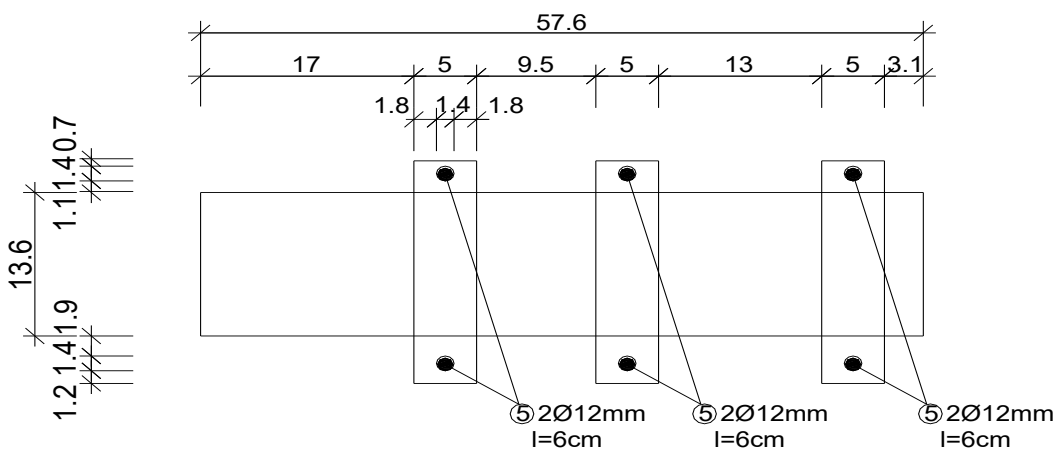
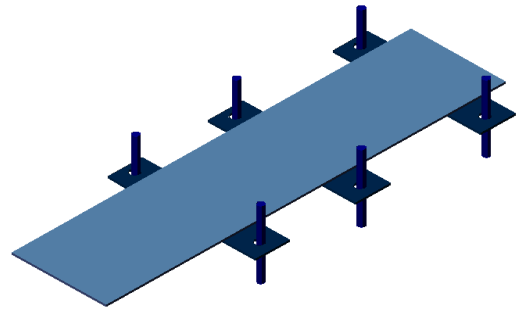
Dicke: 3,0 mm

Stahlgüte: St 52

Streckgrenze: 524 N/mm²

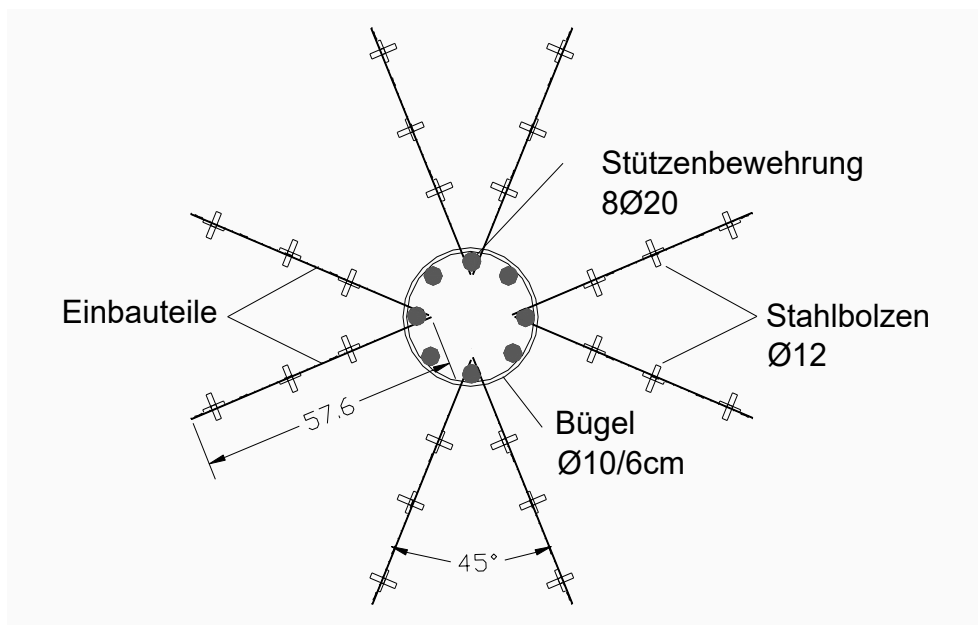
Abmessungen: Länge: 57,6 cm

Höhe: 13,6 cm



Stückzahl der Einbauteile: 4

Anordnung: V-förmig in einem Winkel von 45°



Alter: 8 Tage

$f_{c, \text{cube, dry}}$: 49 N/mm²

10 Lastwechsel zwischen 100 kN und 600 kN

V_u : **1610 kN**

Bruchlast

4.7 VERSUCHSKÖRPER G

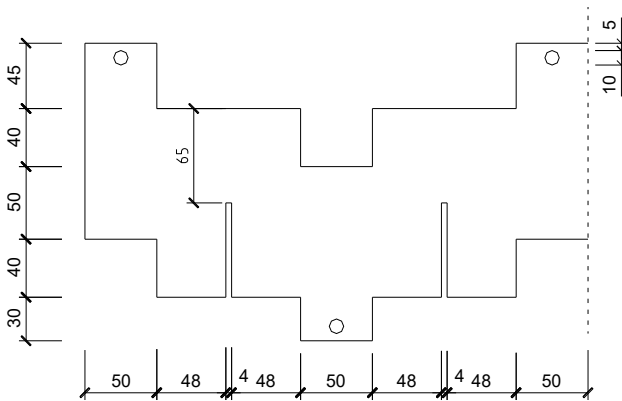
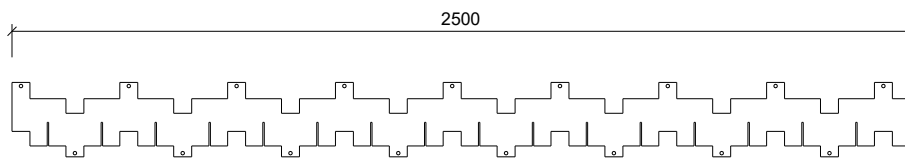
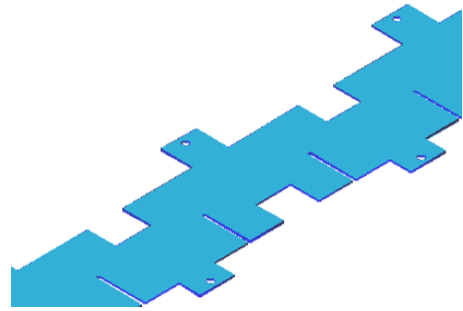
Einbauteil:

Dicke: 3,0 mm

Stahlgüte: St 37

Abmessungen: Länge: 250,0 cm

Höhe: 20,5 cm



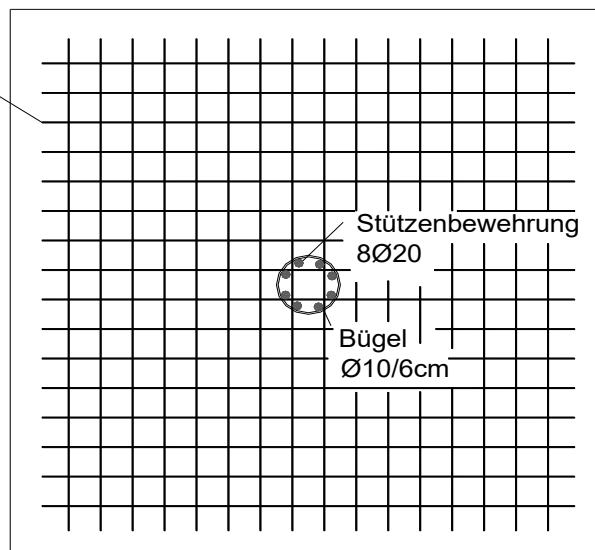
Einheiten: mm

Stückzahl der Einbauteile: **32**

Anordnung:

Einbauteil
32 Stk.
2500/205/3,0

Über den gesamten Plattenbereich wird in beiden Richtungen ein Stab $d = 8\text{mm}$ alle 15 cm durch das Blech, zur Umgreifung der Ober- und Unterbewehrung eingeschoben.



Alter: 15 Tage

$f_{c \text{ cube}}$: 51 N/mm²

10 Lastwechsel zwischen 100 kN und 500 kN

V_u : **1200 kN**

Bruchlast

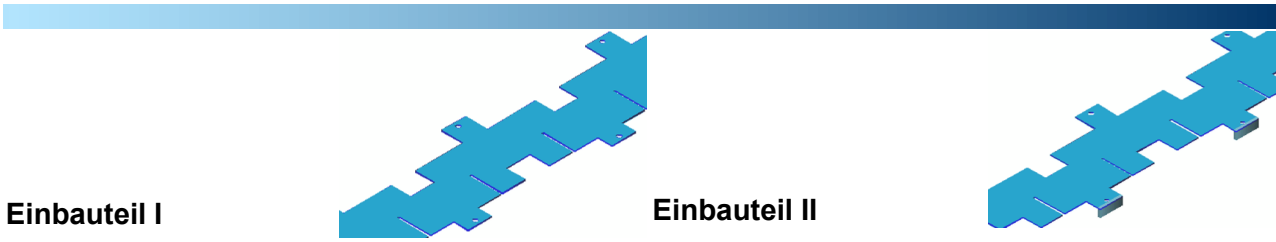


Bild 4.7.1: Risse und Abplatzungen
der Betondeckung



Bild 4.7.2: Deutliche Verformung der Umfassungsbewehrung

4.8 VERSUCHSKÖRPER H

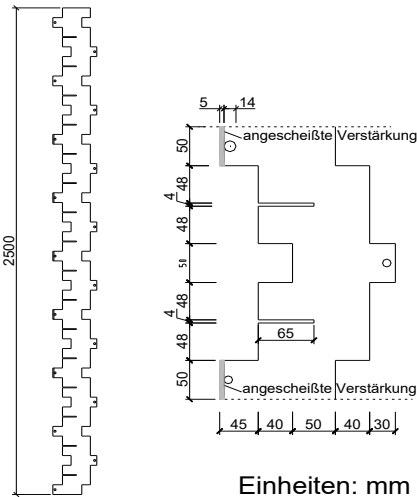
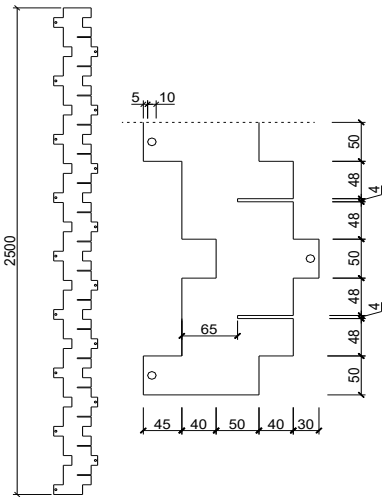


Dicke: 3 mm

Stahlgüte: St 37

Abmessungen: Länge: 250,0 cm

Höhe: 20,5 cm



Einheiten: mm

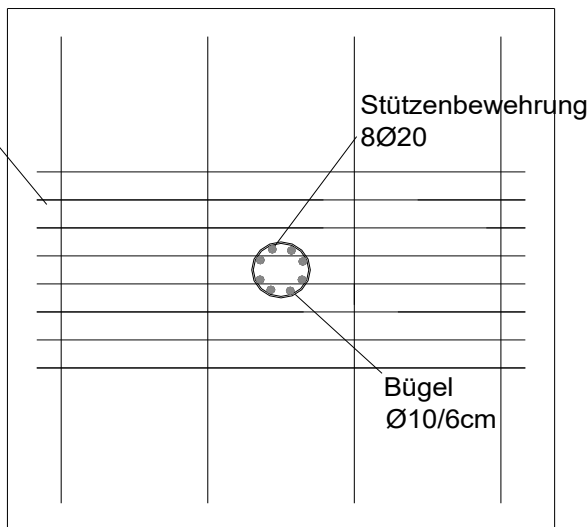
Einbauteil I 4 Stk.

Einbauteil II 8 Stk.

Anordnung:

Einbauteil mit
Randverstärkung

Zur Umschnürung
der Ober- und
Unterbewehrung
wird unten ein Stab
 $d = 12$ mm und
oben ein Stab
 $d = 8$ mm, alle 15
cm durch das Blech
geschoben.



Alter: 12 Tage

$f_{c \text{ cube}}$: 45 N/mm²

10 Lastwechsel zwischen 100 kN und 500 kN

V_u : **969 kN**

Bruchlast



Bild 4.8.1: Durchstanzbereich -kreisförmig ausgebildet-



Bild 4.8.2: Versagen der Umschnürung und Grundbewehrung

4.9 VERSUCHSKÖRPER I



Einbauteil I

Einbauteil II

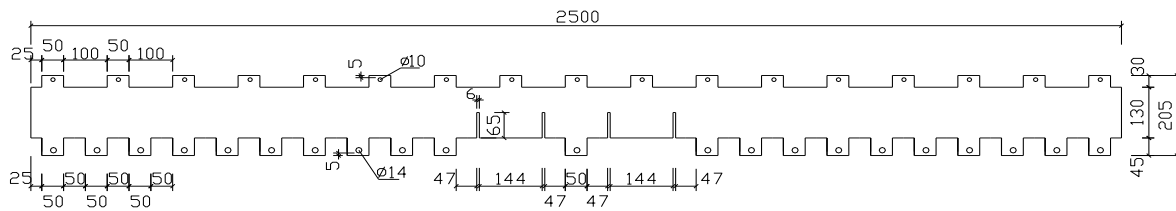
Dicke: 5 mm

Stahlgüte: St 37

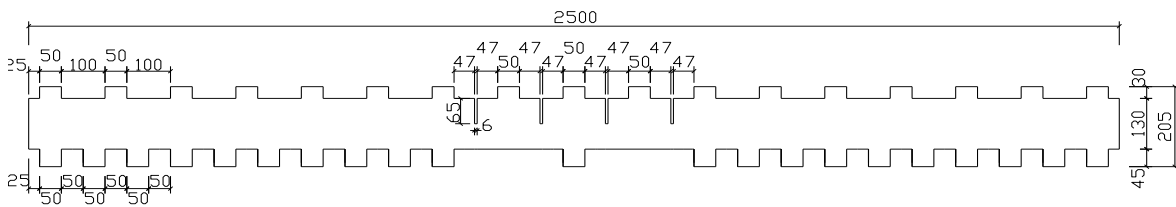
Abmessungen: Länge: 250,0 cm

Höhe: 20,5 cm

Einbauteil I: 2500/205/5



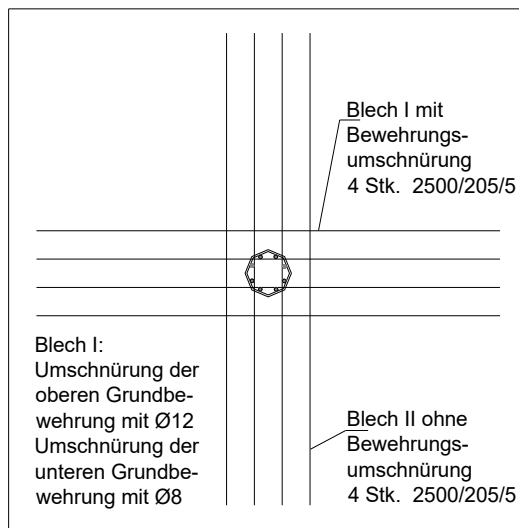
Einbauteil II: 2500/205/5



Einbauteil I 4 Stk.

Einbauteil II 4 Stk.

Anordnung:



Alter: 18 Tage

$f_{c \text{ cube}}$: 51 N/mm²

10 Lastwechsel zwischen 100 kN und 500 kN

V_u : **1499 kN**

Bruchlast



Bild 4.9.1: Durchstanzbereich mit Risse in Richtung der zur Umschnürung der Bewehrung vorgesehenen Einbauteile

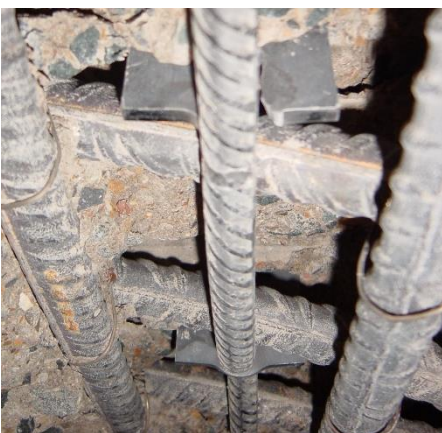


Bild 4.9.2: Durchtrennte Bohrung



Bild 4.9.3: Durchtrenntes Blech

4.10 VERSUCHSKÖRPER J



Einbauteil I

Einbauteil III

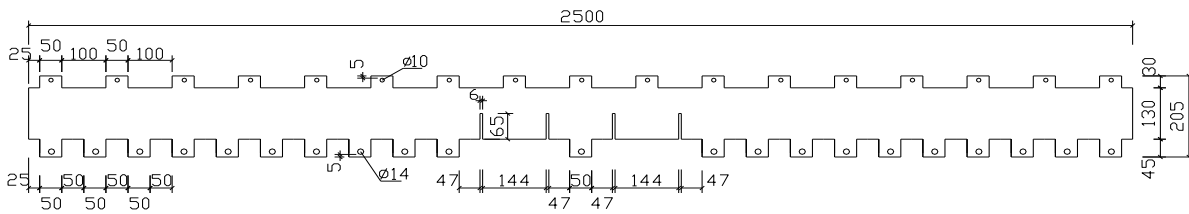
Dicke: 5 mm

Stahlgüte: St 37

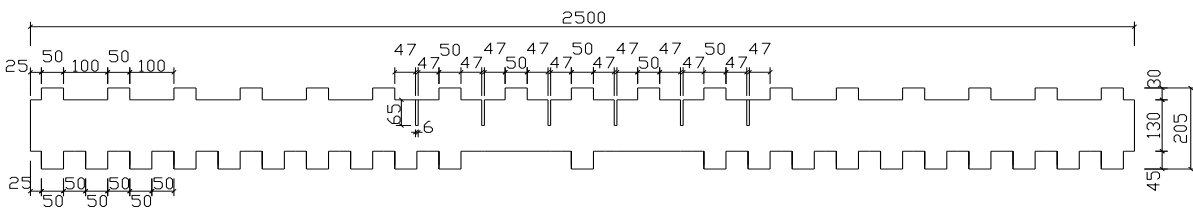
Abmessungen: Länge: 250,0 cm

Höhe: 20,5 cm

Einbauteile I: 2500/205/5



Einbauteile III: 2500/205/5

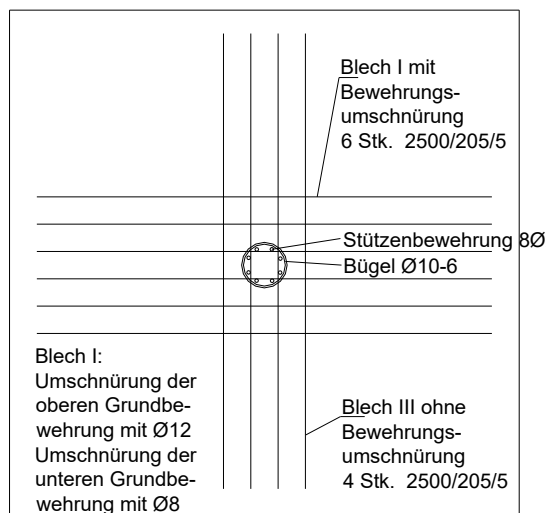


Einheiten: mm

Einbauteil I 6 Stk.

Einbauteil III 4 Stk.

Anordnung:



Alter: 8 Tage

$f_{c \text{ cube}}$: 27 N/mm²

10 Lastwechsel zwischen 50 kN und 300 kN

V_u : 1300 kN

Bruchlast



4.10.1: Durchstanzbereich -oval-

4.11 VERSUCHSKÖRPER K

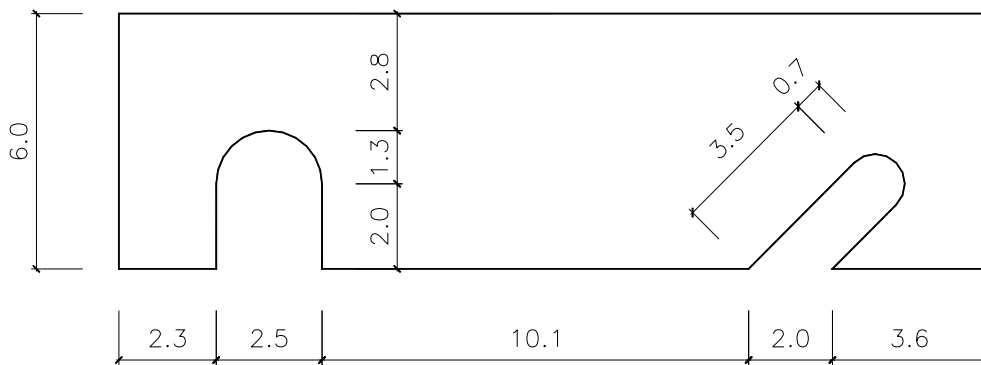
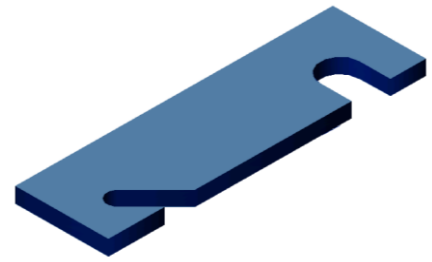
Einbauteil

Dicke: 10 mm

Stahlgüte: St 37

Abmessungen: Länge: 20,5 cm

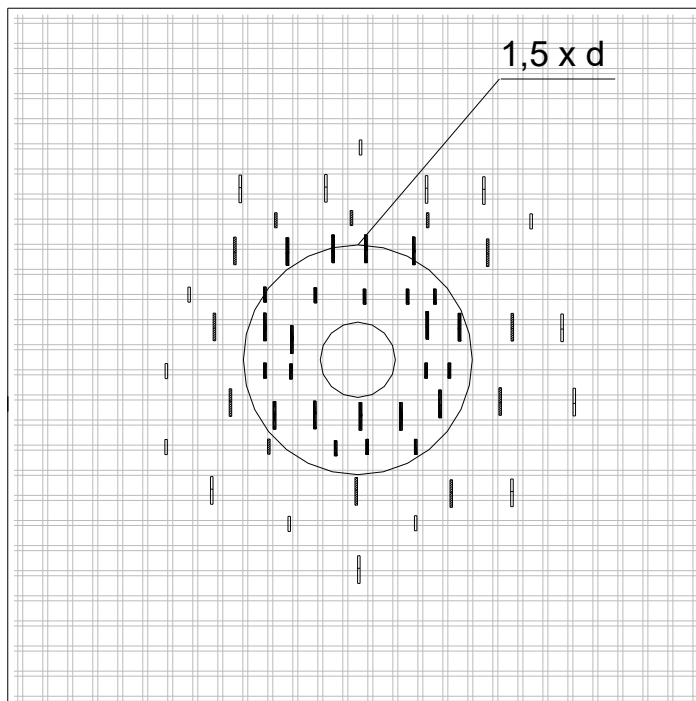
Höhe: 6,0 cm



Stückzahl der

Einbauteile: 53

Anordnung:



Alter: 19 Tage

$f_{c \text{ cube}}$: 32 N/mm²

10 Lastwechsel zwischen 50 kN und 400 kN

V_u : **1095 kN**

Bruchlast



Bild 4.11.1: Durchstanzbereich - $1,5 \times d$ -



Bild 4.11.2: Aufbiegung der Einbauteile



Bild 4.11.3: Durchbiegung der Bewehrung
am Stützen-Rand

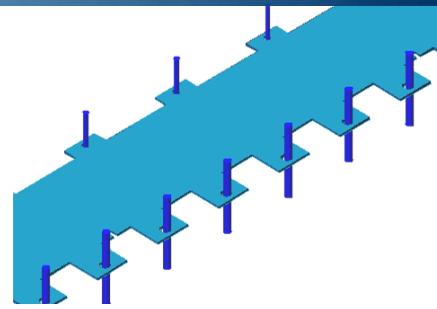
4.12 VERSUCHSKÖRPER L

Einbauteil

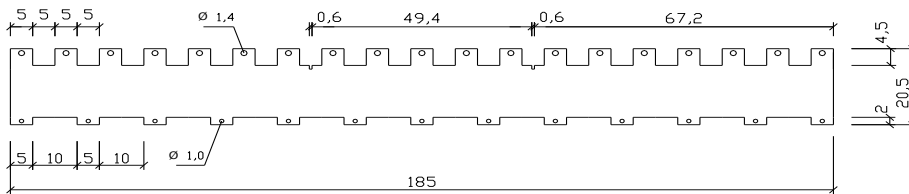
Dicke: 5 mm

Stahlgüte: St 52

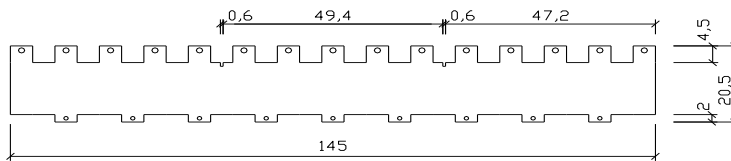
Abmessungen: Einbauteil I 185 / 20,5 cm
 Einbauteil II 145 / 20,5 cm
 Einbauteil III 85 / 20,5 cm



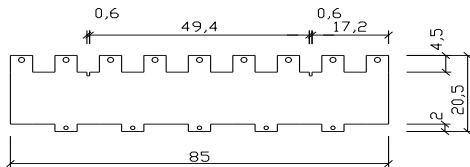
Einbauteil I



Einbauteil II

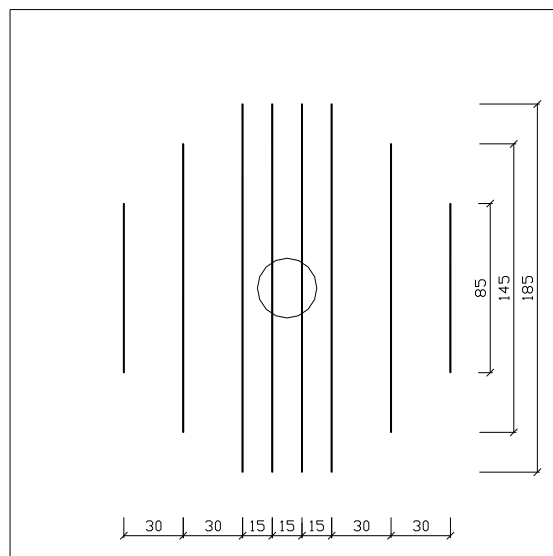


Einbauteil III



Stückzahl Einbauteil I : 4
 Einbauteil II : 2
 Einbauteil III : 2

Anordnung:



Alter: 7 Tage

$f_{c \text{ cube}}$: 33 N/mm²

10 Lastwechsel zwischen 50 kN und 400 kN

V_u : 1371 kN

Bruchlast



Bild 4.12.1: Versagen im Belastungsbereich



Bild 4.12.2 und 4.12.3: Verformung der Einbauteile

4.13 VERSUCHSKÖRPER M

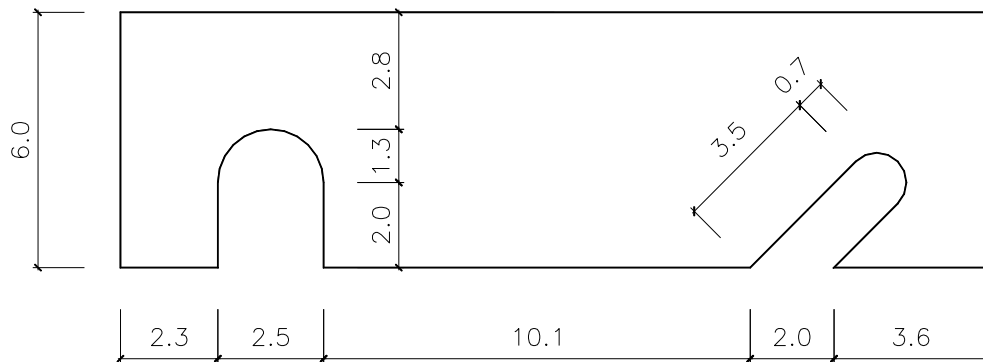
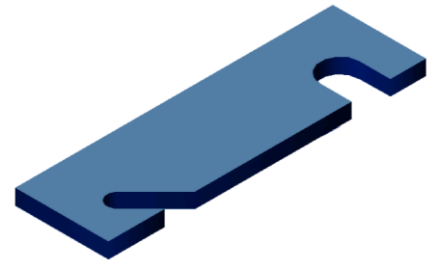
Einbauteil

Dicke: 10 mm

Stahlgüte: St 37

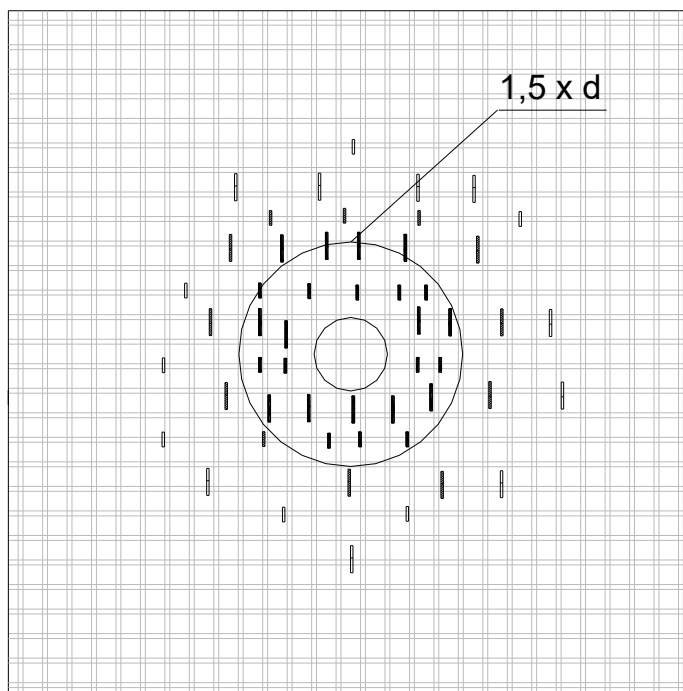
Abmessungen: Länge: 20,5 cm

Höhe: 6,0 cm



Stückzahl der Einbauteile: 53

Anordnung:



Alter: 10 Tage

$f_{c \text{ cube}}$: 35 N/mm²

10 Lastwechsel zwischen 50 kN und 400 kN

V_u : **1084 kN**

Bruchlast



Bild 4.13.1: Bruchbild nach



Bild 4.13.2 und 4.13.3: Unverformte Einbauteile

4.14 VERSUCHSKÖRPER N

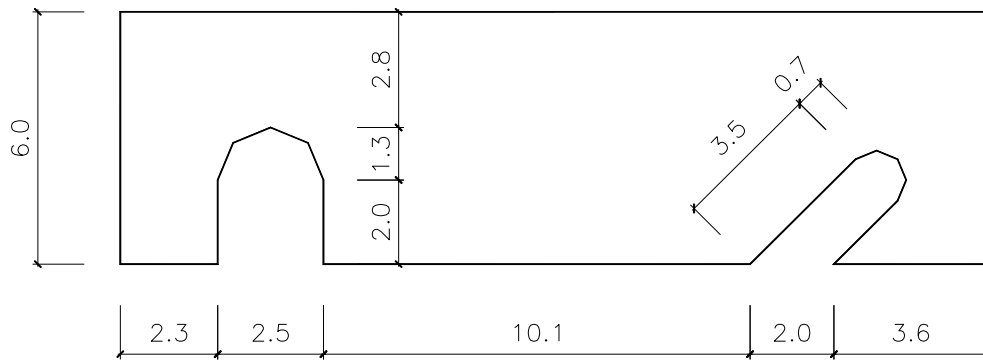
Einbauteil

Dicke: 3 mm

Stahlgüte: St 52

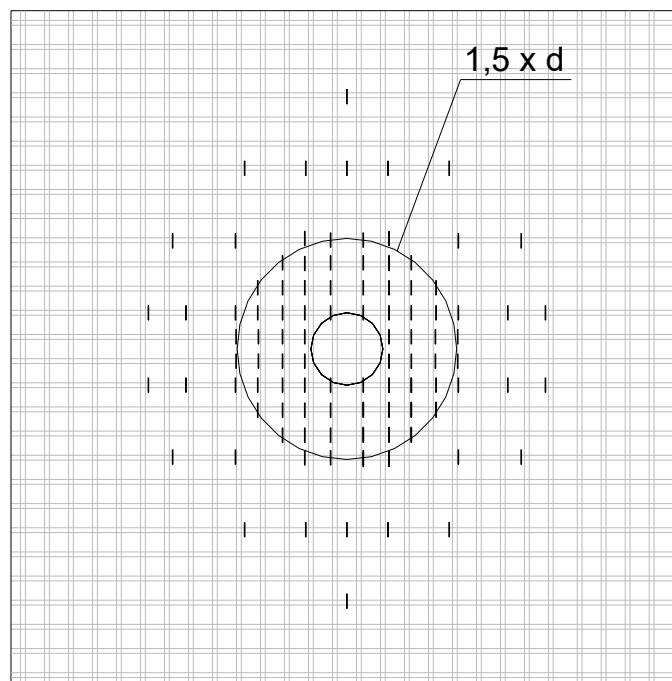
Abmessungen: Länge: 20,5 cm

Breite: 6,0 cm



Stückzahl der Einbauteile: 100

Anordnung:



Alter: 10 Tage

$f_{c \text{ cube}}$: 32 N/mm²

10 Lastwechsel zwischen 50 kN und 400 kN

V_u : **1264 kN**

Bruchlast



Bild 4.14.1: Bruchbild nach dem Freistimmen

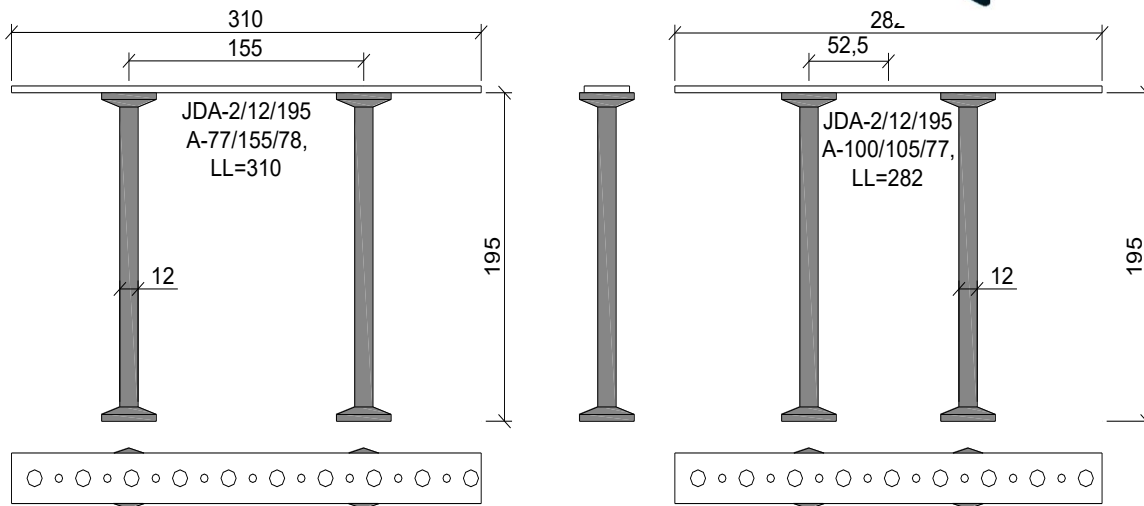
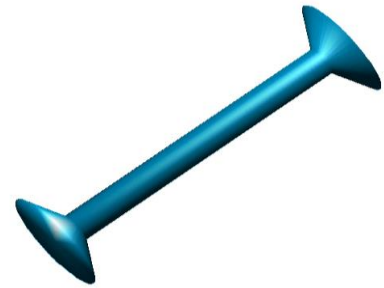


Bild 4.14.2 und 4.14.3: Verformte Einbauteile

4.15 VERSUCHSKÖRPER O

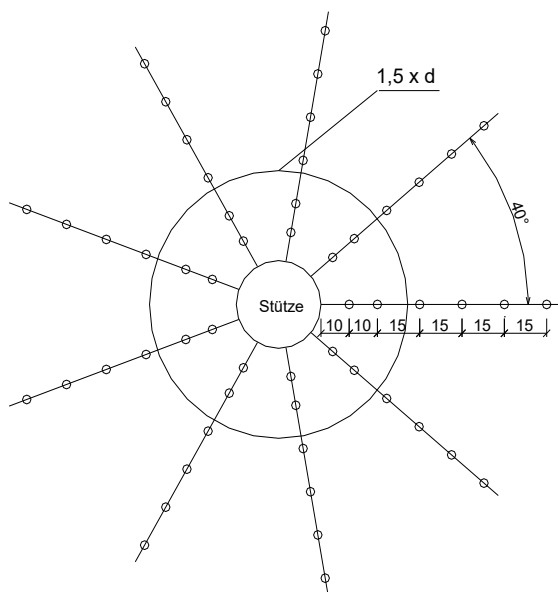
Einbauteil: Johrdahl Doppelköpfe

(als Vergleichskörper)



Stückzahl der Einbauteile: 9 Leisten, \varnothing 12 mm, $n = 6$

Anordnung:



Alter: 9 Tage

$f_{c \text{ cube}}$: 37 N/mm²

10 Lastwechsel zwischen 50 kN und 400 kN

V_u : **1380 kN**

Bruchlast



Bild 4.15.1: Durchstanzkegel



Bild 4.15.2: Einbauteile im Stützenbereich

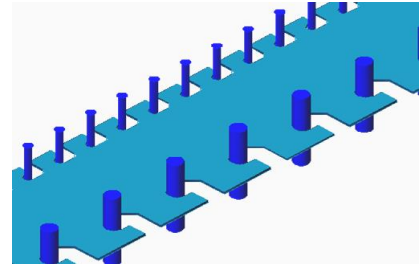
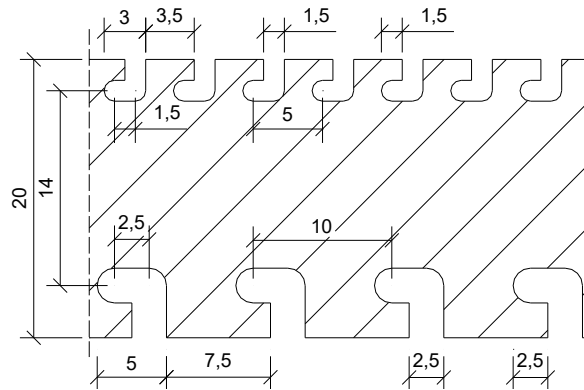
4.16 VERSUCHSKÖRPER P

Einbauteil

Dicke: 3 mm


Stahlgüte: St 52

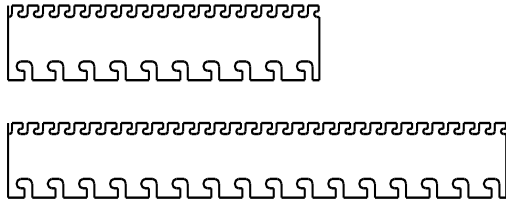
Abmessungen:



Stückzahl der Einbauteile:

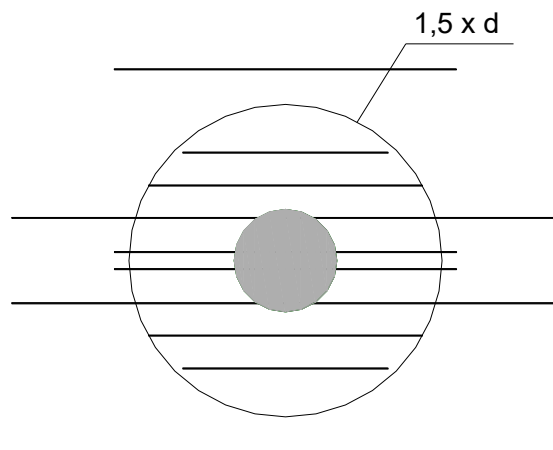
Einbauteil I  I = 60 cm, 2 Stk

Einbauteil II  I = 80 cm, 2 Stk

Einbauteil III  I = 100cm, 4 Stk

Einbauteil IV  I = 160 cm, 2 Stk

Anordnung:



Alter: 9 Tage

$f_{c \text{ cube}}$: 40 N/mm²

10 Lastwechsel zwischen 50 kN und 400 kN

V_u : 1120 kN



Bruchlast

Bild 4.16.1: Abplatzungen der Betondeckung im Durchstanzkegel



Bild 4.16.2: Unverformte Einbauteile im Stützenbereich

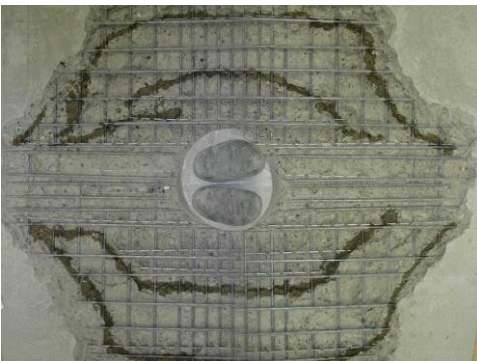


Bild 4.16.2: Rissbildung entlang der Einbauteile
(Fotomontage)

4.17 VERSUCHSKÖRPER Q

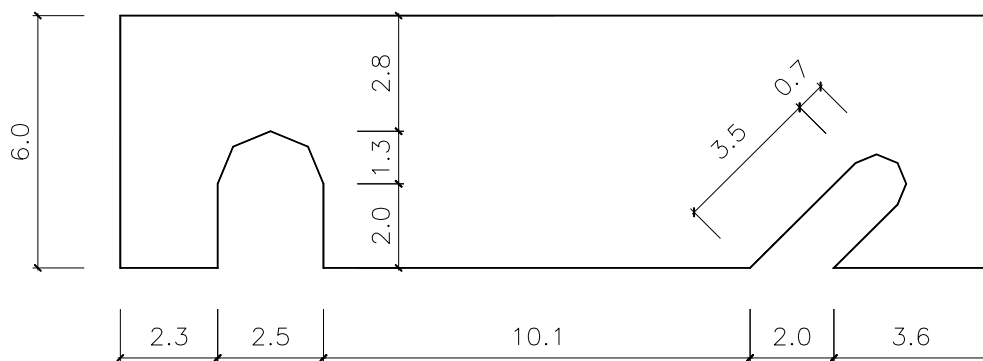
Einbauteil

Dicke: 3 mm

Stahlgüte: St 52

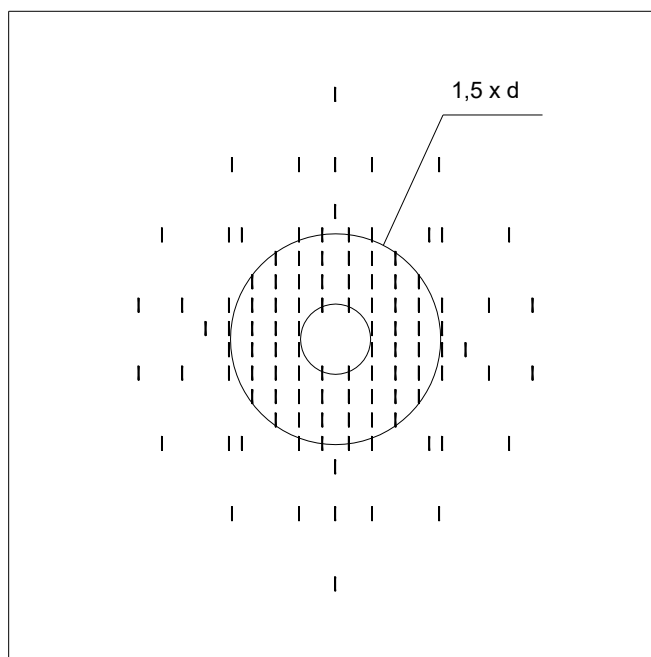
Abmessungen: Länge: 20,5 cm

Breite: 6,0 cm



Stückzahl der Einbauteile: 109

Anordnung:



Alter: 8 Tage

$f_{c \text{ cube}}$: 62 N/mm²

10 Lastwechsel zwischen 50 kN und 650 kN

V_u : **1600 kN**

Bruchlast



Bild 4.17.1: Einbauteile im Stützenbereich



Bild 4.17.2: Verbogene Grundbewehrung

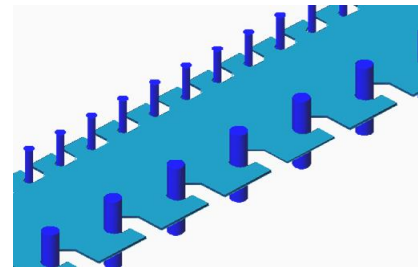
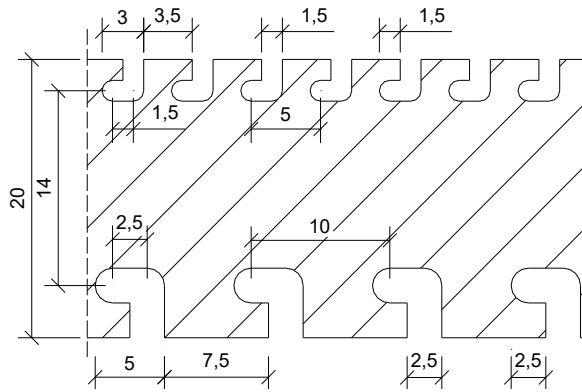
4.18 VERSUCHSKÖRPER R

Einbauteil

Dicke: 3 mm

Stahlgüte: St 52

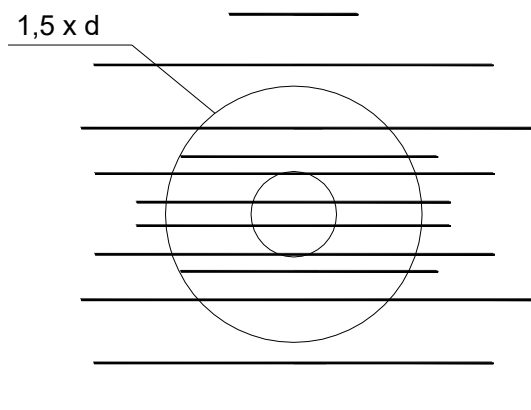
Abmessungen:



Stückzahl der Einbauteile: je 2 der Einbauteile

Einbauteil I		45 cm
Einbauteil II		90 cm
Einbauteil III		110 cm
Einbauteil IV		140 cm
Einbauteil V		160 cm
Einbauteil VI		190 cm

Anordnung:



Alter: 8 Tage

$f_{c \text{ cube}}$: 40 N/mm²

10 Lastwechsel zwischen 50 kN und 500 kN

V_u : **1380 kN**

Bruchlast

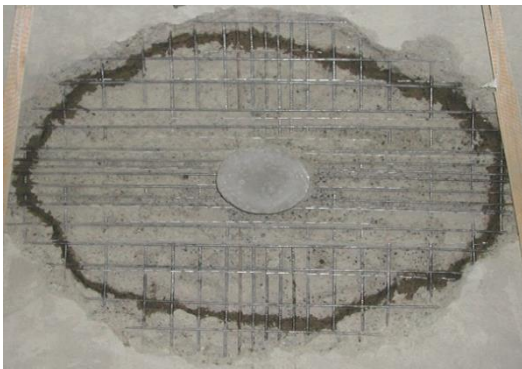


Bild 4.18.1: Rissbildung entlang der Enden des Einbauteiles



Bild 4.18.2: Verformtes Einbauteil im Riss



Bild 4.18.3: Unverformtes Einbauteil

4.19 VERSUCHSKÖRPER S



Einbauteil I



Einbauteil II

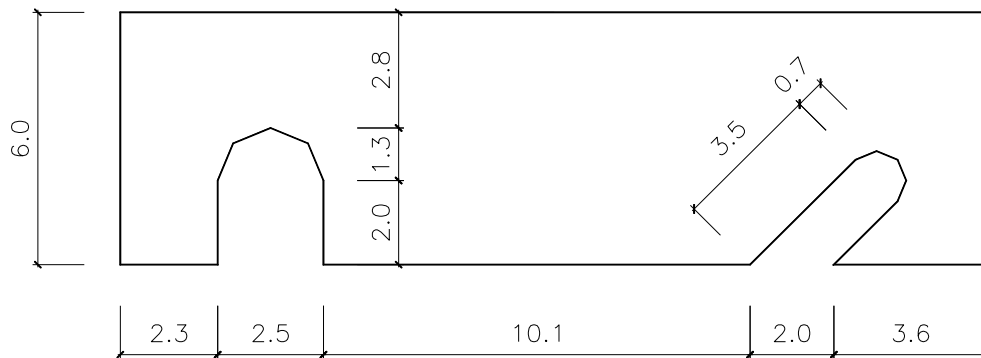
Dicke: Einbauteil I $d = 5$ mm innerer Bereich

Einbauteil II $d = 3$ mm äußerer Bereiches

Stahlgüte: St 52

Abmessungen: Länge: 20,5 cm

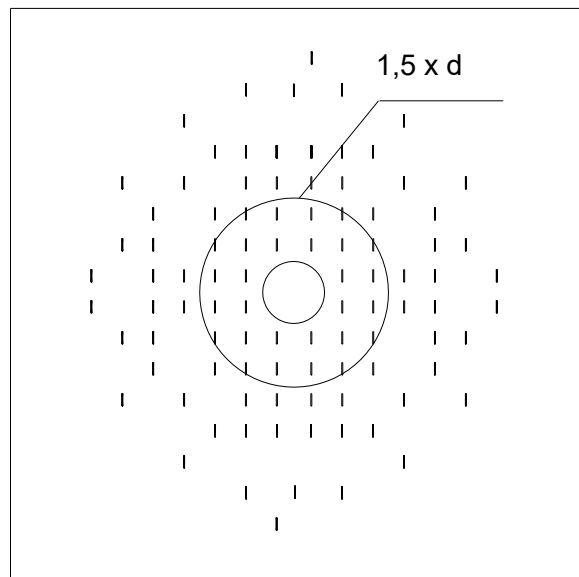
Breite: 6,0 cm



Stückzahl des Einbauteils I: 44 Stück

Einbauteil II: 50 Stück

Anordnung:



Alter: 9 Tage

$f_{c \text{ cube}}$: 48 N/mm²

10 Lastwechsel zwischen 50 kN und 500 kN

V_u : **1505 kN**

Bruchlast



Bild 4.19.1: Stützensenkung



Bild 4.19.2: Verformtes Einbauteil



Bild 4.19.3: Durchstanzkegel

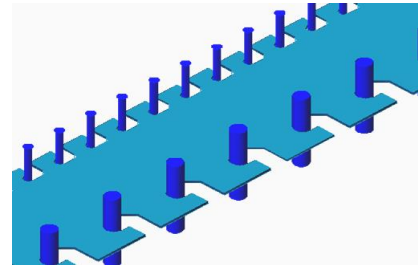
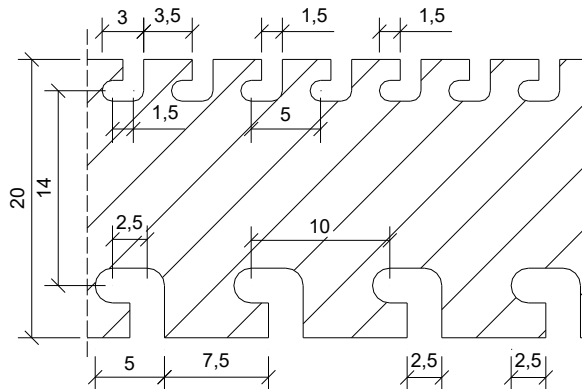
4.20 VERSUCHSKÖRPER T

Einbauteil

Dicke: 3 mm

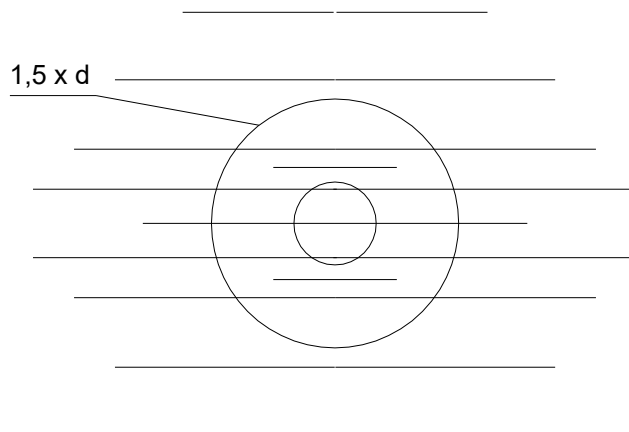
Stahlgüte: St 52

Abmessungen:



Einbauteil I		45 cm ; 2 Stück
Einbauteil II		110 cm ; 2 Stück
Einbauteil III		140 cm ; 1 Stück
Einbauteil IV		160 cm ; 2 Stück
Einbauteil V		190 cm ; 2 Stück
Einbauteil VI		220 cm ; 2 Stück

Anordnung:



Alter: 7 Tage

$f_{c \text{ cube}}$: 48 N/mm²

10 Lastwechsel zwischen 50 kN und 500 kN

V_u : **1550 kN**

Bruchlast



Bild 4.20.1: Durchbiegung in Richtung der Einbauteile



Bild 4.20.2: Durchstanzkegel

Aufgrund des begrenzten Hubweges der Prüfzylinder war keine weitere Laststeigerung möglich. Die oben angegebene Bruchlast wurde durch lange Standzeiten unter hohen Lasten und mehrere Lastwiederholungen beeinflusst.



Bild 4.20.3: Durchbiegung der Fangnetzbewehrung und der Einbauteile

5 EINORDNUNG DER VERSUCHSERGEBNISSE

Die Berechnungen erfolgen nach den Angaben in der DIN 1045-1 mit interpolierter Zylinderdruckfestigkeit f_{cm} und $f_{ck} = f_{cm} - 8 \text{ N/mm}^2$

5.1 VERSUCHSKÖRPER A BIS F

Bei den Versuchskörpern A und B, welche ohne Einbauteile hergestellt und geprüft wurden, trat der Bruch schlagartig und mit hörbarem Knall ein, d. h. es fand ein Versagen ohne Vorankündigung statt. Die Decke zeigte eine gleichmäßige Bildung von Radial- und Tangentialrissen sowie großflächige Absprengungen der Betondeckung auf der Biegezugseite.

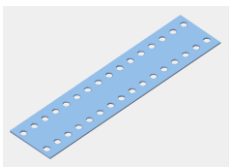


Bild 5.1.1: Körper C

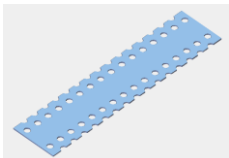


Bild 5.1.2: Körper D

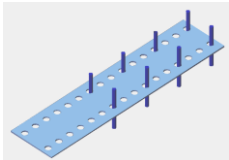


Bild 5.1.3: Körper E

Bei den neuartigen Einbauteilen handelt es sich um Bleche,

die im Durchstanzkegel eingebaut werden.

Die erstmals verwendeten Einbauteile nach einer Idee von **Andrä** und **Matthaei** wurden V-förmig in einem Winkel von 45° um die Stütze angeordnet. Das Einbauteil umfasste die durchlaufende Längsbewehrung der Stütze. Die Bleche wurden mit Löchern versehen, um eine bessere Verdübelung mit dem Beton zu erzielen (Bild 5.1.1 und Bild 5.1.2).

Bei den Untersuchungen zeigten die Versuchskörper C und D keine signifikante Erhöhung der Tragfähigkeit gegenüber den Versuchen A und B, die ohne Einbauteile hergestellt wurden.



Bild 5.1.4: Körper E



Bild 5.1.5: Körper E

Beim Versuchskörper E (Bild 5.1.3 bis Bild 5.1.5) konnte durch den Einbau zusätzlicher Bewehrungsstäbe in den Löchern der Einbauteile die Tragfähigkeit ebenfalls nicht erhöht werden.

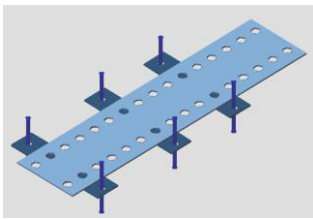


Bild 5.1.6: Körper F

In den Versuchskörpern C bis E übernahmen die Einbauteile die Funktion des Abstandhalters im Stützenbereich.

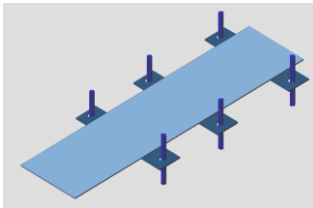


Bild 5.1.7: Körper F

Die Einbauteile im Versuch F unterscheiden sich zu den vorherigen Einbauteilen dadurch, dass jeweils 3 Bleche mit 4 mm Dicke an jedes Einbauteil angeschweißt wurden. Diese waren einige Zentimeter länger als das eigentliche Einbauteil. An den Enden der schmalen Seiten befanden sich mit geringem Randabstand Bohrungen (Bild 5.1.6 und Bild 5.1.7). Durch diese wurden kurze Bewehrungsseisen eingesetzt und daran befestigt. Dadurch wurde das „Auseinanderdrücken“ der Druckstrebe verringert werden. Die angeschweißten Bleche umschlossen die Grundbewehrung. Hierdurch erfolgte eine erkennbare Steigerung

gegenüber der Durchstanstrag-fähigkeit ohne Einbauteile.

Bei den Versuchskörpern C bis F trat der Bruch schlagartig ein, jedoch ohne deutlich hörbaren Knall. Das Durchstanversagen trat im Bereich des Einbauteils auf.

Die Versuchskörper B, C und E wurden kreuzweise durch den Stützenmittelpunkt getrennt. Dadurch war deutlich sichtbar, dass der Durchstankegel sich ungefähr bei einem Winkel von 27° ausbildete.

In dem Diagramm 5.1.1 wird das Verhältnis der rechnerischen Querkrafttragfähigkeit als Funktion der gemittelten Durchbiegung am Belastungskreis dargestellt.

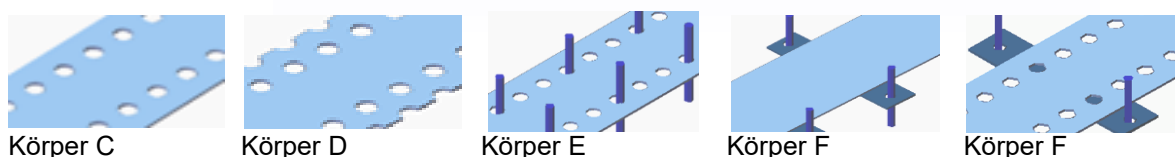
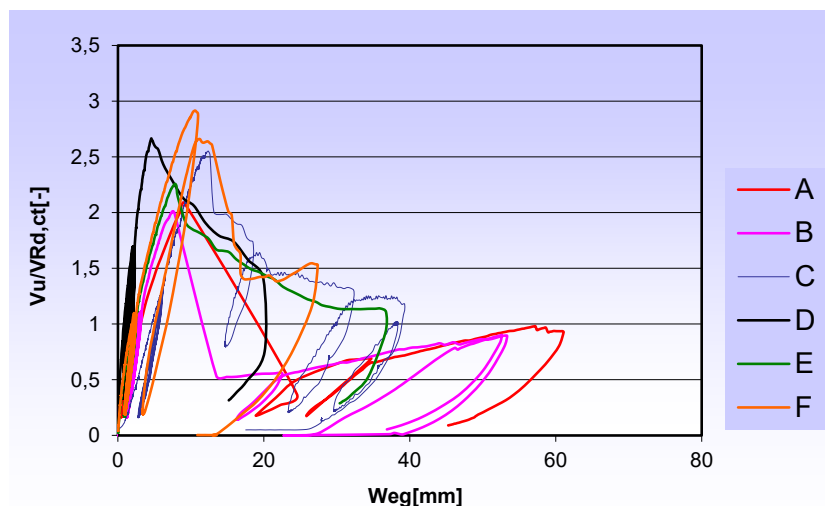


Diagramm 5.1.1: Last – Durchbiegung - Verhalten

5.2 VERSUCHSKÖRPER G BIS J

In den nächsten Versuchsreihen wurden die Einbauteile nicht sternförmig, sondern in einem Raster parallel zur Bewehrung eingebaut. Die Einbauteile der Versuche G und H unterschieden sich in ihren Abmessungen nicht. Die Anordnung der Schlitze, welche zur einfacheren Montage vorgesehen waren, wurden an den dafür vorgesehenen Positionen des Bleches mittels Laserschnittverfahren ausgeschnitten. Der Mittelsteg blieb als Abstandhalter zwischen der oberen und unteren Bewehrung erhalten. Die Bohrungen waren für die Umschnürungsbewehrung vorgesehen.

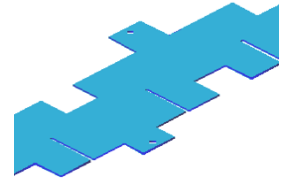


Bild 5.2.1: Körper G

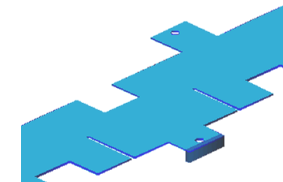


Bild 5.2.2: Körper H

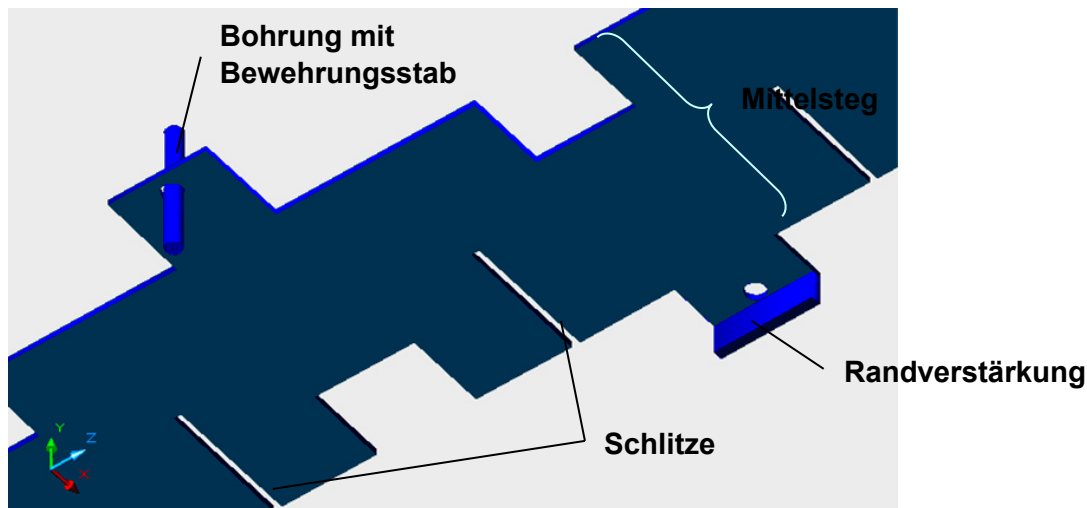


Bild 5.2.3: Einbauteil - Körper H

Mit dem Einsatz dieser Einbauteile konnten keine Steigerungen der Querkrafttragfähigkeit erzielt werden. Die Umschnürungsbewehrung und die Grundbewehrung waren unmittelbar im Stützenbereich abgeschert und verbogen. Weiterhin zeigten die Bleche im Bereich des Stützenstummels Verformungen und Risse (Bild 5.2.4 und Bild 5.2.5).



Bild 5.2.4: Körper H



Bild 5.2.5: Körper H

Für die Versuche der Körper I und J wurden die Einbauteile verändert. Die Bleche wurden ohne die Einkerbung hergestellt, da sich an dieser Stelle häufig Risse bildeten. Die Dicke der Bleche wurde auf 5 mm erhöht. Die Anordnung der Bleche wurde ebenfalls parallel zur Bewehrung vorgenommen. Die Stückzahl wurde verringert. Die Umschnürung der Bewehrung erfolgte in einer Richtung.



Bild 5.2.6: Körper I und J



Bild 5.2.7: Körper I und J

Die Einbauteile des Versuchskörpers I waren im Stützenbereich an den Schlitzern durchgerissen (Bild 5.2.9). Die Umschnürungsbewehrungen waren auf Grund des geringen Querschnitts von den Einbauteilen abgeschert (Bild 5.2.8).



Bild 5.2.8: Versuch I



Bild 5.2.9: Versuch I

Nach dem Freilegen der Bewehrung des Versuches J war zu erkennen, dass das Versagen der Einbauteile ausblieb. Die Umschnürungsbewehrung scherte nicht von den Einbauteilen ab (Bild 5.2.10 und Bild 5.2.11).



Bild 5.2.10: Versuch J



Bild 5.2.11: Versuch J

Offensichtlich löste sich der Verbund zwischen dem Beton und der Bewehrung. Der Bruchvorgang beider Körper I und J war von hörbarem Abplatzen der Betondeckung und starker Durchbiegungszunahme in Richtung der Umschnürungsbewehrung begleitet. Der typische, runde Durchstanzkegel war in beiden Versuchen nicht zu erkennen. Er bildete sich in ovaler Form aus (Bild 5.2.12).

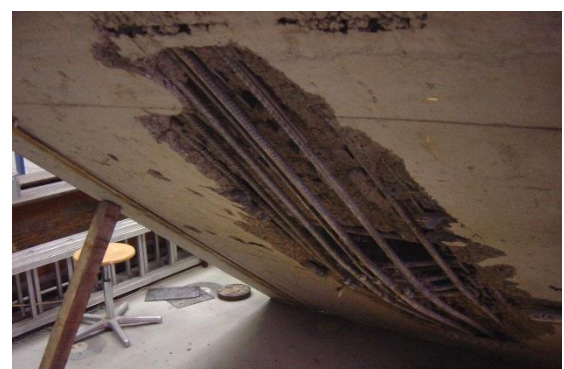


Bild 5.2.12: Versuch J

Die Prüfungen der Körper I und J ergaben eine Erhöhung der Querkrafttragfähigkeit gegenüber den Versuchskörpern G und H.

Im Diagramm 5.2.1 welches die Querkrafttragfähigkeit als Funktion der gemittelten Durchbiegung zeigt, ist zu erkennen, dass es sich bei den Versuchen G bis J um einen kontinuierlichen Anstieg der Verformungen unter Zunahme der Tragfähigkeit bis zur maximalen Bruchlast handelt.

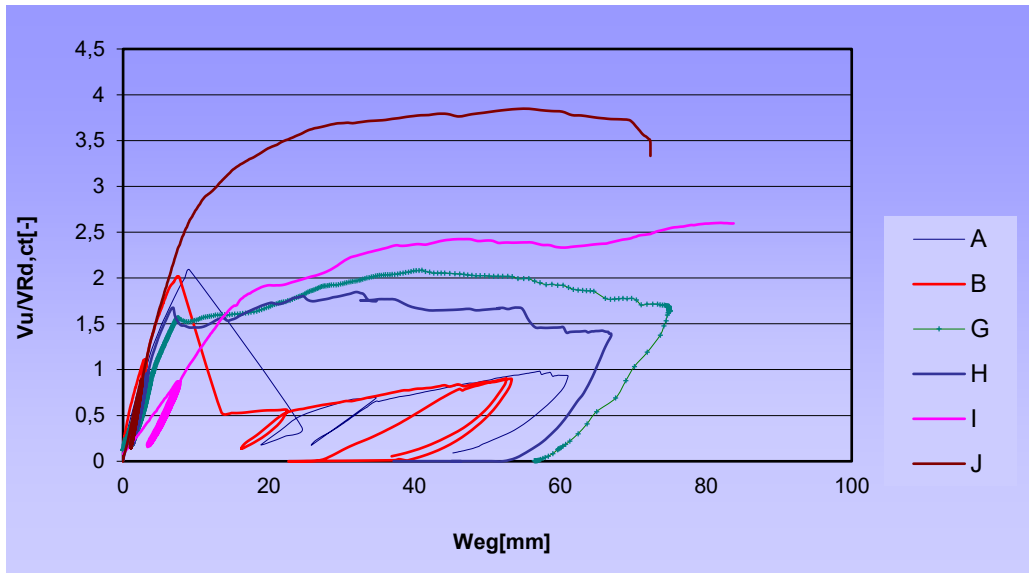


Bild 5.2.13:

Versuch G

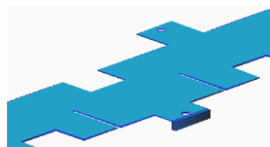


Bild 5.2.14:

Versuch H



Bild 5.2.15:

Versuch I u J

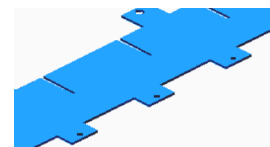


Bild 5.2.16:

Diagramm 5.2.1 Last - Durchbiegung - Verhalten

5.3 VERSUCHSKÖRPER K, N, M, Q UND S

Eine völlig andere Versuchsreihe mit kurzen Blechen wurde den Versuchskörpern K, M, N, Q und S durchgeführt.

Diese Einbauteile (Bild 5.3.1 bis Bild 5.3.3) sind Bleche, die einer Seite mit einem 25 mm großen Langloch hergestellt wurden. Am anderen Ende befindet sich ein 14 mm großes Langloch, welches unter 45 ° verläuft. An der oberen Seite die Lage durch einen dünnen Draht gesichert.

Die Versuchskörper K und M wurden mit Blechdicken von 10 mm hergestellt (Bild 5.3.1). Die Einbauteile in den Versuchen N und Q hatten eine Blechdicke von 5 mm (Bild 5.3.2). Die Einbauteile Versuch S hatten im Stützenbereich eine Blechdicke von 10 mm und außerhalb eine Blechdicke von 3 mm.

Die reine Zugfestigkeit des Einbauteils wurde ermittelt, indem das Einbauteil zwischen zwei Bewehrungsstäben in eine Zugmaschine eingespannt, und bis zum Bruch gezogen wurde. Das Bild 5.3.4 zeigt das Einbauteil mit seinen Verformungen nach dem Zugversuch. Die maximale Zugkraft des Einbauteils mit 10 mm Blechdicke lag bei 48 kN und hatte bereits eine Verformung von 1,75 cm. Das Einbauteil mit 3 mm hatte eine Verformung von 1,00 cm stattgefunden, wobei die maximale Zugkraft bei 13,9 kN lag.

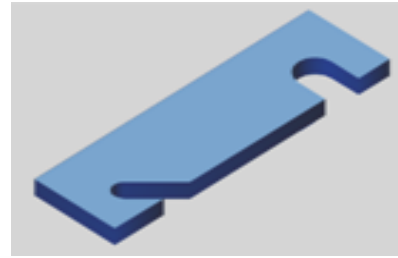


Bild 5.3.1:
Versuchskörper K und M

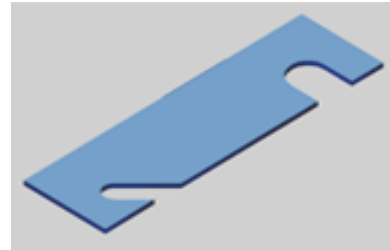


Bild 5.3.2:
Versuchskörper N und Q

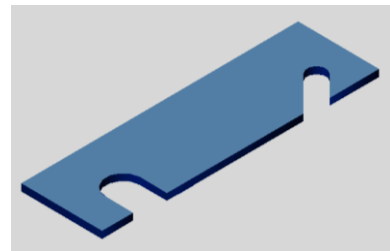


Bild 5.3.3:
Versuchskörper S



Bild 5.3.4: Verformtes Einbauteil

mit

auf

wurde

10 mm
und Q

in
5 mm

das

wurde.
nach

10 mm
Bei

Die Einbauteile wurden in die kreuzweisen verlegten oberen und unteren Bewehrungen eingehakt (Bild 5.3.6 und Bild 5.3.7).

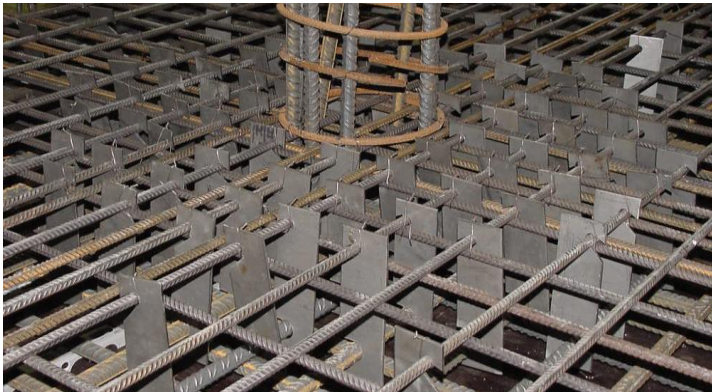


Bild 5.2.6: Durchstanzbereich mit kurzen Blechen



Bild 5.2.7: Körper M

Mit den Versuchskörpern K und M mit 10 mm dicken Einbauteilen wurde eine relativ geringe Durchstanztragfähigkeit erreicht. Der Versuchskörper N erreichte mit einer günstigen Verteilung der kurzen Bleche eine höhere Durchstanztragfähigkeit.

Ein Durchstanzkegel war bei dieser Versuchsreihe deutlich sichtbar, wie im Bild 5.3.8 zu erkennen ist.



Bild 5.3.8: Durchstanzkegel Körper M

Die Einbauteile der Versuche K und M mit den Blechdicken von 10 mm zeigten keine bzw. nur geringe Verformungen (Bild 5.3.9).



Bild 5.3.9: Körper K

Im Unterschied dazu gab es bei den Versuchen N und Q mit den Einbauteilen von 3 mm Blechdicke sichtbare Verformungen. Das Bild 5.3.10 zeigt die Verformung der Haken.



Bild 5.3.10: Körper N

Beim Versuchskörper S versagten einige Haken im Bereich des Durchstanzkegels.

Ein hörbarer Knall, wie bei den Experimenten ohne Durchstanzbewehrung, blieb auch bei diesen Versuchen mit kurzen Blechen aus.

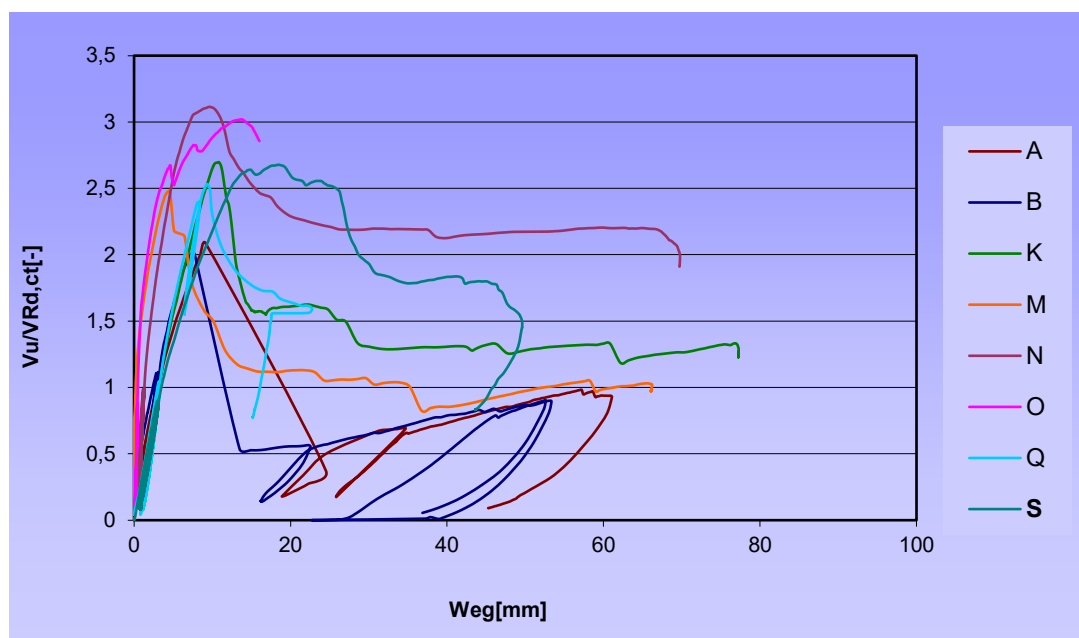


Diagramm 5.3.1 Last – Durchbiegung - Verhalte

5.4 VERSUCHSKÖRPER L, P, R UND T

Die Einbauteile in den Versuchsreihen G bis J wiesen Schwachstellen an den Schlitten der Bleche auf, welches ein ineinander stecken der einzelnen Bauteile ermöglichte.

Die Versuchskörper L, P, R und T unterschieden sich zu den vorherigen Körpern mit Blechen durch die nur einseitige Anordnung der Bleche (Bild 5.4.2 und Bild 5.4.4). Demzufolge reduzierte sich der Stahlbedarf wesentlich im Unterschied zu den vorherigen Versuchen (G bis J). Durch die einseitige Anordnung der Einbauteile war die Herstellung der Versuchskörper übersichtlicher und eine Verwechslungsgefahr der Einbauteile nicht mehr gegeben. Die Einbauteile des Versuches L wurden von den Versuchen I und J abgeleitet. Der Mittelsteg blieb erhalten und diente auch hier gleichzeitig als Abstandhalter zwischen der oberen und unteren Biegezugbewehrung. Die Kanten besaßen Bohrungen, durch die die obere und untere Biegezugbewehrung gesteckt wurde (Bild 5.4.1).

Um ein leichteres und variables Einbauen der Bleche in den Betonkörper zu ermöglichen, wurden in den Einbauteilen der Versuche P, R und T (anstatt Bohrungen) Langlöcher mit einer Einkerbung bis zum Blechrand angeordnet (Bild 5.4.3). Somit ist es möglich, die Einbauteile einfach in die Bewehrung einzuhaken.

Die Bruchkegel bei dieser Versuchsreihe verliefen im Wesentlichen entlang der Ränder der Bleche. Deshalb wurden in den Versuchen die Abstände und Längen der Einbauteile (Bild 5.4.4) verändert.

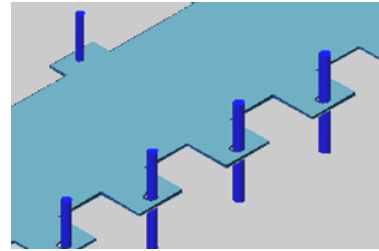


Bild 5.4.1:
Versuchskörper L

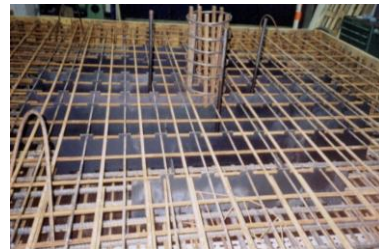


Bild 5.4.2:

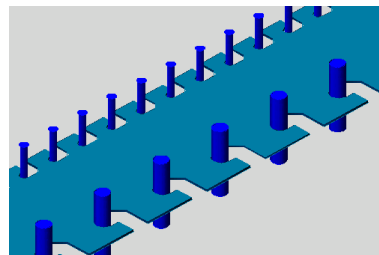


Bild 5.4.3:
Versuchskörper P,R und T



Bild 5.4.4:

Nach Freilegung der Bewehrung waren bei dem Versuchskörper L keine größeren Verformungen der Einbauteile zu erkennen (Bild 5.4.5).



Bild 5.4.5: Körper L

Auch bei dem Versuchskörper P (Bild 5.4.6) sind starke Verformungen ausgeblieben. Lediglich an den Blechenden waren leichte Verformungen erkennbar. Die Umschnürungsbewehrung scherte nicht von den Einbauteilen ab. Die geringe Bruchlast des Versuchskörpers P ist auf die ungünstige Anordnung der Einbauteile im Stützenbereich zurückzuführen. Das Ausbilden von zwei Bruchkreisen (Bild 5.4.7) verdeutlichte den teilweise zu großen Abstand der Bleche zueinander.



Bild 5.4.6: Körper P

Verformungen der Einbauteile bildeten sich bei Versuch R im Durchstanzriss aus (Bild 5.4.8). Durch die Modifikation der Anordnung und der Abstände der Einbauteile untereinander, konnte der innere Bruchkreis beim Versuchskörper R vermieden werden (Bild 5.4.9). Der Riss führte beim Versuch R deutlich an den Einbauteilen entlang.



Bild 5.4.7: Körper P



Bild 5.4.8: Körper R



Bild 5.4.9: Körper R

Ein schlagartiges Versagen der Versuchskörper blieb in dieser Versuchsreihe aus.

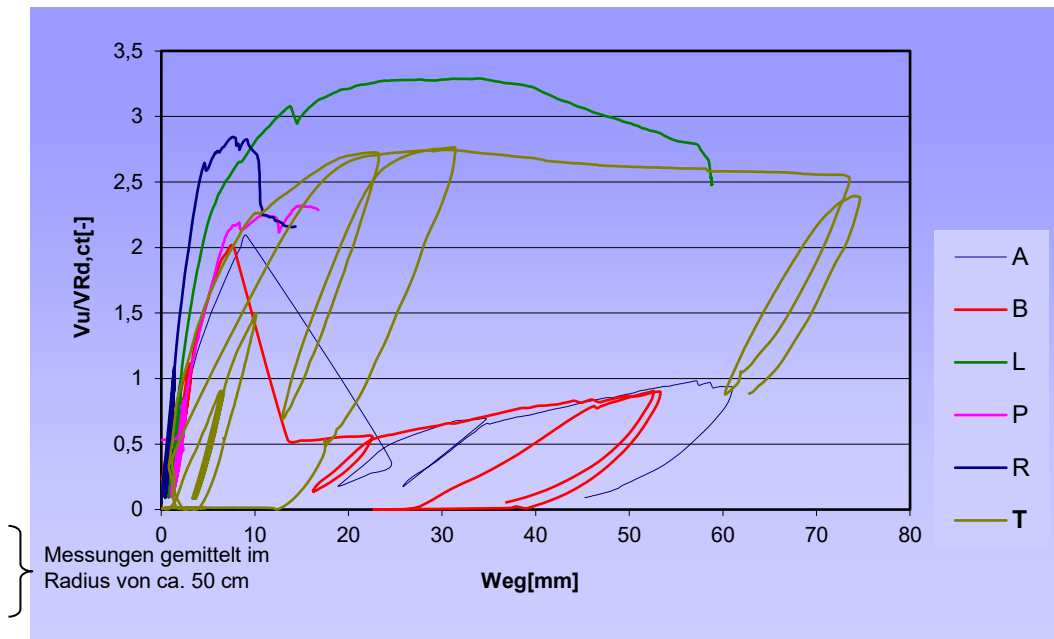


Diagramm 5.4.1: Last – Durchbiegung - Verhalten