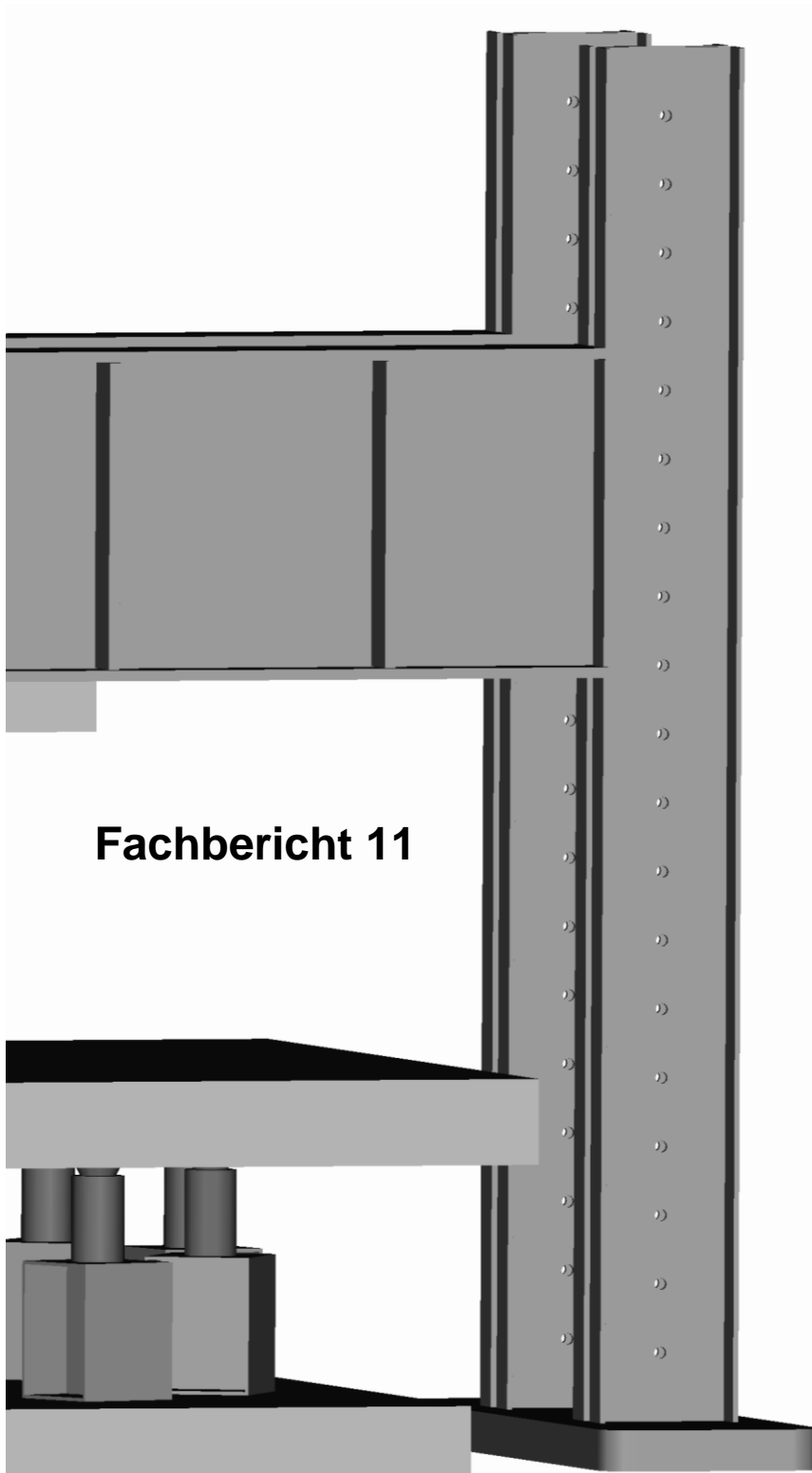




THM

TECHNISCHE HOCHSCHULE MITTELHESSEN



Fachbericht 11

Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse zum Bewehrungssystem

clixs®

-Zulassung mit Bezug zum Eurocode2-

Prof Dr.Ing. Gerd Günther

Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse zum Bewehrungssystem CLIXS

Inhaltsverzeichnis

Durchstanz- und Verbundtragfähigkeit für Platten oder Fundamente

1. Erläuterung der relevanten Parameter

Allgemeines

Maximale Tragfähigkeit

Bemessung

Äußerer Rundschnitt, Abstandsregeln und Entwurf

Plattendicke

Bügelform

Bohrloch zur Durchführung der Bewehrung durch die Bleche und
alternatives L-Blech

Nachweis der Schubkraftübertragung in der Fuge

2. Zusammenstellung der Versuchs-Körper

3. Maximale Tragfähigkeit - Auswertung

4. Bemessung - Auswertung

5. Verbundfuge - Auswertung

6. Versuchskörper

Querkrafttragfähigkeit der Bleche

Entwurf und Bemessung

Experimentelle Untersuchungen

Dauerschwingfestigkeit der L-Bleche

Allgemeines

Zusammenstellung und Auswertung der experimentellen Untersuchungen

Nachweis gegen Ermüdung

Durchstanz- und Verbundtragfähigkeit für Platten oder Fundamente

1. Erläuterung der relevanten Parameter

Allgemeines

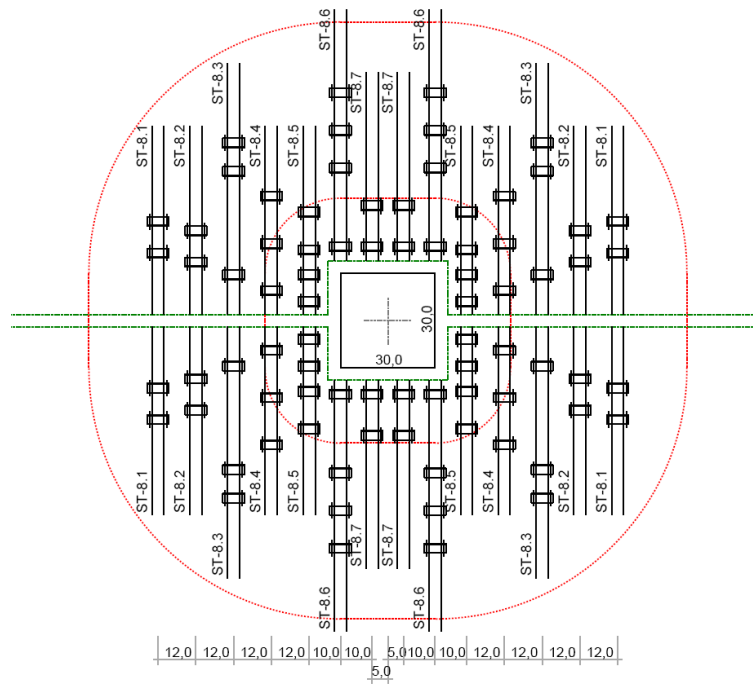
Die Forschung und Entwicklung der Einbauteile erstreckt sich über einen Zeitraum von ca. 10 Jahren. Zunächst wurden grundsätzliche Versuche zur Ermittlung der optimalen Form und Anordnung der Einbauteile hinsichtlich der Tragfähigkeit und der Wirtschaftlichkeit durchgeführt. Die Zulassungsuntersuchungen auf der Grundlage der DIN 1045 führten schließlich zu abgesicherten Bemessungsgleichungen und zur Festlegung der maximalen Tragfähigkeit. Unter diesen Voraussetzungen konnten in den letzten Jahren weitere zielgerichtete Untersuchungen durchgeführt werden.

Mit der 2009 erweiterten Versuchsanlage - von $F_{\max}=2000\text{KN}$ (12 Zylinder) auf $F_{\max}>5000\text{KN}$ (24 Zylinder)- konnten weitere Parameter ausführlich untersucht werden. Die Umstellung der Zulassung auf die Angaben im Eurocode2 bietet die Möglichkeit die neuen Ergebnisse einzubeziehen.

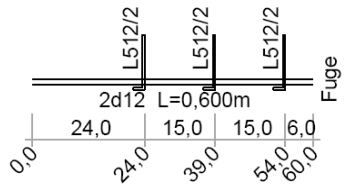
Bei der Auswertung wurde der kritische Rundsnitte im Abstand von $2d$ zum Stützenrand und die charakteristische Zylinderdruckfestigkeit mit $f_{ck} = f_{cm} - 4$, entsprechend den Vorgaben des Eurocode2 und DIN EN 206-1, zugrunde gelegt.

Im Kapitel 2 sind alle experimentellen Untersuchungen zusammengestellt. Mit dieser großen Anzahl von Versuchen ist es möglich die Bemessungsgleichungen unter Einhaltung des Sicherheitsniveaus an den Eurocode anzupassen. Bei der Entwicklung der Bemessungsvorschläge wurde nicht nur auf die erforderlichen Sicherheiten und die Wirtschaftlichkeit geachtet, sondern auch auf die Praxistauglichkeit. Die Bemessungsgleichungen sollten so einfach wie möglich sein und sich an den Vorgaben des Eurocode2 weitgehend orientieren.

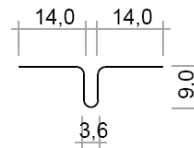
Bemessungsbeispiel: Verteilung der Einbauteile, Linienelement, Bügel und Durchstanzbewehrungsplan für eine Elementdecke mit dem Programm CLIXS nach Zulassung Z-15.1-281



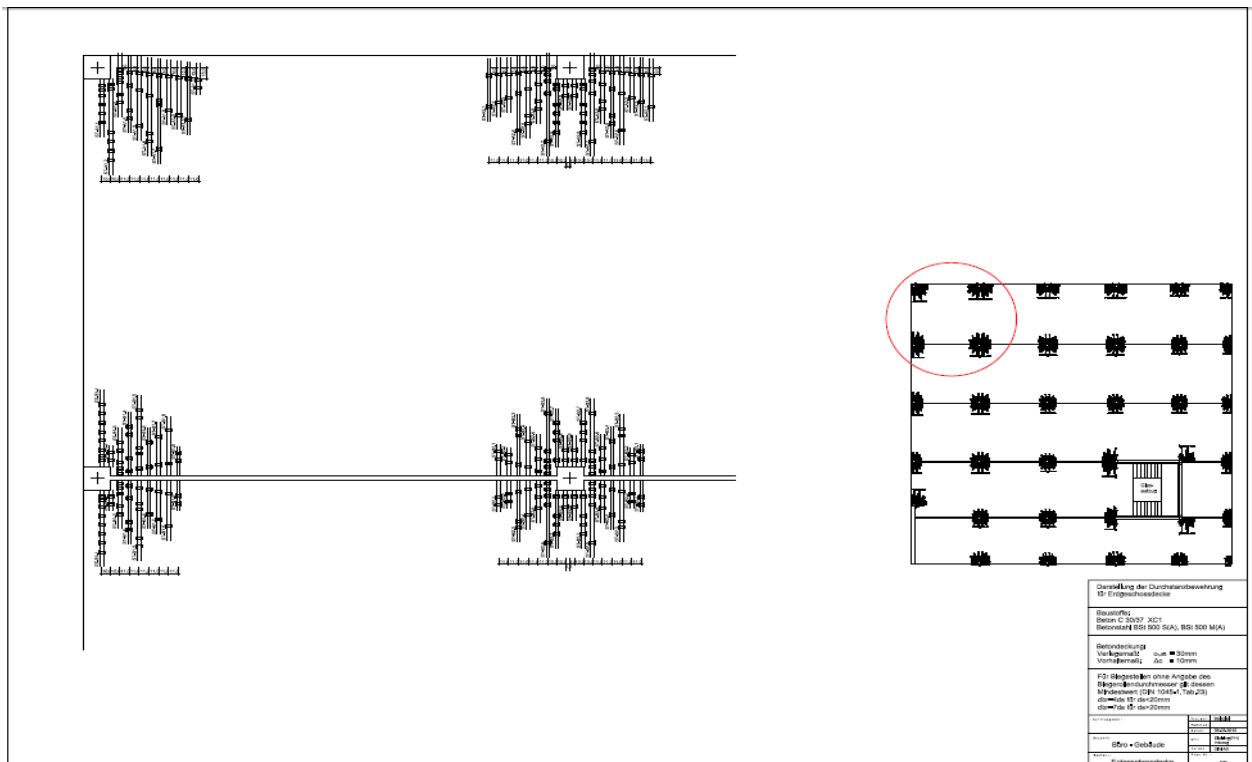
ST-8.4
4 Stück



Clixs ST-8.B
160 Stück



d6 L=0,50m



Maximale Tragfähigkeit

Die Auswertungen aller Versuchskörper (Kap. 2) zeigen, dass insbesondere bei den frühen Experimenten oftmals vorzeitiges Versagen außerhalb der Durchstanzbewehrung bzw. Stahlversagen infolge zu geringer Anzahl von Einbauteilen vorliegt. Diese Körper sind in den Bildern 1 bis 3 zu erkennen. Körper mit Stahlversagen liegen unterhalb der Trendlinie.

Im Kapitel 3 sind die Körper zusammengestellt, die zur Ermittlung der max. Tragfähigkeit herangezogen werden können. In Tabelle 2 ist bereits zu erkennen, dass zur Ermittlung der maximalen Tragfähigkeit nur Körper in Frage kommen, die in den ersten drei Rundschnitten jeweils eine ähnliche Anzahl von Einbauteilen aufweisen. Insbesondere müssen im ersten und zweiten Rundschnitt die Bleche in ihrer Anzahl etwa gleich sein. Eine deutliche Reduzierung der Einbauteile im ersten oder dritten Rundschnitt gegenüber dem zweiten Rundschnitt verursacht geringe Tragfähigkeiten.

Die Körper mit maximaler Tragfähigkeit infolge des Versagens der Betondruckstreben sind in den Bildern 8 bis 10 im oberen Bereich der Trendlinie zu finden.

Weiterhin konnten die Körper FH, GB und GE bei der Ermittlung der maximalen Tragfähigkeit nicht berücksichtigt werden. Körper FH erreichte nicht die max. Tragfähigkeit, da die Prüfanlage zu diesem Zeitpunkt auf 2000 KN begrenzt war. Die Körper GB und GE mussten aus versuchstechnischen Gründen bei $V_u/V_c \sim 2,0$ entlastet werden. Die zweite Belastung erreichte nicht mehr die maximal mögliche Last.

Anhand der statistischen Auswertungen (Tabellen 3 bis 6) können die maximalen Tragfähigkeiten festgelegt werden.

Die Maximaltragfähigkeit ist im kritischen Rundschnitt u_1 im Abstand von $2,0 d$ vom Stützenrand begrenzt auf:

$$\text{L-Bleche: } V_{Ed,u1} \leq V_{Rd,max} = 2,1 \cdot V_{Rd,c,u1}$$

$$\text{mit: } C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c$$

$$\text{Z-Bleche: } V_{Ed,u1} \leq V_{Rd,max} = 2,0 \cdot V_{Rd,c,u1}$$

$$\text{mit: } C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c$$

für Innenstützen mit $u_0 / d < 4$ gilt:

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c (0,1 \cdot u_0 / d + 0,6)$$

Folgende Kombinationen sind zulässig:

L-Bleche: $t=5\text{mm}$, $d_s=12\text{mm}$, 2 Bügel

L-Bleche: $t=3$ oder 5mm , $d_s=10$ oder 12mm , 1 Bügel

Z-Bleche: $t=3$ oder 5mm , $d_s=12\text{mm}$

Die Bilder 11 bis 13 belegen, dass diese Maximalwerte nahezu trendfrei von der Betonfestigkeit, der statischen Höhe und dem Bewehrungsgrad angenommen werden können.

Der 5%-Quantilwert ergibt sich zu $\geq 1,0$. Hierfür wurden die L- und Z-Bleche gemeinsam betrachtet, da beide Einbauteile sehr ähnlich in ihrer Wirkung sind (Tab. 3). Es ist auch nicht ausschlaggebend ob von bekannter oder unbekannter Varianz auszugehen ist, da infolge der Anzahl der Versuche der Unterschied beim k-Wert nur noch geringfügig ist (Tab.6). Selbst bei getrennter Betrachtung der L- und Z-Bleche werden die erforderlichen Sicherheiten eingehalten (Tab. 4 und Tab. 5). Die vorhandenen Standartabweichungen liegen zwischen 0,062 und 0,080.

Die Verminderung der Betontragfähigkeit für Innenstützen mit $u_0 / d < 4$ infolge des Beiwertes $C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c (0,1 \cdot u_0 / d + 0,6)$ trifft nur bei den Z-Blechen zu. Bei den L-Blechen werden die Streuungen infolge der Verwendung des Beiwertes wesentlich größer. Offensichtlich sind die Auswirkungen von kleinen Lasteinleitungsflächen durch die besonders steifen Verankerungen bei den L-Blechen nicht relevant.

Infolge weiterer Versuche mit L- und Z-Blechen könnten sicherlich noch höhere max. Tragfähigkeiten nachgewiesen werden. Es ist jedoch zu erwarten, dass dann die Anzahl der Bleche nicht mehr durch eine lineare Zunahme in Abhängigkeit von der Last ermittelt werden kann (siehe Bilder 4 bis 7).

Die max. Tragfähigkeit der L-Bleche ist nicht von der Anzahl der Bügel je Blech abhängig. Die Bemessung erfolgt über die Bügelquerschnittsfläche. Da zwei Bleche L3 mit jeweils einem Bügel in der Summe eine größere Blechquerschnittsfläche wie ein Blech L5 mit 2 Bügeln haben, kann auch mit dieser Kombination die maximale Tragfähigkeit erreicht werden. Die neueren Versuche LE und LF mit L3 Blechen übersteigen die max. Tragfähigkeit jeweils um ca. 16 Prozent. Bei diesen Versuchen wurde auch die Richtung der Bügel zur Biegebewehrung untersucht. Es ergaben sich **keine Unterschiede bei parallel oder senkrecht zur obersten Bewehrungslage eingebauten Bügeln.**

Die Bleche L3 dürfen nur mit einem Bügel verwendet werden, da ansonsten die Dauerschwingfestigkeit nicht nachgewiesen ist.

Der Durchmesser der Linienelemente-Bewehrung ($d_s=10$ oder 12mm) ist von geringer Bedeutung. Die etwas geringere Biegesteifigkeit der 10er Stäbe gegenüber den 12er Bewehrungseisen wird in der Bemessungsgleichung durch Einführung des Faktors k_2 berücksichtigt. Hierdurch werden bei den dünneren Bewehrungsstäben mehr Bleche in einem dichteren Abstand erforderlich, wodurch die System - Steifigkeiten der Linienelemente angeglichen werden. Die Körper IG und IK mit 16mm dicken Bewehrungsstäben unterscheiden sich im Wesentlichen nicht von den Körpern mit 12mm dicken Bewehrungsstäben (z.B. Körper IF).

Die maximale Tragfähigkeit ist nicht von den Blechdicken der Z-Bleche abhängig. Ein Blech Z5 entspricht im Querschnitt 1,67 Bleche Z3. Die Querschnittsfläche wird bei der Bemessung berücksichtigt. Der Körper FG mit Z3-Blechen übertrifft den Maximalwert der Tragfähigkeit um den Faktor 1.08 (siehe Tab.3). Der Körper FG ist am ehesten mit dem Körper IS zu vergleichen, der mit einer geringeren Anzahl an Z5 Blechen etwa die gleiche Tragfähigkeit erreicht. Die 60cm hohen Körper MC mit Z3 - Blechen und MD mit Z5 – Blechen erreichten bei ca. 16% mehr Z3 – Blechen gegenüber der Anzahl der Z5 – Bleche identische Bruchlasten.

Die Körper A und B ohne Einbauteile entsprechen dem Bemessungsansatz im Eurocode2.

Bemessung

Die Bemessung der L-Bleche, eigentlich der Bügel, kann in Anlehnung an den Eurocode2 vorgenommen werden. Wie in der nationalen Anwendung sind jedoch Erhöhungsfaktoren notwendig. Im ersten und zweiten Rundschnitt wird die Anzahl der Bügel um jeweils 50 Prozent erhöht. Durch die kraftschlüssige Verbindung der einzelnen Bleche infolge der Bewehrungsstäbe (Linielemente) ist eine integrale Betrachtung der ersten beiden Rundschnitte möglich. Da die Tragfähigkeiten über denen von Bügeln liegen, ist es weiterhin notwendig auch im dritten Rundschnitt eine Erhöhung von 25 Prozent vorzunehmen. Hierdurch wird ein vorzeitiges Versagen der Platte im dritten Rundschnitt verhindert. Für alle weiteren Rundschnitte ist keine Erhöhung notwendig. Bei den meisten Experimenten waren außerhalb des dritten Rundschnittes keine Einbauteile vorhanden.

Der schlechtere Verbund bei 2 Bügeln, die bereichsweise dicht nebeneinander liegen und die geringere Steifigkeit der 10er Bewehrung gegenüber den 12er Bewehrungsstäben werden durch den Faktor k_2 berücksichtigt.

Bei den Z-Blechen wurde auch eine Bemessung ohne Berücksichtigung eines Betontraganteils überprüft. Im Unterschied zu einer aus Beton und Stahl kombinierten Bemessung ergaben sich jedoch größere Streuungen.

Die DMS Messungen und die Schnitte zeigen, dass die Z-Bleche ihre Tragfähigkeit nicht durch Stahlversagen verlieren. Vielmehr finden im Bereich der Kantung Verformungen statt. Bei der Entwicklung einer Bemessungsgleichung ist jedoch auch eine Betrachtung der Biegesteifigkeit des reinen Stahls alleine nicht zielführend, da es sich hierbei um ein in den Beton eingebettetes Element handelt. Dieses Verhalten wird bei der Bemessung durch den systemabhängigen Faktor k_2 berücksichtigt.

Kleine Lasteinleitungsflächen werden bei den Z-Blechen durch den Faktor k_3 berücksichtigt.

Die Tragfähigkeit der Durchstanzbewehrung $V_{Rd,cs}$, der Betontraganteil $V_{Rd,c}$ und die einwirkende Querkraft V_{Ed} sind für den Nachweis auf den kritischen Umfang u_1 im Abstand von $2,0 d$ vom Stützenrand bezogen.

$$\beta \cdot V_{Ed} \leq V_{Rd,cs,L\text{-Blech}} \quad \text{oder} \quad \beta \cdot V_{Ed} \leq V_{Rd,cs,Z\text{-Blech}}$$

$V_{Rd,cs,L\text{-Blech}}$ Durchstanzwiderstand der L-Bleche

$$V_{Rd,cs,L\text{-Blech}} = 0,75 V_{Rd,c} + 1,5 \cdot (d/s_r) \cdot n_{\text{Bügel}} \cdot 2 \cdot A_{s,\text{bügel}} \cdot f_{ywd,ef} \cdot (1/k_1) \cdot (1/k_2) \cdot n_{\text{Blech}}$$

$V_{Rd,cs,Z\text{-Blech}}$ Durchstanzwiderstand der Z-Bleche

$$V_{Rd,cs,Z\text{-Blech}} = [0,75 V_{Rd,c} + 0,75 \cdot (d/s_r) \cdot t \cdot b \cdot f_{yd} \cdot (1/k_1) \cdot (1/k_2) \cdot n_{\text{Blech}}] k_3$$

$V_{Rd,c}$	nach Eurocode2 mit: $C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c$
V_{Ed}	nach Eurocode2
β	nach Eurocode2
d	Mittelwert der statischen Nutzhöhen in den orthogonalen Richtungen
s_r	radialer Abstand der Durchstanzbewehrungsreihen ($s_r \leq 0,75 \cdot d$)
$n_{\text{Bügel}}$	Anzahl der Bügel je Blech (1 oder 2)
n_{Blech}	Anzahl der Bleche im Rundschnitt
$A_{s,\text{bügel}}$	Querschnittsfläche eines Bügelschenkels
t	Dicke des Z-Blechs
b	kleinste Breite des Steges des Z-Blechs
$f_{yd,ef}$	wirksamer Bemessungswert der Streckgrenze der Bügelbewehrung $f_{yd,ef} = 250 + 0,25 \cdot d \leq f_{yd}$ [N/mm ²]; d in [mm]
f_{yd}	Bemessungswert der Streckgrenze des Bügels bzw. des Z-Blechs
k_1	Anpassungsfaktor $k_1 = 1,50$ für die Rundschnitte im Abstand $0,5 d$ und $1,25 d$ vom Stützenrand $k_1 = 1,25$ für den Rundschnitte im Abstand $2,0 d$ vom Stützenrand $k_1 = 1,00$ für alle weiteren Rundschnitte
k_2	Systemsteifigkeitsfaktor $k_2 = 1,25$ bei 2 Bügeln $k_2 = 1,10$ bei einer Linienelementbewehrung mit $d_s = 10$ mm $k_2 = 0,70$ bei Z Blechen mit $t = 3$ mm $k_2 = 1,00$ für alle anderen Kombinationen
k_3	Lastflächeneinleitungsfaktor $k_3 = 0,1 \cdot u_0 / d + 0,6$ für Innenstützen mit $u_0 / d < 4$

Eine planmäßige oder unplanmäßige Schiefstellung der Bügel darf bei der Bemessung nicht in Rechnung gestellt werden.

Die Überprüfung der Bemessungsansätze an 36 Versuchskörpern ergab für den charakteristischen Durchstanzwiderstand ein 5%-Quantilwert von 1,06 bei einem Mittelwert von 1,18 für die ersten zwei Bewehrungsreihen. Auch die Überprüfung der Bemessungswerte für die ersten drei Bewehrungsreihen ergab eine zufriedenstellende Übereinstimmung mit den Versuchskörpern (vergl. Tab. 7). Dies trifft umso mehr zu, wenn berücksichtigt wird, dass die einzelnen Einbauteile immer zu Linienelmenten verbunden werden und somit stets eine flächige Wirkung der Durchstanzelemente vorhanden ist.

Die Bilder 14 bis 16 verdeutlichen, dass die Bemessungsansätze nahezu trendfrei von der statischen Höhe, dem Bewehrungsgrad und der Betonfestigkeit ermittelt wurden.

Äußerer Rundschnitt, Abstandsregeln und Entwurf

Im äußeren Rundschnitt im Abstand von $1,5 d$ von der äußersten Reihe der Durchstanzbewehrungselemente ist die Querkrafttragfähigkeit entsprechend den Ausführungen im Eurocode 2 nachzuweisen.

Für die Einbauteile ist ein tangentialer Abstand von $s_t = 3,5 \cdot d$ in der äußersten Reihe der Durchstanzelemente einzuhalten. Eine gleichmäßige Anordnung der Einbauteile wird erreicht in dem die Anzahl der Bewehrungselemente in jedem Rundschnitt mindestens so groß sein muss, wie im äußersten Rundschnitt. Falls die statisch erforderliche Anzahl im äußersten Rundschnitt größer ist, als die aus dem größten Abstand von $3,5 d$ berechnete, muss diese Anzahl auch in allen anderen Reihen mindestens eingebaut werden.

Es sind in jedem Fall mindestens 2 Bewehrungsreihen zu verlegen.

Der radiale Abstand wird durch die Forderung $s_r \leq 0,75 \cdot d$ begrenzt.

Der Abstand vom Stützenanschnitt der ersten Reihe der Durchstanz-Bewehrungselemente soll etwa $0,3 d$ betragen und darf $0,5 d$ nicht überschreiten.

Dem jeweiligen Rundschnitt können die Einbauteile jeweils im Abstand $0,375 d$ nach innen und nach außen zugeordnet werden.

Die Kombination der Einbauteile darf jeweils in den Rundschnitten $\leq 2d$ und in den Rundschnitten $> 2d$ nicht geändert werden.

Zur Herstellung der Linienelemente müssen die Bleche mit den Bewehrungsstäben lagesicher verbunden werden. Dies kann z. B. durch Verrödelung oder Punktschweißung erreicht werden.

Die Bügel dürfen parallel oder senkrecht zur obersten Bewehrungslage eingebaut werden.

Die experimentellen Untersuchungen belegen, dass die Einbauteile in einem Abstand größer als $2 d$ vom Stützenrand für die Durchstanztragfähigkeit nicht von entscheidender Bedeutung sind. Hier ist die "reine" Querkrafttragfähigkeit nachzuweisen. Der tangentialer Abstand von $3,5 d$ wird durch die sehr steife Verankerung der Einbauteile gerechtfertigt. Bei diesem Abstand kann sich zwischen den Einbauteilen ein Druckgewölbe unter 30° einstellen, das sich auf die Einbauteile abstützen kann. Mit diesen Abstandsregeln wird eine gleichmäßige und flächenhafte Lastabtragung zur Stütze hin erreicht.

Da die Bleche entsprechend den Planungsunterlagen zu Linienelementen mit Positionsnummern zusammengefügt und verlegt werden - siehe Bemessungsbeispiel im Kap. Allgemeines - , besteht keine Verwechslungsgefahr, so dass in den Rundschnitten $\leq 2d$ und in den Rundschnitten $> 2d$ auch unterschiedliche Linienelmenten verwendet werden können.

Plattendicke

Die minimale Plattendicke beträgt 18 cm.

Zum Nachweis der Tragfähigkeit von 18cm dicken Platten wurden experimentelle Untersuchungen durchgeführt. In der Zulassung Z-15.1-281 wurde die minimale Plattendicke von 18 cm bereits festgelegt.

Die maximale Plattendicke bedarf keiner Beschränkung. Bei den neueren Experimenten mit 40 und 60cm dicken Platten ergaben sich durchgängig die zuvor angegebenen maximalen Tragfähigkeiten (siehe Bild 12).

Auch im Bemessungsansatz konnte anhand der neueren Versuche die günstigere Verankerung der Einbauteile bei dicken Platten, entsprechend den Vorgaben des Eurocode2, durch die Übernahme der wirksamen Streckgrenze berücksichtigt werden. Die Bemessungsgleichungen gelten für alle Plattendicken (siehe Bild 14).

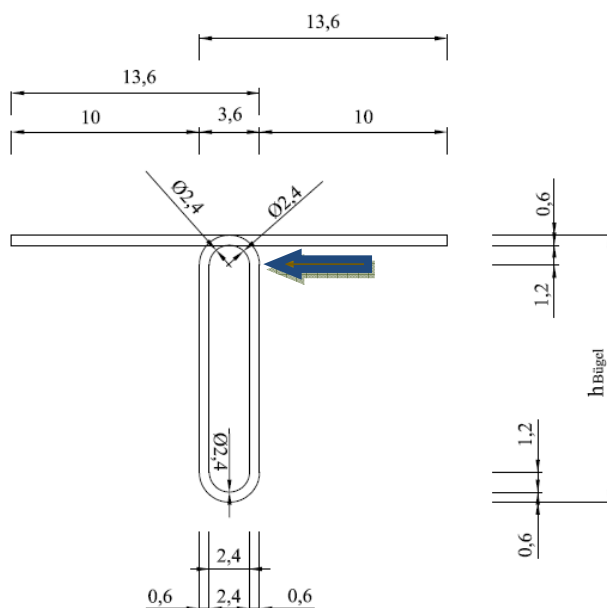
Bügelform

Bei der Herstellung der Bügel hat sich in der Praxis gezeigt, dass es einfacher ist eine oben ebenfalls geschlossene Bügelform herzustellen. Bei dieser Form muss der Bewehrungsstab während des Biegevorgangs nicht gedreht werden.

Da gegenüber der in der Zulassung bereits aufgenommenen Form (oben offen) die Verankerung im Beton eher verbessert wird, wäre es vorteilhaft, wenn die unten abgebildete Form ebenfalls in die Zulassung aufgenommen wird.

Die Versuche MA (herkömmliche Bügelform) und MB (zweite Variante) unterscheiden sich lediglich in der Bügelform und lassen keine Unterschiede erkennen.

Zweite Variante zur Form des Bügels:

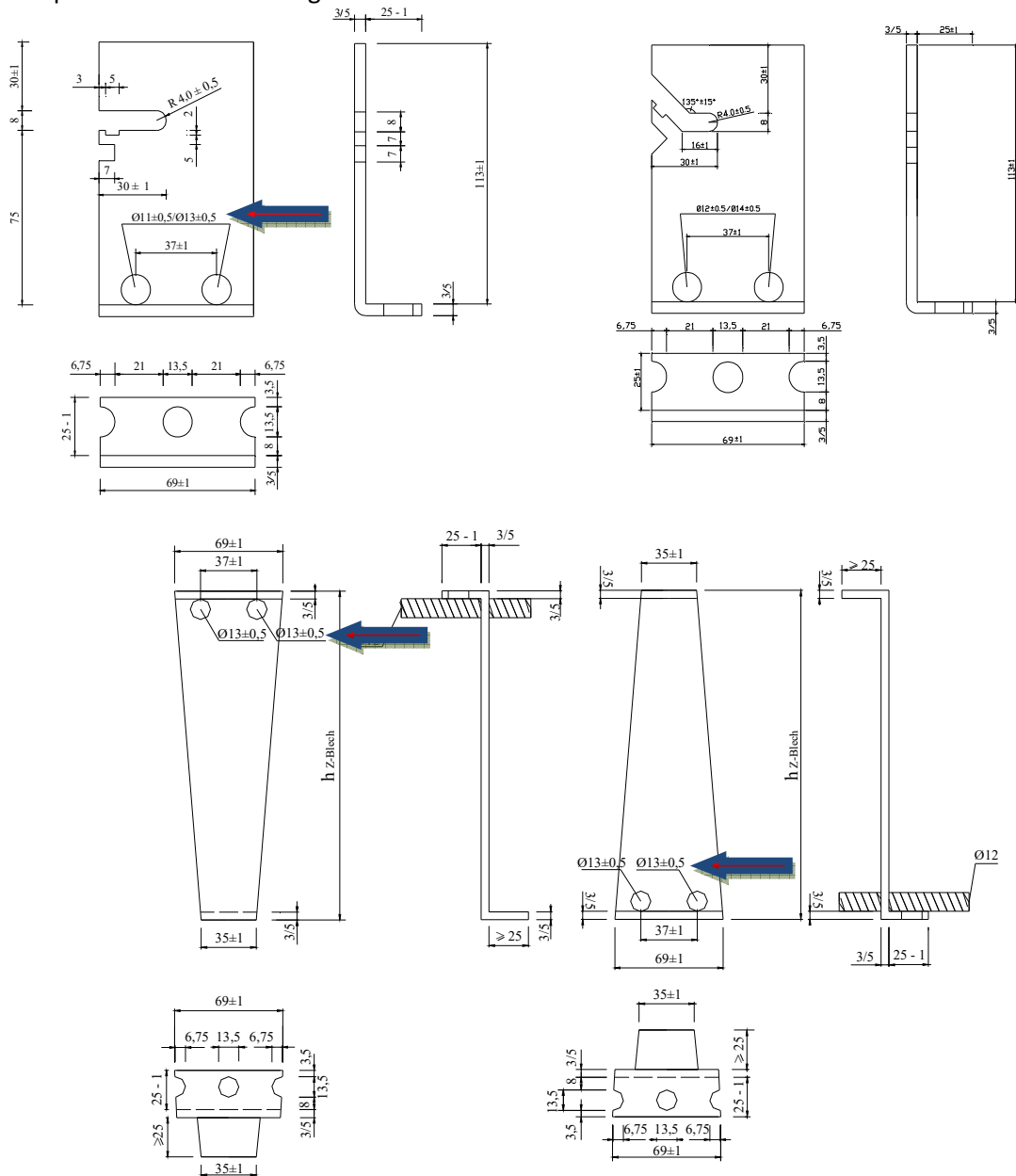


Bohrloch zur Durchführung der Bewehrung durch die Bleche und alternatives L-Blech

In der praktischen Anwendung hat sich herausgestellt, dass in Abhängigkeit von der Herstellung der Rippen auf den Bewehrungsstählen die vorgegeben Durchmesser für die Löcher in den Blechen zu gering sind. Hier ist eine Änderung der zugelassenen Bleche notwendig. Bei einer **Vergrößerung der Durchmesser von 1,0 mm** können alle üblichen Bewehrungsstähle problemlos eingefädelt werden. Da der Verbund zwischen den Blechen und den Bewehrungsstäben durch den Beton zwischen dem rechtwinklig abgekanteten Blech und dem Bewehrungsstab hergestellt wird, ändert sich das Verhalten des Bewehrungselementes nicht.

Weiterhin hat sich herausgestellt, dass eine **schräge Öffnung** nach oben beim Einbau der Bügel von Vorteil sein kann. Da die Änderungen im "unbelasteten" Teil des Bleches vorgenommen werden, ist die Tragfähigkeit des Blechs hiervon unberührt.

Bleche entsprechend der Zulassung Z-15.1-281 und alternatives L-Blech:



Nachweis der Schubkraftübertragung in der Fuge

Zum Nachweis der Schubkraftübertragung in der Fuge wurden die experimentell untersuchten Elementdecken hinsichtlich einer für die L- und Z - Bleche einheitlichen Bemessung ausgewertet. In der Tabelle 8 ist ersichtlich, dass das Bemessungskonzept des Eurocode2 für die Schubkraftübertragung in Fugen, einschließlich des nationalen Anhangs, mit der Einführung des System-Steifigkeitsfaktors k_2 für die L- und Z- Bleche übernommen werden kann. Mit diesem Konzept werden konsequent die Faktoren k_2 aus der Berechnung des Durchstanzwiderstands beibehalten.

Auch die Abstandsregeln zur Sicherung der Durchstanztragfähigkeit können unverändert übernommen werden. In den Experimenten wurden keine Verschiebungen in der Fuge festgestellt. Somit kann von einem starren Verbund ausgegangen werden. Zur Auswertung wurde deshalb der gesamte Durchstanzbereich bis $2,375d$ (alle Einbauteile bis zum kritischen Rundschnitt) überprüft. Eine örtlich begrenzte Verschiebung zwischen den zu unterschiedlichen Zeitpunkten hergestellten Betonierabschnitten ist nicht möglich. Relativverschiebungen in der Fuge können nur in einem größeren Bereich auftreten.

Die Schubkraftübertragung in den Fugen kann entsprechend den Vorgaben im Eurocode2 nachgewiesen werden.

Der Bemessungswert des Anteils der L- oder Z- Bleche an der Schubtragfähigkeit in der Fuge kann ermittelt werden mit:

$v_{Rdi,Blech}$ **Schubtragfähigkeit der Bleche**

$$v_{Rdi,Blech} = \rho \cdot 1,2 \cdot \mu \cdot f_{yd} \cdot (1/k_2) \cdot n_{Blech}$$

ρ	$A_{s,Blech} / A_i$
A_i	Fläche der Fuge, über die Schub übertragen wird
$A_{s,Blech}$	Querschnittsfläche der Bleche ($t \cdot b$)
t	Dicke des L- oder Z- Blechs
b	kleinste Breite des L- oder Z- Blechs
μ	Beiwert nach Eurocode2
f_{yd}	Bemessungswert der Streckgrenze der L- oder Z- Bleche
k_2	Systemsteifigkeitsfaktor
	$k_2 = 1,25$ bei 2 Bügeln
	$k_2 = 0,70$ bei Blechen mit $t = 3$ mm
	$k_2 = 1,00$ für alle anderen Kombinationen
n_{Blech}	Anzahl der Bleche in der Fuge, über die Schub übertragen wird

Die größere aus der Fugenbemessung und Durchstanzbemessung ermittelte Menge an Blechen ist anzuordnen.

Die Abstandsregeln der Durchstanzbewehrung sind einzuhalten.

Der gleichzeitige Einsatz von Blechen und Gitterträgern ist möglich.

Versuchskörper	Mittlere	Mittlere	Stützenform	Stützen-Durchmesser bzw. Breite	Statistische Nutzhöhe d	Längsbewehrung	Anzahl der Bleche 0,5d	Anzahl der Bleche 1,25d	Anzahl der Bleche 2,0d	Blechdicke / Bewehrungs-durchmesser	Bügelanzahl je L-Blech bzw. Z-Blech min. Breite Element-Decke	Bruchlast V_u	Schritt-Haupt-Risse innen	Schritt-deutliche Risse	Begebewehrung geflossen	Maßstabfaktor k	Rundschnitt $u_r(2,0d)$	$V_{Rk,c}$	$V_{Rk,c}$	$V_{Sky(0,5d)}$	$V_{Sky(0,5d)} / V_{Rk,c}$	$V_{Sky(0,5d)} / V_u$	$V_{Sky(1,25d)}$	$V_{Sky(1,25d)} / V_{Rk,c}$	$V_{Sky(1,25d)} / V_u$	$V_{Sky(2,0d)}$	$V_{Sky(2,0d)} / V_{Rk,c}$	$V_{Sky(2,0d)} / V_u$	$V_u / V_{Rk,c}$	$V_{Sky(0,5d+1,25d)/2} / V_{Rk,c}$	
	Würfeldruckfestigkeit $f_{cm,cube}$	Zylinderdruckfestigkeit $f_{cm} = 0,83 \cdot f_{cm,cube}$																													Zylinderdruckfestigkeit charakteristische $f_{ck} = f_{cm} - 4$
BT	28,6	23,7	19,7	Rund	300	205	1,53	24	28	8	L5/10	1	1350		X		1,988	3,519	1,114	0,804	0,719	0,90	0,53	0,839	1,04	0,62	0,240	0,30	0,18	1,68	0,97
BM	20,0	16,6	12,6	Rund	300	205	1,53	14	20	18	L3 u. L5/12	1	1055				1,988	3,519	0,959	0,692	0,420	0,61	0,40	0,600	0,87	0,57	0,540	0,78	0,51	1,52	0,74
BN	18,0	14,9	10,9	Rund	300	205	1,53	20	24	28	L3 u. L5/12	1	1440				1,988	3,519	0,915	0,660	0,600	0,91	0,42	0,719	1,09	0,50	0,839	1,27	0,58	2,18	1,00
BO	23,0	19,1	15,1	Rund	300	205	1,53	20	24	28	L3 u. L5/10	1	1280				1,988	3,519	1,019	0,735	0,600	0,82	0,47	0,719	0,98	0,56	0,839	1,14	0,66	1,74	0,90
DU	35,0	29,1	25,1	Rund	300	205	1,53	12	22	20	L3/12	1	X 1347				1,988	3,519	1,206	0,870	0,360	0,41	0,27	0,659	0,76	0,49	0,600	0,69	0,45	1,55	0,59
DU-F	35,0	29,1	25,1	Rund	300	205	1,53	12	22	20	L3/12	1	X 1383				1,988	3,519	1,206	0,870	0,360	0,41	0,26	0,659	0,76	0,48	0,600	0,69	0,43	1,59	0,59
LE	44,9	37,3	33,3	Rund	300	360	0,49	80	56	52	L3/12	1	3861	X	X		1,745	5,466	0,797	1,568	2,398	1,53	0,62	1,679	1,07	0,43	1,559	0,99	0,40	2,46	1,30
LF	45,7	37,9	33,9	Rund	300	360	0,49	80	56	52	L3/12	1	3856	X	X		1,745	5,466	0,802	1,578	2,398	1,52	0,62	1,679	1,06	0,44	1,559	0,99	0,40	2,44	1,29
BU	25,6	21,2	17,2	Rund	300	205	1,53	24	28	8	L3/12	1	1185		X		1,988	3,519	1,065	0,768	0,719	0,94	0,61	0,839	1,09	0,71	0,240	0,31	0,20	1,54	1,01
CX	36,8	30,5	26,5	Rund	300	205	1,53	12	8	12	L3/10	1	1100				1,988	3,519	1,230	0,887	0,360	0,41	0,33	0,240	0,27	0,22	0,360	0,41	0,33	1,24	0,34
BX	52,9	43,9	39,9	Rund	300	205	1,53	12	8	12	L3/10	1	1210				1,988	3,519	1,409	1,016	0,360	0,35	0,30	0,240	0,24	0,20	0,360	0,35	0,30	1,19	0,29
BV	28,4	23,6	19,6	Rund	300	210	0,73	24	28	8	L3/10	1	945				1,976	3,581	0,863	0,649	0,719	1,11	0,76	0,839	1,29	0,89	0,240	0,37	0,25	1,46	1,20
CV	37,4	31,0	27,0	Rund	300	210	0,73	24	28	8	L3/10	1	1075				1,976	3,581	0,961	0,723	0,719	1,00	0,67	0,839	1,16	0,78	0,240	0,33	0,22	1,49	1,08
BW	27,8	23,1	19,1	Rund	300	205	1,53	24	28	8	L3/10	1	1070				1,988	3,519	1,102	0,795	0,719	0,91	0,67	0,839	1,06	0,78	0,240	0,30	0,22	1,35	0,98
CW	37,2	30,9	26,9	Rund	300	205	1,53	24	28	8	L3/10	1	1220				1,988	3,519	1,235	0,891	0,719	0,81	0,59	0,839	0,94	0,69	0,240	0,27	0,20	1,37	0,87
EF	43,2	35,9	31,9	Rund	300	205	1,53	28	24	16	Z5/12	39	1864	X			1,988	3,519	1,307	0,943	1,835	1,95	0,98	1,572	1,67	0,84	1,048	1,11	0,56	1,98	1,81
FF	37,3	31,0	27,0	Rund	300	210	0,84	24	24	28	Z5/12	39	1836	X			1,976	3,581	1,006	0,757	1,572	2,08	0,86	1,572	2,08	0,86	1,835	2,42	1,00	2,43	2,08
FH	46,4	38,5	34,5	Rund	300	205	1,96	24	24	28	Z5/12	39	2011	X			1,988	3,519	1,458	1,052	1,572	1,50	0,78	1,572	1,50	0,78	1,835	1,74	0,91	1,91	1,50
IS	35,7	29,6	25,6	Rund	400	210	0,84	18	16	16	Z5/12	39	1668	X			1,976	3,896	0,989	0,809	1,179	1,46	0,71	1,048	1,30	0,63	1,048	1,30	0,63	2,06	1,38
JA	21,0	17,4	13,4	Rund	300	210	1,03	20	14	16	Z5/12	39	1117	X			1,976	3,581	0,854	0,642	1,310	2,04	1,17	0,917	1,43	0,82	1,048	1,63	0,94	1,74	1,73
JB	20,0	16,6	12,6	Rund	300	210	1,03	20	14	16	Z5/12	39	951	X			1,976	3,581	0,836	0,629	1,310	2,08	1,38	0,917	1,46	0,96	1,048	1,67	1,10	1,51	1,77
LD	50,3	41,7	37,7	Rund	300	360	0,49	44	44	36	Z5/12	35	3168	X			1,745	5,466	0,716	1,409	2,587	1,84	0,82	2,587	1,84	0,82	2,117	1,50	0,67	2,25	1,84
MD	25,6	21,2	17,2	Rund	300	560	0,32	92	92	76	Z5/12	35	4206	X			1,598	7,980	0,390	1,744	5,410	3,10	1,29	5,410	3,10	1,29	4,469	2,56	1,06	2,41	3,10
BK	20,0	16,6	12,6	Rund	300	205	1,53	14	20	18	Z3 u. Z5/12	32	1000				1,988	3,519	0,959	0,692	0,632	0,91	0,63	0,903	1,31	0,90	0,813	1,17	0,81	1,45	1,11
BL	18,0	14,9	10,9	Rund	300	205	1,53	14	20	18	Z3 u. Z5/12	32	1030				1,988	3,519	0,915	0,660	0,632	0,96	0,61	0,903	1,37	0,88	0,813	1,23	0,79	1,56	1,16
DU-B	35,1	29,1	25,1	Rund	300	205	1,53	20	22	12	Z3/12	36	X 1475				1,988	3,519	1,208	0,871	0,726	0,83	0,49	0,798	0,92	0,54	0,435	0,50	0,30	1,69	0,87
FG	36,1	30,0	26,0	Rund	300	210	0,84	24	24	28	Z3/12	39	1608	X			1,976	3,581	0,994	0,747	0,943	1,26	0,59	0,943	1,26	0,59	1,101	1,47	0,68	2,15	1,26
MC	25,6	21,2	17,2	Rund	300	560	0,32	108	100	84	Z3/12	35	4202	X			1,598	7,980	0,390	1,744	3,810	2,18	0,91	3,528	2,02	0,84	2,964	1,70	0,71	2,41	2,10

Tabelle 1 – Teil 2 Zusammenstellung der Versuchskörper

Anmerkung: Die verwendeten Farben unterteilen die Versuchskörper in Abhängigkeit von den untersuchten Parametern. Die Farben werden auch in den folgenden Diagrammen als Datenpunkte verwendet.

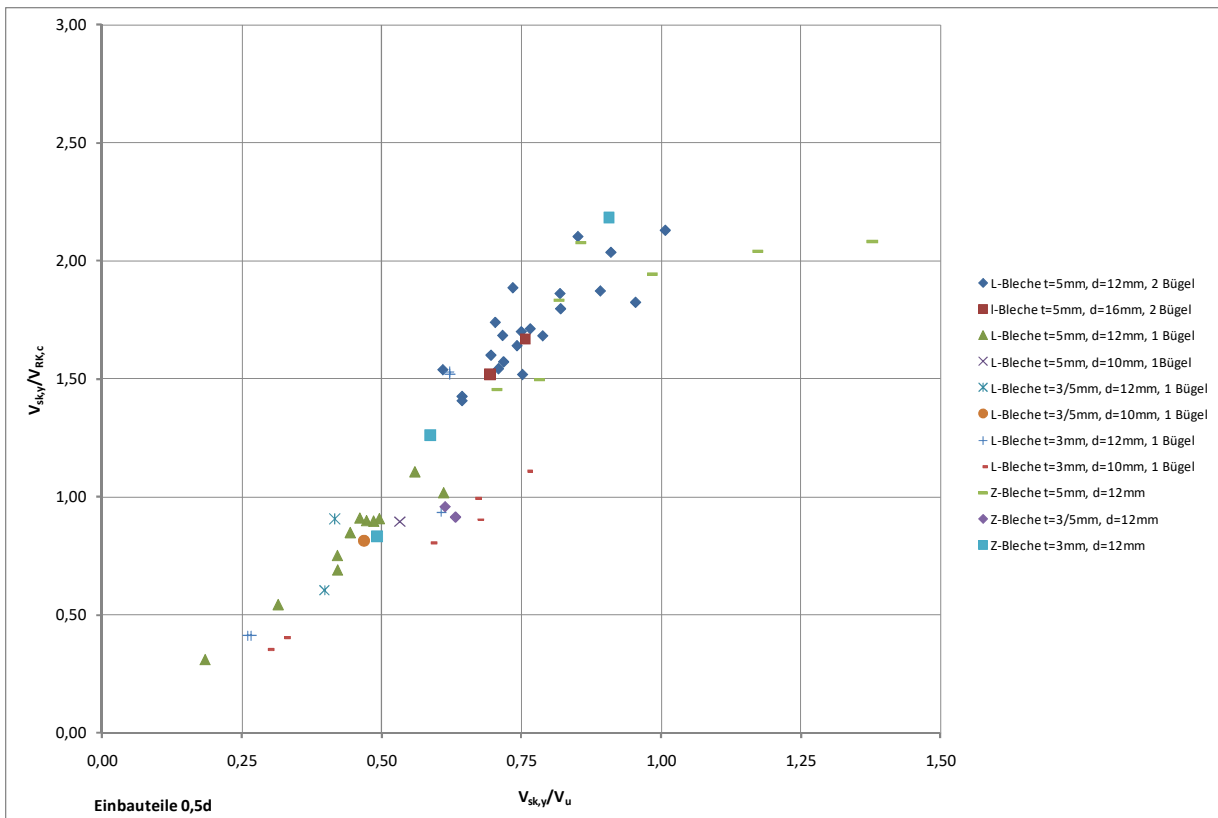


Bild 1 Zusammenhang zwischen dem Stahl- und Betontraganteil und der Bruchlast für die Einbauteile im Abstand 0,5 d vom Stützenrand für sämtliche Körper

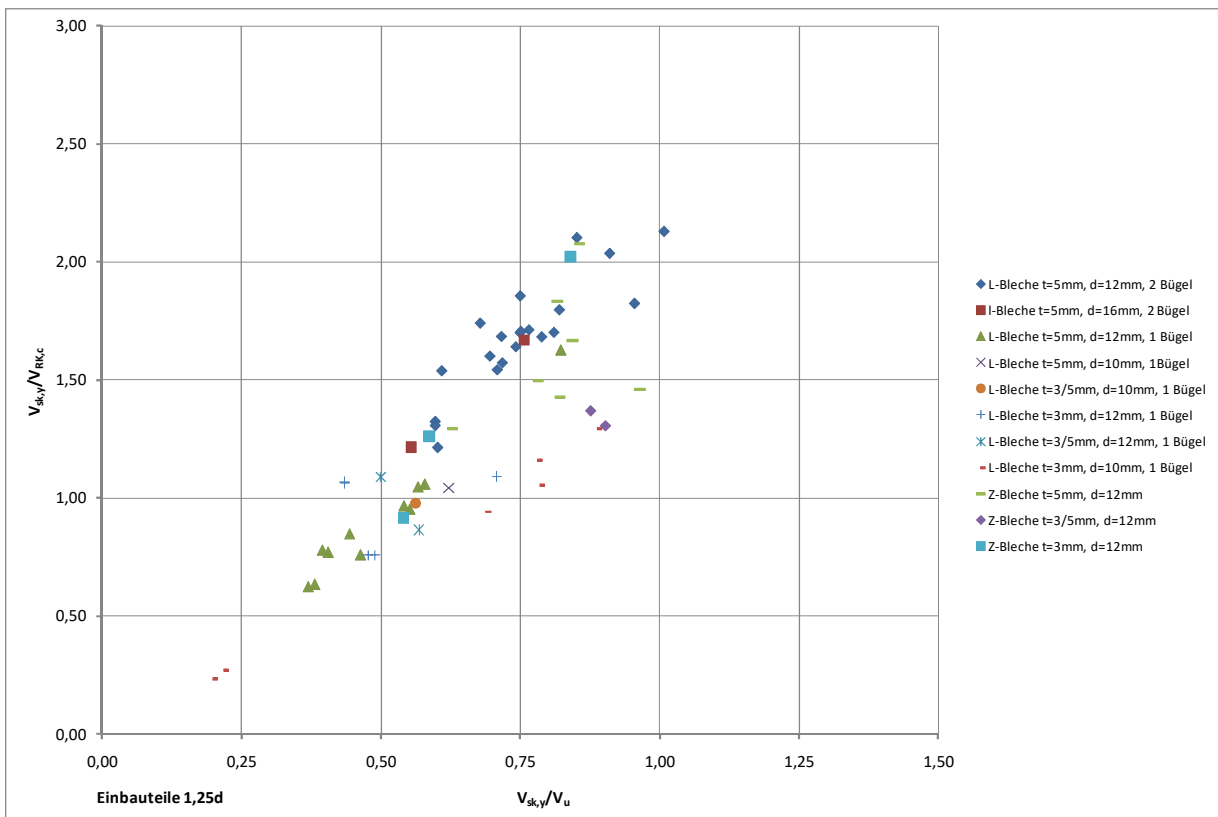


Bild 2 Zusammenhang zwischen dem Stahl- und Betontraganteil und der Bruchlast für die Einbauteile im Abstand 1,25 d vom Stützenrand für sämtliche Körper

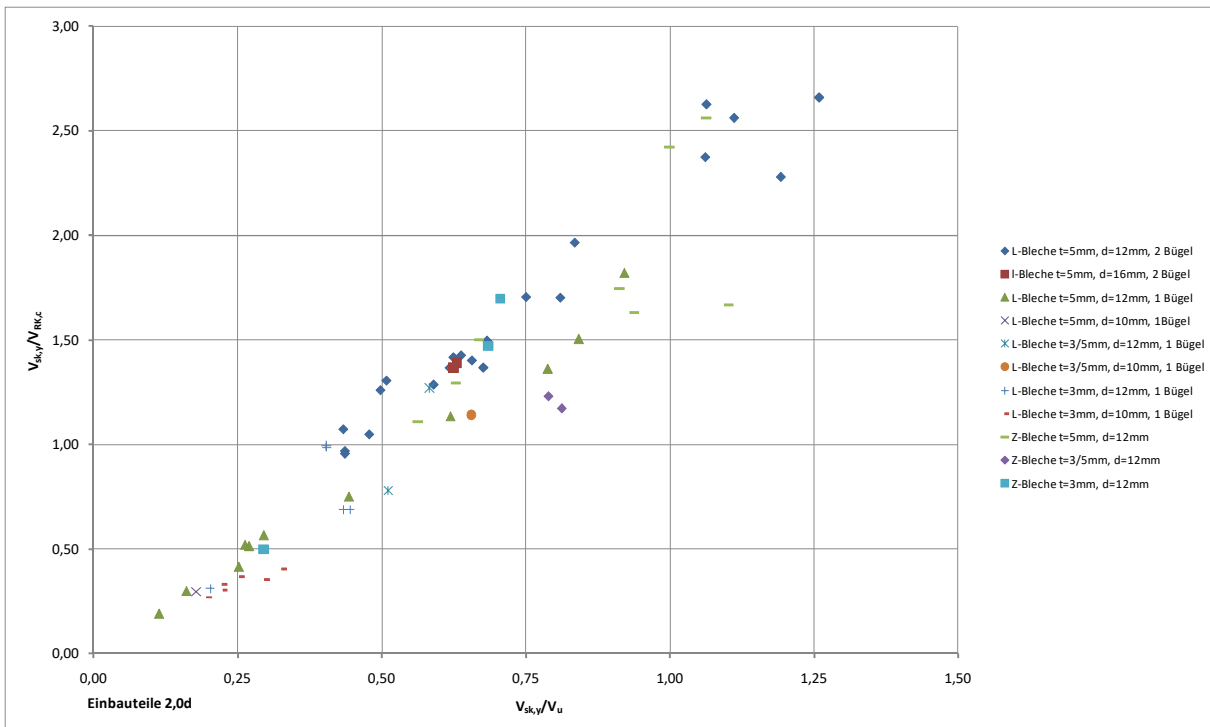


Bild 3 Zusammenhang zwischen dem Stahl- und Betontraganteil und der Bruchlast für die Einbauteile im Abstand $2,0 d$ vom Stützenrand für sämtliche Körper

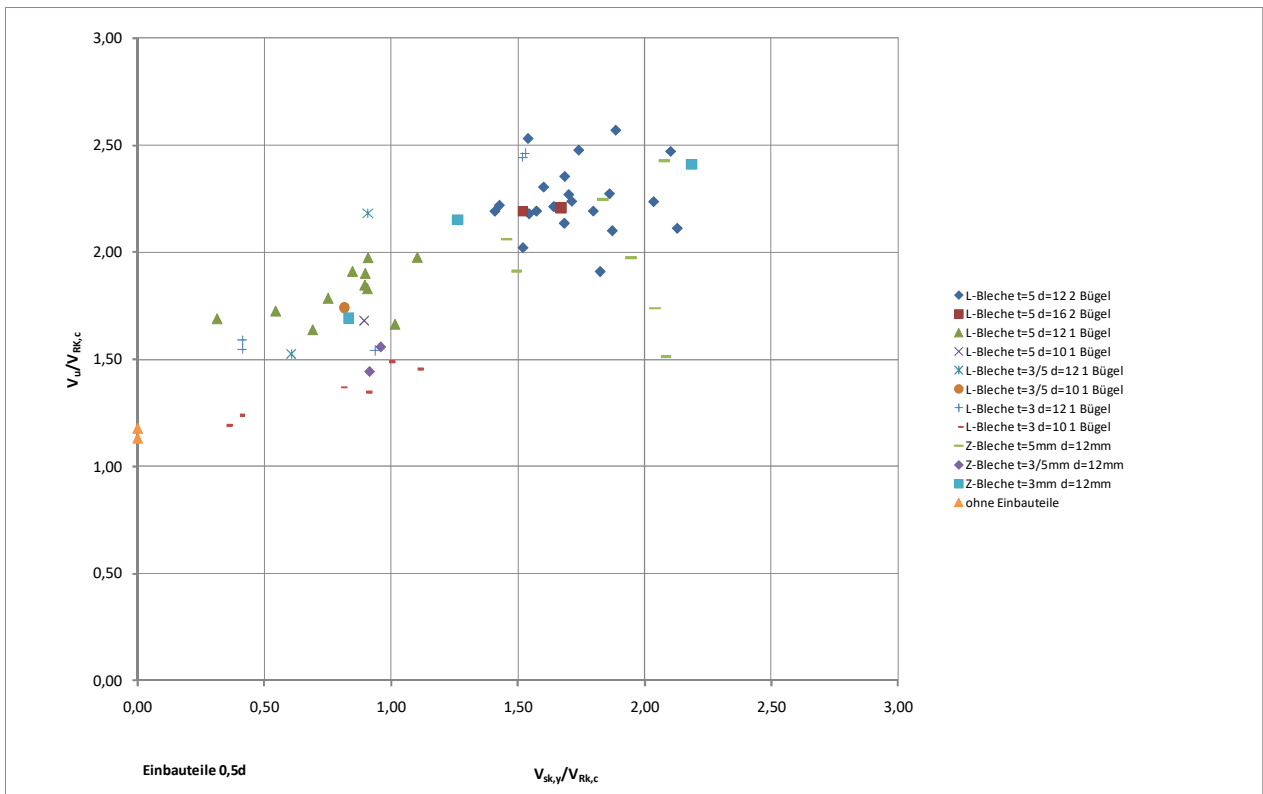


Bild 4 Traglast in Abhängigkeit von der Anzahl der Einbauteil im Abstand 0,5d vom Stützenrand für sämtliche Körper

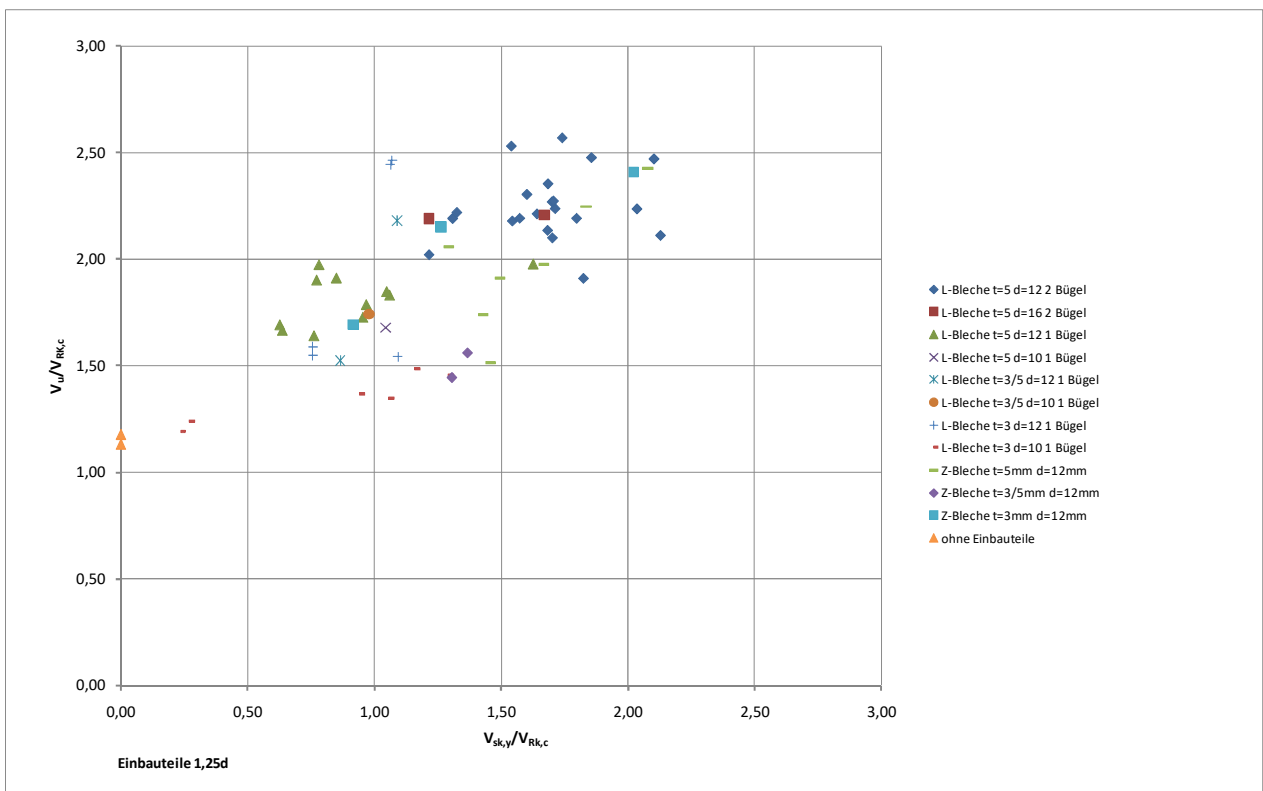


Bild 5 Traglast in Abhängigkeit von der Anzahl der Einbauteil im Abstand 1,25d vom Stützenrand für sämtliche Körper

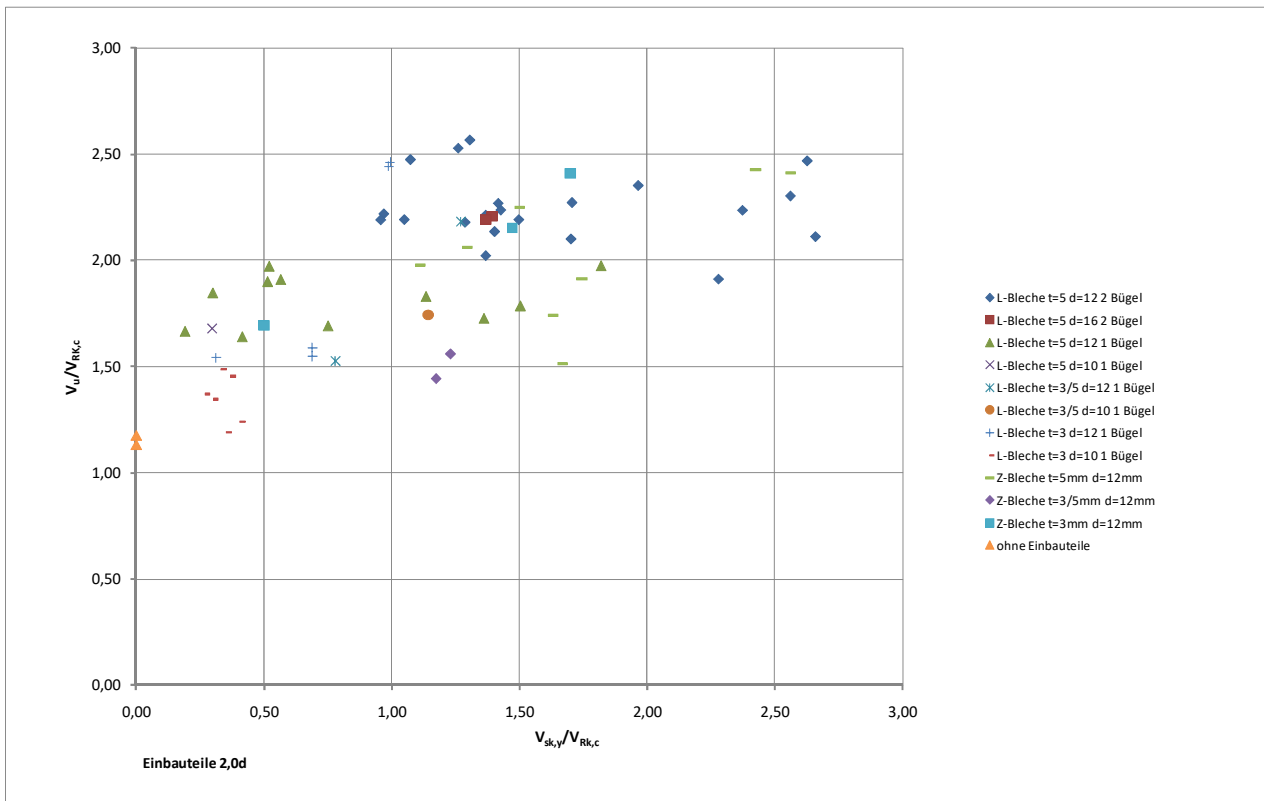


Bild 6 Traglast in Abhängigkeit von der Anzahl der Einbauteil im Abstand 2,0d vom Stützenrand für sämtliche Körper

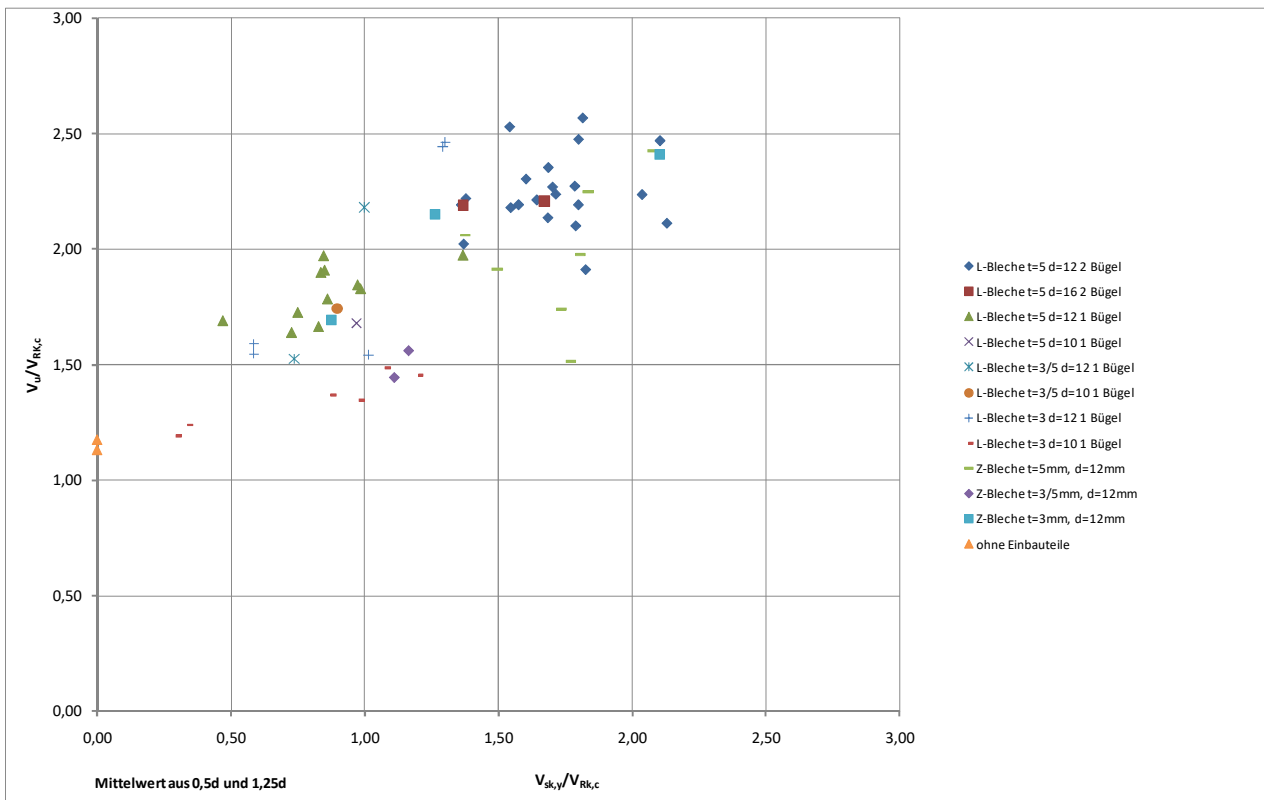


Bild 7 Traglast in Abhängigkeit von der mittleren Anzahl der Einbauteil im Abstand 0,5d und 1,25d vom Stützenrand für sämtliche Körper

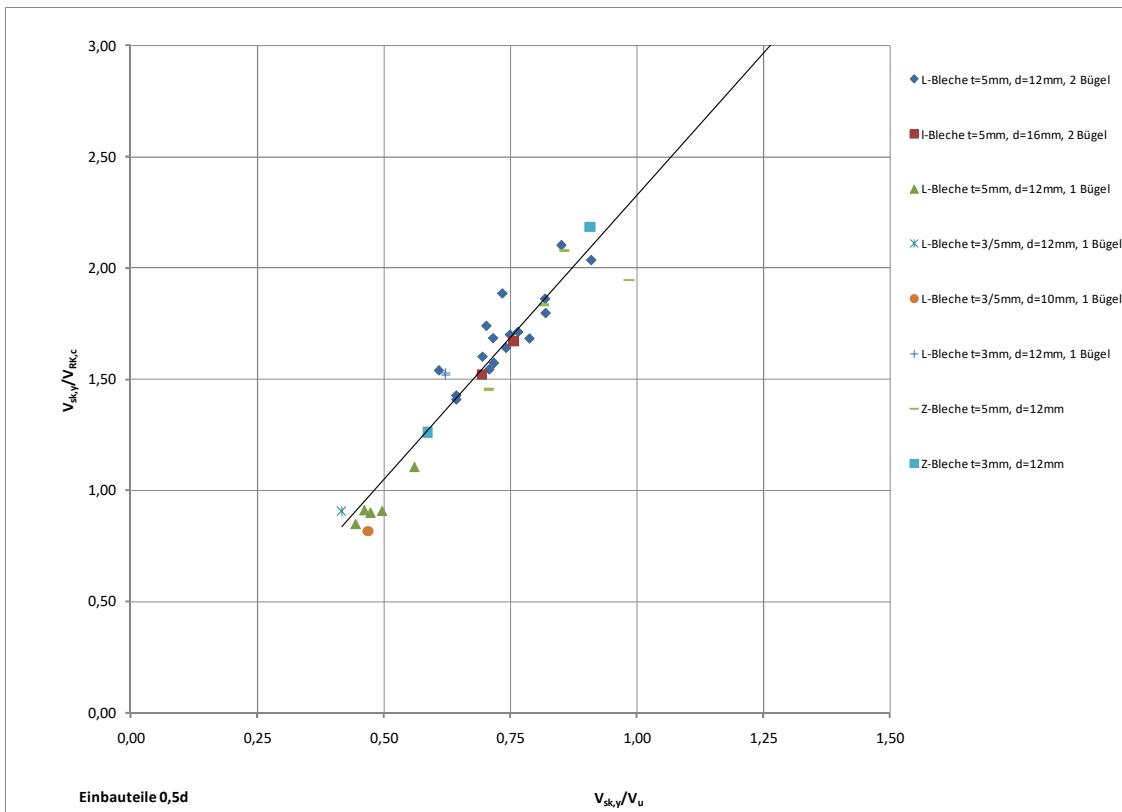


Bild 8 Zusammenhang zwischen dem Stahl- und Betontraganteil und der Bruchlast für die Einbauteile im Abstand 0,5 d vom Stützenrand für die ausgewählten Körper zur max. Tragfähigkeit

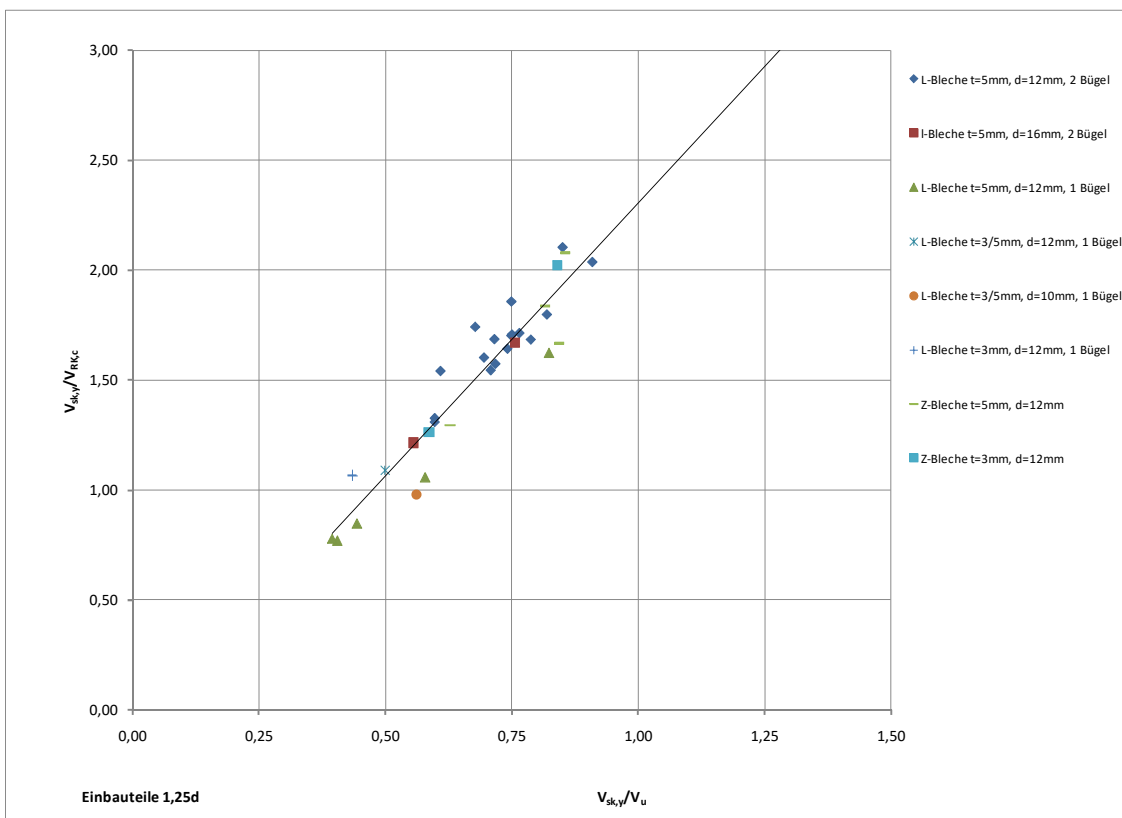


Bild 9 Zusammenhang zwischen dem Stahl- und Betontraganteil und der Bruchlast für die Einbauteile im Abstand 1,25 d vom Stützenrand für die ausgewählten Körper zur max. Tragfähigkeit

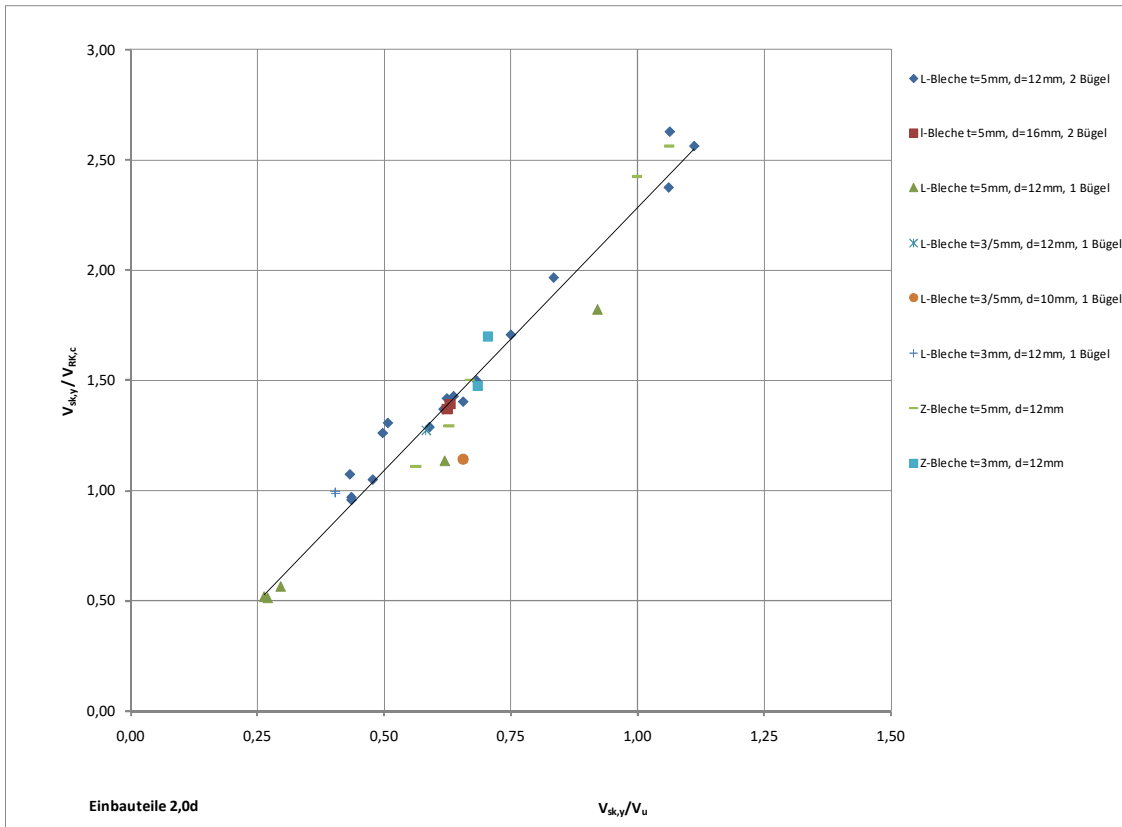


Bild 10 Zusammenhang zwischen dem Stahl- und Betontraganteil und der Bruchlast für die Einbauteile im Abstand 2,0 d vom Stützenrand für die ausgewählten Körper zur max. Tragfähigkeit

Varianz bekannt													
Versuch	fck	Nutzhöhe [mm]	Stütze [cm]	ρ	Einbauteile	0,5d	1,25d	2,0d	VRk,c [KN]	VRk,max [KN]	α	Vu [KN]	Vu/VRk,max
A	45,9	205	Ø 30	0,0153	/				1065	1065	1,00	1253	1,18
B	44,1	205	Ø 30	0,0153	/				1051	1051	1,00	1190	1,13
FB	29,9	140	Ø 30	0,0126	L512-2	16	16	20	456	958	2,10	1127	1,18
FE	38,7	210	Ø 30	0,0084	L512-2	24	24	28	854	1793	2,10	2010	1,12
GE	22,0	210	Ø 30	0,0084	L512-2	24	24	28	707	1485	2,10	1581	1,06
IF	27,5	195	Ø 30	0,0181	L512-2	24	24	20	877	1842	2,10	1940	1,05
IFw	31,3	195	Ø 30	0,0181	L512-2	24	24	16	915	1922	2,10	2005	1,04
IM	29,9	195	26,5 x 26,5	0,0181	L512-2	24	24	20	932	1957	2,10	2031	1,04
IO	16,3	195	35,5 x 35,5	0,0181	L512-2	24	24	20	840	1764	2,10	1880	1,07
IP	19,0	195	Ø 40	0,0181	L512-2	24	24	20	846	1777	2,10	1920	1,08
IR	24,8	210	Ø 40	0,0084	L512-2	24	24	20	801	1682	2,10	1755	1,04
KO	19,7	210	35,5 x 35,5	0,0084	L512-2	24	20	24	773	1623	2,10	1757	1,08
IG	26,1	195	Ø 30	0,0181	L516-2	24	24	20	861	1808	2,10	1902	1,05
IK	30,5	210	Ø 30	0,0084	L516-2	20	16	18	789	1657	2,10	1728	1,04
LA	43,4	360	Ø 30	0,0049	L512-2	48	40	36	1713	3597	2,10	4333	1,20
LB	34,1	360	Ø 38	0,0049	L512-2	52	48	36	1653	3471	2,10	4246	1,22
Aa 40er	29,0	360	Ø 30	0,0049	L512-2	40	40	64	1497	3144	2,10	3450	1,10
MA	27,9	560	Ø 30	0,0032	L512-2	56	52	38	2352	4939	2,10	5220	1,06
MB	28,8	560	Ø 30	0,0032	L512-2	56	52	38	2382	5002	2,10	5220	1,04
LC	38,2	360	Ø 30	0,0098	L512-2;L312-1	60-5er	48-5er	88-3er	2068	4343	2,10	5119	1,18
LE	33,3	360	Ø 30	0,0049	L312-1	80	56	52	1568	3293	2,10	3861	1,17
LF	33,9	360	Ø 30	0,0049	L312-1	80	56	52	1578	3314	2,10	3856	1,16
FF	27,0	210	Ø 30	0,0084	Z5/12	24	24	28	757	1514	2,00	1836	1,21
IS	25,6	210	Ø 40	0,0084	Z5/12	18	16	16	809	1618	2,00	1668	1,03
LD	37,7	360	Ø 30	0,0049	Z5/12	48	40	36	1409	2818	2,00	3167	1,12
MD	25,6	560	Ø 30	0,0032	Z5/12	92	92	76	1744	3488	2,00	4202	1,20
FG	26,0	210	Ø 30	0,0084	Z3/12	24	24	28	747	1494	2,00	1608	1,08
MC	25,6	560	Ø 30	0,0032	Z3/12	108	100	84	1744	3488	2,00	4206	1,21
											Anzahl		28
											Mittelwert		1,11
											Standardabweichung		0,066
											k-Wert		1,67
											5%-Quantilwert		1,00

Tabelle 3 Körper ohne Einbauteile sowie L - und Z - Bleche bei bekannter Varianz

Versuch	fck	Nutzhöhe [mm]	Stütze [cm]	ρ	Einbauteile	0,5d	1,25d	2,0d	VRk,c [KN]	VRk,max [KN]	α	Vu [KN]	Vu/VRk,max
FB	29,9	140	Ø 30	0,0126	L512-2	16	16	20	456	958	2,10	1127	1,18
FE	38,7	210	Ø 30	0,0084	L512-2	24	24	28	854	1793	2,10	2010	1,12
GE	22,0	210	Ø 30	0,0084	L512-2	24	24	28	707	1485	2,10	1581	1,06
IF	27,5	195	Ø 30	0,0181	L512-2	24	24	20	877	1842	2,10	1940	1,05
IFw	31,3	195	Ø 30	0,0181	L512-2	24	24	16	915	1922	2,10	2005	1,04
IM	29,9	195	26,5 x 26,5	0,0181	L512-2	24	24	20	932	1957	2,10	2031	1,04
IO	16,3	195	35,5 x 35,5	0,0181	L512-2	24	24	20	840	1764	2,10	1880	1,07
IP	19,0	195	Ø 40	0,0181	L512-2	24	24	20	846	1777	2,10	1920	1,08
IR	24,8	210	Ø 40	0,0084	L512-2	24	24	20	801	1682	2,10	1755	1,04
KO	19,7	210	35,5 x 35,5	0,0084	L512-2	24	20	24	773	1623	2,10	1757	1,08
IG	26,1	195	Ø 30	0,0181	L516-2	24	24	20	861	1808	2,10	1902	1,05
IK	30,5	210	Ø 30	0,0084	L516-2	20	16	18	789	1657	2,10	1728	1,04
LA	43,4	360	Ø 30	0,0049	L512-2	48	40	36	1713	3597	2,10	4333	1,20
LB	34,1	360	Ø 38	0,0049	L512-2	52	48	36	1653	3471	2,10	4246	1,22
Aa 40er	29,0	360	Ø 30	0,0049	L512-2	40	40	64	1497	3144	2,10	3450	1,10
MA	27,9	560	Ø 30	0,0032	L512-2	56	52	38	2352	4939	2,10	5220	1,06
MB	28,8	560	Ø 30	0,0032	L512-2	56	52	38	2382	5002	2,10	5220	1,04
LC	38,2	360	Ø 30	0,0098	L512-2;L312-1	60-5er	48-5er	88-3er	2068	4343	2,10	5119	1,18
LE	33,3	360	Ø 30	0,0049	L312-1	80	56	52	1568	3293	2,10	3861	1,17
LF	33,9	360	Ø 30	0,0049	L312-1	80	56	52	1578	3314	2,10	3856	1,16
											Anzahl		20
											Mittelwert		1,10
											Standardabweichung		0,062
											k-Wert		1,68
											5%-Quantilwert		1,00

Tabelle 4 L-Bleche

Versuch	fck	Nutzhöhe [mm]	Stütze [cm]	ρ	Einbauteile	0,5d	1,25d	2,0d	VRk,c [KN]	VRk,max [KN]	α	Vu [KN]	Vu/VRk,max
FF	27,0	210	Ø 30	0,0084	Z5/12	24	24	28	757	1514	2,00	1836	1,21
IS	25,6	210	Ø 40	0,0084	Z5/12	18	16	16	809	1618	2,00	1668	1,03
LD	37,7	360	Ø 30	0,0049	Z5/12	48	40	36	1409	2818	2,00	3167	1,12
MD	25,6	560	Ø 30	0,0032	Z5/12	92	92	76	1744	3488	2,00	4202	1,20
FG	26,0	210	Ø 30	0,0084	Z3/12	24	24	28	747	1494	2,00	1608	1,08
MC	25,6	560	Ø 30	0,0032	Z3/12	108	100	84	1744	3488	2,00	4206	1,21
											Anzahl		6
											Mittelwert		1,14
											Standardabweichung		0,08
											k-Wert		1,77
											5%-Quantilwert		1,01

Tabelle 5 Z-Bleche

Varianz unbekannt													
Versuch	fck	Nutzhöhe [mm]	Stütze [cm]	ρ	Einbauteile	0,5d	1,25d	2,0d	VRk,c [KN]	VRk,max [KN]	α	Vu [KN]	Vu/VRk,max
A	45,9	205	Ø 30	0,0153	/				1065	1065	1,00	1253	1,18
B	44,1	205	Ø 30	0,0153	/				1051	1051	1,00	1190	1,13
FB	29,9	140	Ø 30	0,0126	L512-2	16	16	20	456	958	2,10	1127	1,18
FE	38,7	210	Ø 30	0,0084	L512-2	24	24	28	854	1793	2,10	2010	1,12
GE	22,0	210	Ø 30	0,0084	L512-2	24	24	28	707	1485	2,10	1581	1,06
IF	27,5	195	Ø 30	0,0181	L512-2	24	24	20	877	1842	2,10	1940	1,05
IFw	31,3	195	Ø 30	0,0181	L512-2	24	24	16	915	1922	2,10	2005	1,04
IM	29,9	195	26,5 x 26,5	0,0181	L512-2	24	24	20	932	1957	2,10	2031	1,04
IO	16,3	195	35,5 x 35,5	0,0181	L512-2	24	24	20	840	1764	2,10	1880	1,07
IP	19,0	195	Ø 40	0,0181	L512-2	24	24	20	846	1777	2,10	1920	1,08
IR	24,8	210	Ø 40	0,0084	L512-2	24	24	20	801	1682	2,10	1755	1,04
KO	19,7	210	35,5 x 35,5	0,0084	L512-2	24	20	24	773	1623	2,10	1757	1,08
IG	26,1	195	Ø 30	0,0181	L516-2	24	24	20	861	1808	2,10	1902	1,05
IK	30,5	210	Ø 30	0,0084	L516-2	20	16	18	789	1657	2,10	1728	1,04
LA	43,4	360	Ø 30	0,0049	L512-2	48	40	36	1713	3597	2,10	4333	1,20
LB	34,1	360	Ø 38	0,0049	L512-2	52	48	36	1653	3471	2,10	4246	1,22
Aa 40er	29,0	360	Ø 30	0,0049	L512-2	40	40	64	1497	3144	2,10	3450	1,10
MA	27,9	560	Ø 30	0,0032	L512-2	56	52	38	2352	4939	2,10	5220	1,06
MB	28,8	560	Ø 30	0,0032	L512-2	56	52	38	2382	5002	2,10	5220	1,04
LC	38,2	360	Ø 30	0,0098	L512-2;L312-1	60-5er	48-5er	88-3er	2068	4343	2,10	5119	1,18
LE	33,3	360	Ø 30	0,0049	L312-1	80	56	52	1568	3293	2,10	3861	1,17
LF	33,9	360	Ø 30	0,0049	L312-1	80	56	52	1578	3314	2,10	3856	1,16
FF	27,0	210	Ø 30	0,0084	Z5/12	24	24	28	757	1514	2,00	1836	1,21
IS	25,6	210	Ø 40	0,0084	Z5/12	18	16	16	809	1618	2,00	1668	1,03
LD	37,7	360	Ø 30	0,0049	Z5/12	48	40	36	1409	2818	2,00	3167	1,12
MD	25,6	560	Ø 30	0,0032	Z5/12	92	92	76	1744	3488	2,00	4202	1,20
FG	26,0	210	Ø 30	0,0084	Z3/12	24	24	28	747	1494	2,00	1608	1,08
MC	25,6	560	Ø 30	0,0032	Z3/12	108	100	84	1744	3488	2,00	4206	1,21
											Anzahl		28
											Mittelwert		1,11
											Standardabweichung		0,066
											k-Wert		1,73
											5%-Quantilwert		1,00

Tabelle 6 Körper ohne Einbauteile sowie L – und Z - Bleche bei unbekannter Varianz

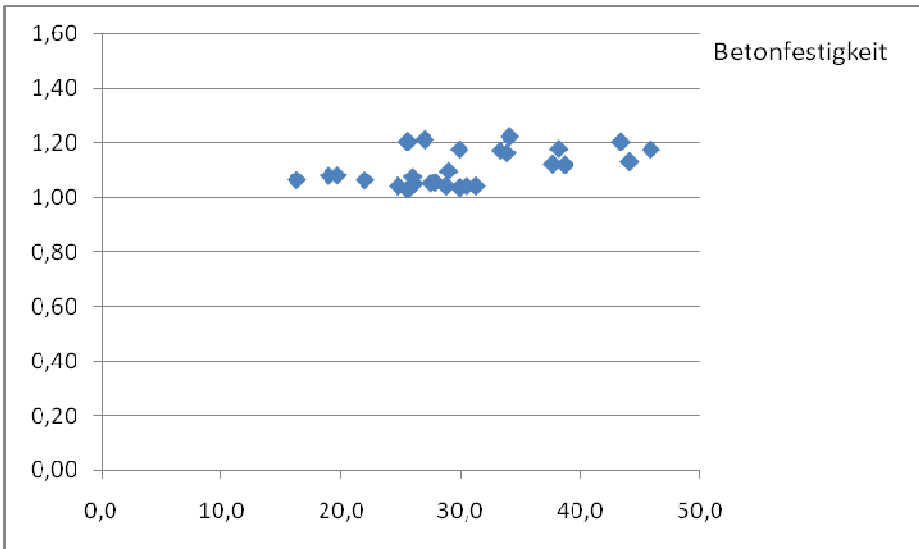


Bild 11 Maximale Tragfähigkeit ($V_u/V_{Rk,max}$) in Abhängigkeit von der Betonfestigkeit [N/mm²]

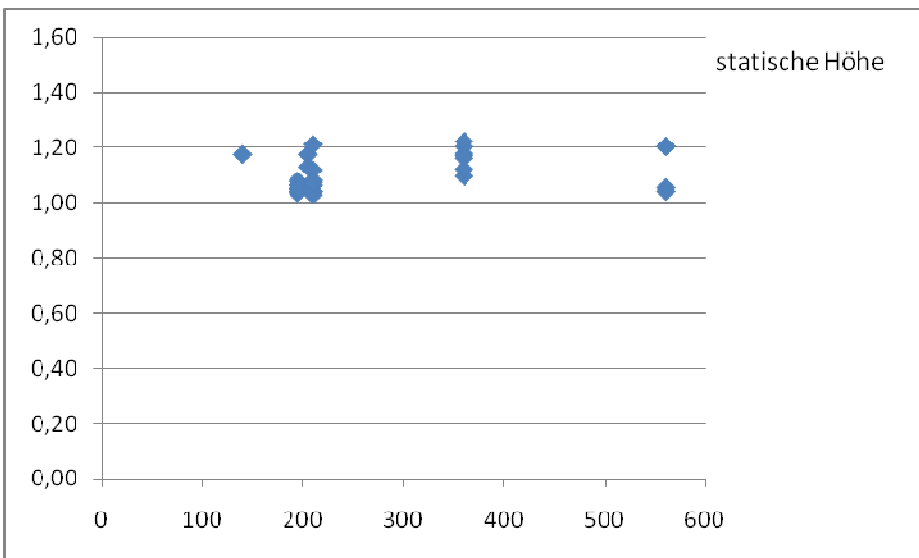


Bild 12 Maximale Tragfähigkeit ($V_u/V_{Rk,max}$) in Abhängigkeit von der statischen Höhe [mm]

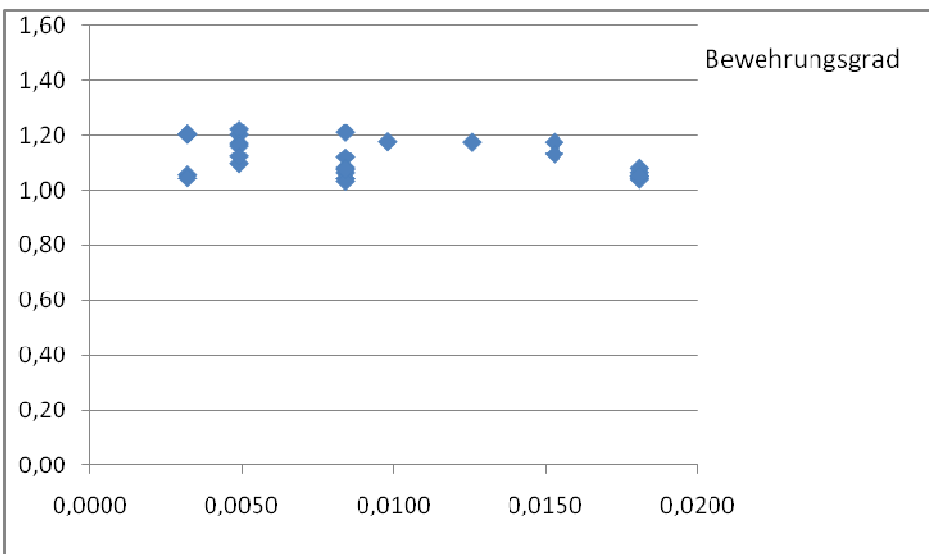


Bild 13 Maximale Tragfähigkeit ($V_u/V_{Rk,max}$) in Abhängigkeit vom Bewehrungsgrad [1]

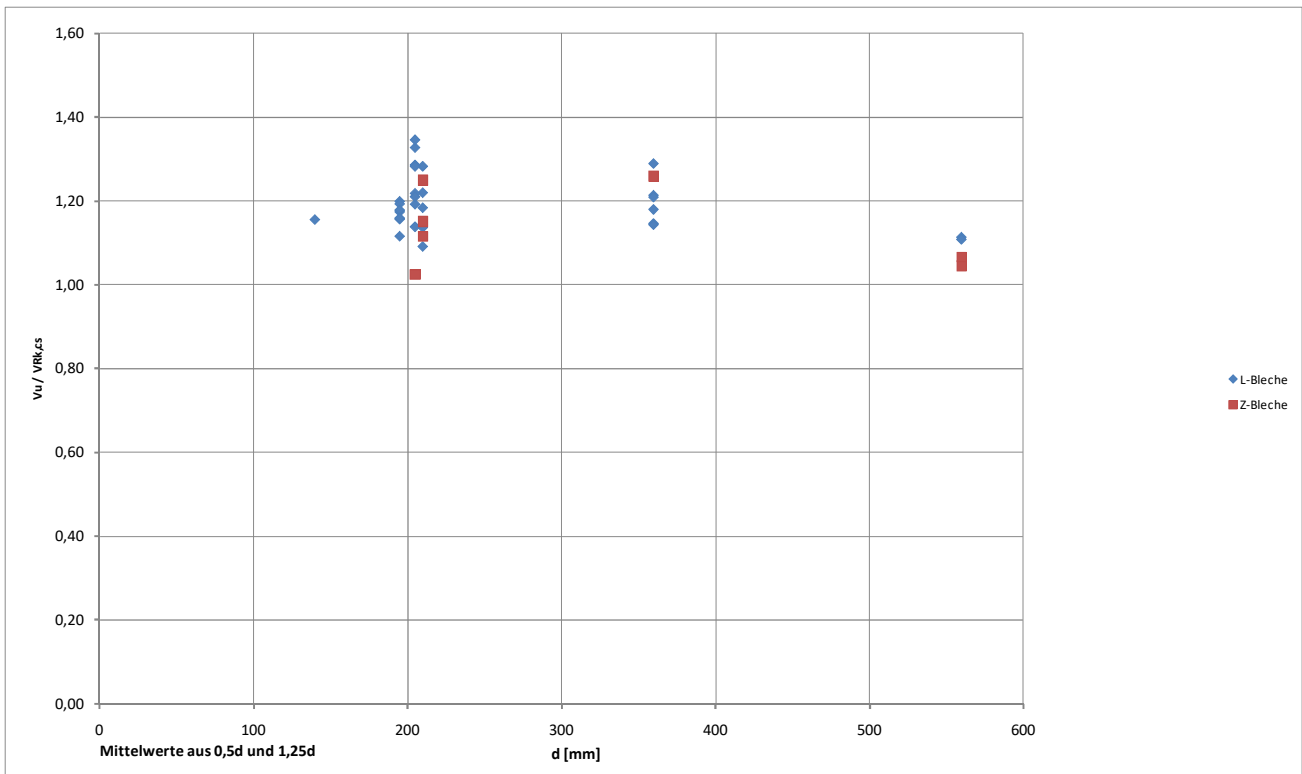


Bild 14 Tragfähigkeit in Abhängigkeit von der statischen Höhe zur Überprüfung der Bemessungsgleichungen

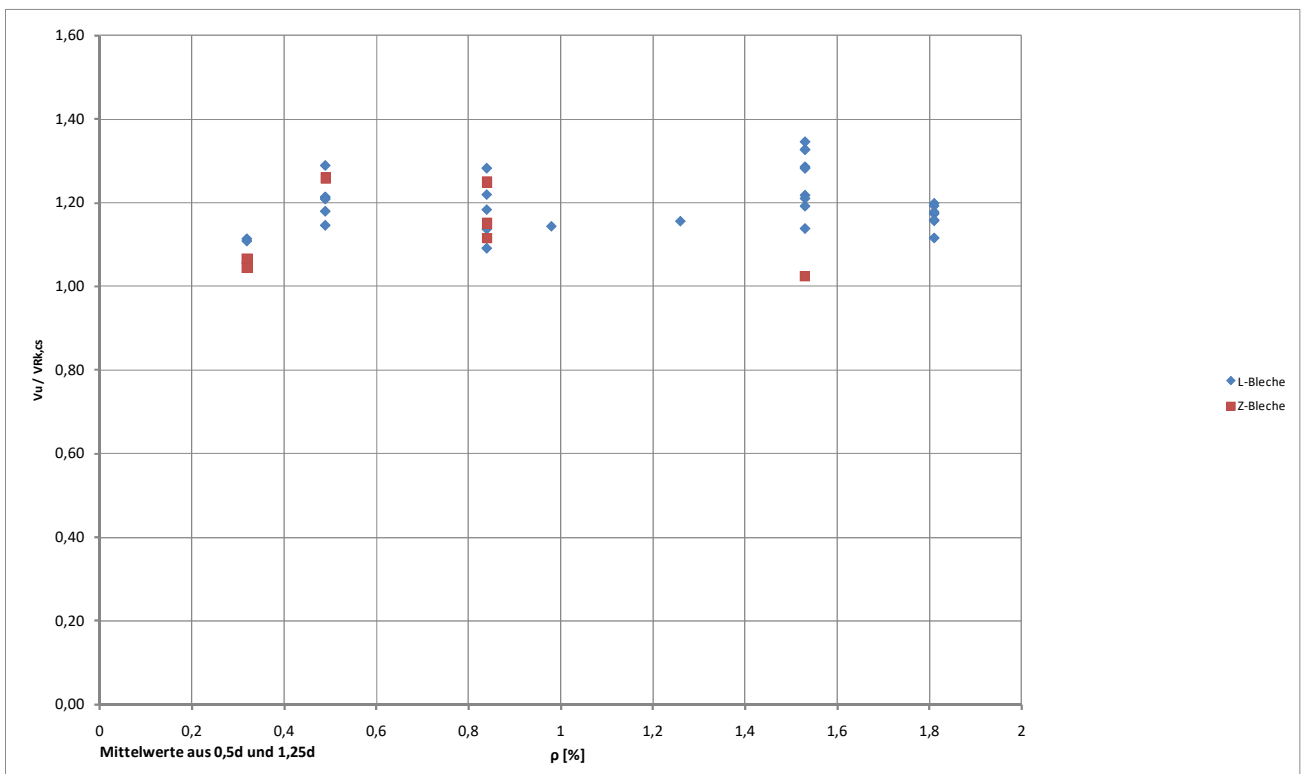


Bild 15 Tragfähigkeit in Abhängigkeit vom Bewehrungsgehalt zur Überprüfung der Bemessungsgleichungen

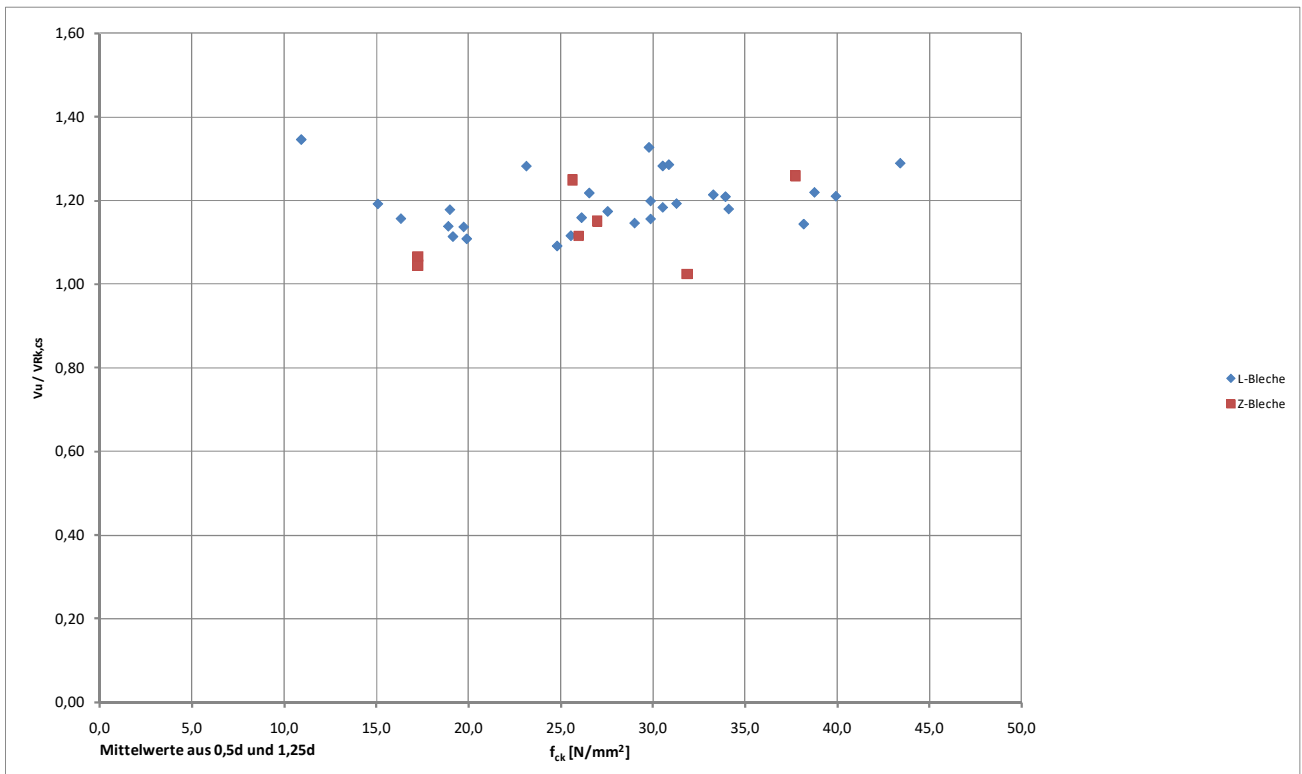


Bild 16 Tragfähigkeit in Abhängigkeit von der Betonfestigkeit zur Überprüfung der Bemessungsgleichungen

5. Verbundfuge - Auswertung

Versuchskörper	Mittlere Würfeldruckfestigkeit $f_{cm,cube}$	Mittlere Zylinderdruckfestigkeit $f_{cm} = 0,83 f_{cm,cube}$	charakteristische Zylinderdruckfestigkeit $f_{td} = f_{cm} \cdot 4$	charakteristische Zylinderzugfestigkeit f_{td}	5%-Quantil der ch. Zylinderzugfestigkeit $f_{td,0.05}$	Stützen-Durchmesser	Statistische Nutzhöhe d	Längsbewehrung	Blehdicke / Bewehrungs-durchmesser	Blehdicke	Bügelanzahl je L-Blech	Streckgrenze Bügel $f_{yk,Bügel}$	Streckgrenze Blech $f_{yk,Blech}$	A_s -Bügel	Anzahl der Bleche 0,5d	Anzahl der Bleche 1,25d	Anzahl der Bleche 2,0d	minimale Blechbreite	Blechquerschnitt	Bruchlast V_u	Rundschnitt $u(2,0d)$	Beiwert c_j	Beiwert μ	Beiwert v	Innere Hebelarm z	Betraganteil $V_{Rst,c}$	Maximaltragfähigkeit V_{Rmax}	Einwirkung $V_{Ed,ur}$	erf. $A_{s,Blech}$	erf. η_{Bleche}	Bemessung erf. $A_{s,Blech}$	Bemessung erf. η_{Blech}	vorhandene Bleche
	[MN/m ²]	[MN/m ²]	[MN/m ²]	[MN/m ²]	[MN/m ²]	[mm]	[mm]	[%]	[mm]	[mm]	[-]	[MN/m ²]	[MN/m ²]	[cm ²]	n	n	n	[mm]	[cm ²]	[kN]	[m]	[-]	[-]	[-]	[mm]	[MN/m ²]	[MN/m ²]	[MN/m ²]	[cm ²]	[-]	[cm ²]	[-]	[-]
FE	51,5	42,7	38,7	3,44	2,40	300	210	0,84	L5/12	5	2	530	336	0,283	24	24	28	39	1,95	2010	3,58	0,4	0,7	0,5	170	0,962	9,69	3,301	130	66	136	70	76
GE	31,3	26,0	22,0	2,35	1,65	300	210	0,84	L5/12	5	2	530	336	0,283	24	24	28	39	1,95	1581	3,58	0,4	0,7	0,5	170	0,659	5,49	2,597	107	55	123	63	76
DQ	34,7	28,8	24,8	2,55	1,79	300	205	1,53	L5/12	5	1	530	336	0,283	20	22	12	32	1,60	1422	3,52	0,4	0,7	0,5	165	0,714	6,20	2,449	77	48	81	50	54
EE	40,7	33,8	29,8	2,88	2,02	300	205	1,53	L5/12	5	1	530	336	0,283	28	24	16	39	1,95	1819	3,52	0,4	0,7	0,5	165	0,807	7,45	3,133	103	53	108	55	68
DU	35,0	29,1	25,1	2,57	1,80	300	205	1,53	L3/12	3	1	530	336	0,283	12	22	20	32	0,96	1347	3,52	0,4	0,7	0,5	165	0,719	6,26	2,320	50	52	54	54	54
DU-F	35,0	29,1	25,1	2,57	1,80	300	205	1,53	L3/12	3	1	530	336	0,283	12	22	20	32	0,96	1383	3,52	0,4	0,7	0,5	165	0,719	6,26	2,382	52	54	54	56	54
DU-B	35,1	29,1	25,1	2,57	1,80	300	205	1,53	Z3/12	3	-	-	336	-	20	22	12	36	1,08	1475	3,52	0,4	0,7	0,5	165	0,721	6,28	2,541	56	52	59	55	54

Tabelle 8 Zusammenstellung der Versuchskörper zur Schubkraftübertragung in den Fugen

6. Versuchskörper

Die Daten zu den Versuchskörpern können den folgenden Forschungsberichten des Fachgebietes Massivbau der THM -Gießen entnommen werden:

Bericht 30 A Körper A und B

Körper der B, C und D - Reihe

Bericht 30 B Körper der E, F und G - Reihe

Bericht 30 C Körper der I - Reihe (IF bis IR)

Bericht 30 E Körper IS

Körper der J und K - Reihe

Bericht 30 F Körper der L - Reihe

Bericht 30 G Körper der M - Reihe

Die Versuche Aa18er und Aa40er sind in dem Bericht 157/2006 des IMB der RWTH -Aachen beschrieben.

Querkrafttragfähigkeit der Bleche

Entwurf und Bemessung

Die L- und Z-Bleche können entsprechend Eurocode2 als Querkraftbewehrung verwendet werden.

Die Bewehrungselemente (L-Bleche mit Bügeln oder Z-Bleche) müssen so angeordnet werden, dass diese die Längszugbewehrung und die Druckzone umfassen. Dies gilt als erfüllt, wenn die Elemente der Querkraftbewehrung über die ganze Querschnittshöhe reichen.

Bei einer Verankerung der Bügel in der Zugzone von Balken sind die geschlossenen Bügel zu verwenden.

Die Querkrafttragfähigkeit ergibt sich bei den L-Blechen aus der Bügelquerschnittsfläche mit $f_{yk}=500 \text{ N/mm}^2$ und bei den Z-Blechen aus der kleinsten Querschnittsfläche mit $f_{yk}=235 \text{ N/mm}^2$.

Eine planmäßige oder unplanmäßige Schiefstellung der Bügel darf bei der Bemessung nicht in Rechnung gestellt werden. Der Winkel der Querkraftbewehrung zur Schwerachse des Bauteils ist mit 90° in Rechnung zu stellen.

Die im Folgenden dargestellten vergleichenden Untersuchungen an Stahlbetonbalken zeigen erwartungsgemäß, dass die Bleche dem Verhalten von Stahlbetonbauteilen mit herkömmlicher Bügelbewehrung entsprechen. Somit können die Vorschriften des EC2 für Querkraft auch für die Bleche angewendet werden.

Experimentelle Untersuchungen

Im Folgenden werden die 17 Körper aus der A- und B-Versuchsreihe in ihren wesentlichen Merkmalen zusammengefasst.

Die A- und B-Versuchsreihen unterscheiden sich in ihren Querschnitten, Abmessungen, Bewehrungen und den Belastungen.

Im Bericht 60 sind die Untersuchungen zur Querkrafttragfähigkeit der L- und Z-Bleche als Einbauteile im Detail beschreiben.

Versuchsreihe A

Querschnitt: rechteckiger Querschnitt

Abmessungen: (b x l x h): 19 x 300 x 32 cm

Belastungsart: Gleichstreckenlast

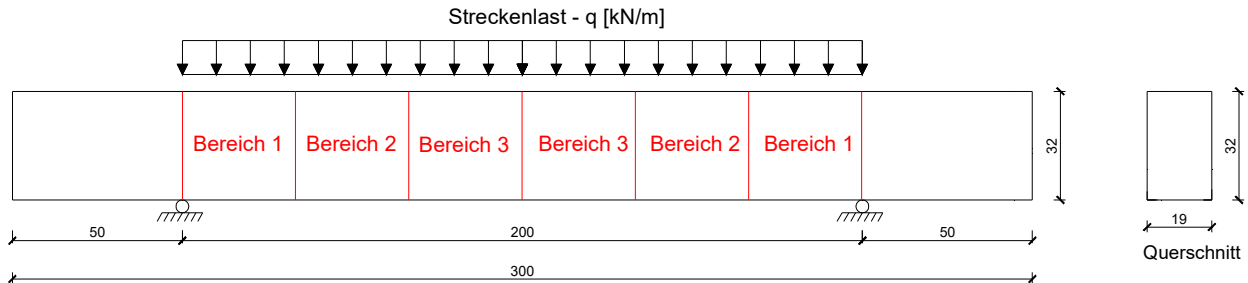


Bild 17 Querschnittsdarstellung der Versuchsreihe A

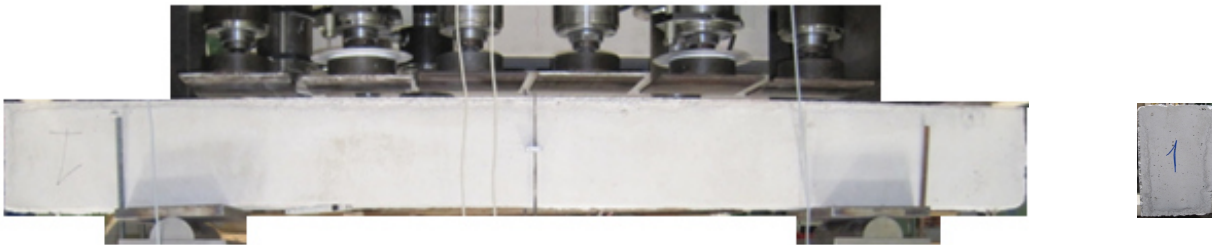


Bild 18 Körper AA1 im Einbauzustand

Körper	Biegezug - bewehrung [cm ²]	Querkraftbewehrung [cm ² /m]			Belastungsart	Querkraftbewehrung
		Bereich 1	Bereich 2	Bereich 3		
AA1	5,8	-	-	-	Streckenlast	-
AA2	5,8	2,3	2,3	2,3	Streckenlast	Bügel ø6mm
AA3	5,8	25,1	17,4	9,4	Streckenlast	Bügel ø6mm
AA4	5,8	25,1	17,4	9,4	Streckenlast	ø12 – HDB-Anker
AA5	5,8	25,1	17,4	9,4	Streckenlast	L – Blech, t=5mm, 2 Bügel
AA6	12,3	11,2	11,2	-	Streckenlast	Bügel ø8mm

Tab. 9 Zusammenfassung der Versuchsreihe A

Versuchsreihe B

Querschnitt: T - Querschnitt

Abmessungen: ($b_1/b_2 \times l \times h$): 57/19 x 280 x 60 cm

Belastungsart: Einzellast

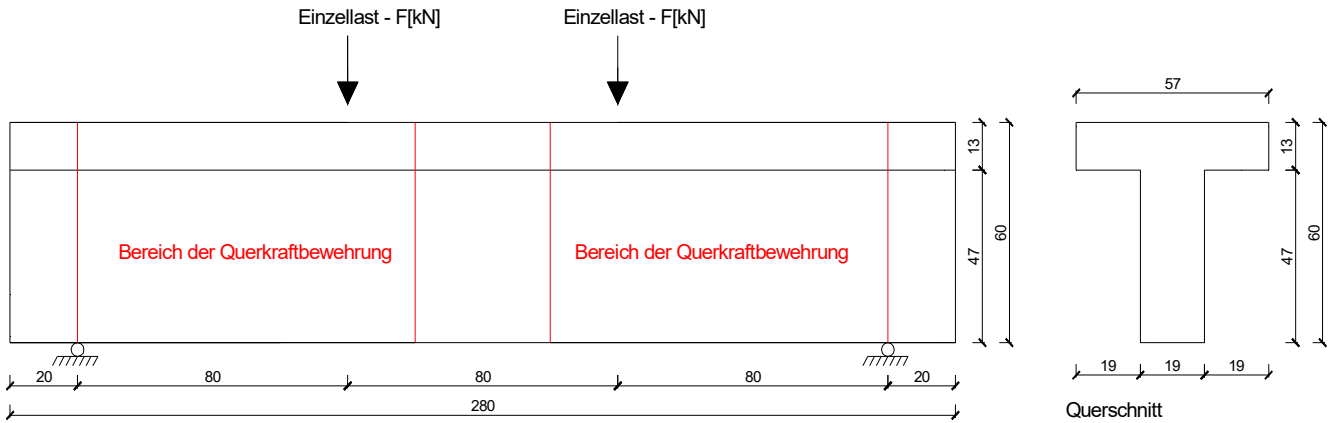


Bild 19 Querschnittsdarstellung der Versuchsreihe B

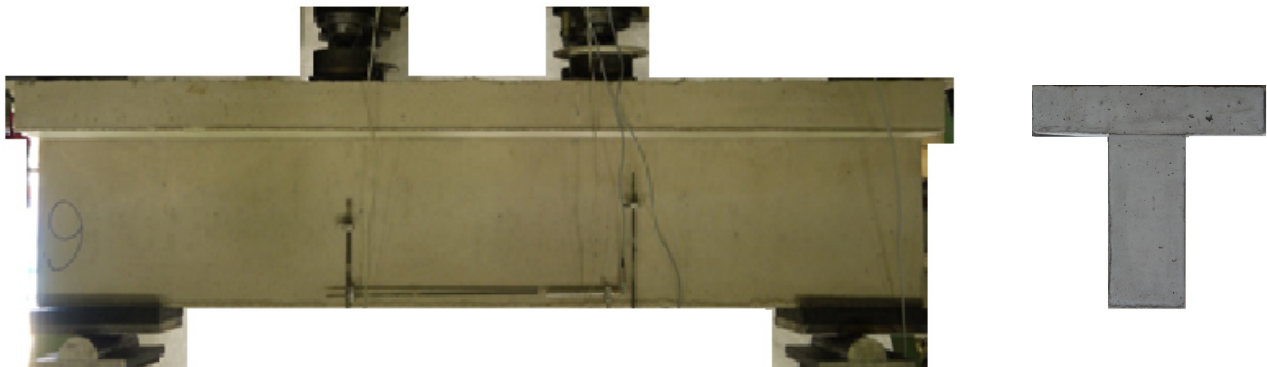


Bild 20 Körper BA6 im Einbauzustand

Körper	Biegezug - bewehrung [cm ²]	Querkraftbewehrung [cm ² /m]	Belastungsart	Querkraftbewehrung
BA1	12,4	12,56	Einzellast	L -Blech, t=5mm, 2 Bügel
BA3	12,4	12,56	Einzellast	L -Blech, t=3mm, 2 Bügel
BA4	12,4	4,07	Einzellast	L -Blech, t=3mm, 1 Bügel
BA5	12,4	12,56	Einzellast	2 Bügel ø6mm
BA6	12,4	4,07	Einzellast	1 Bügel ø6mm
BB1	12,4	12,56	Einzellast	L -Blech, t=5mm, 2 Bügel
BB2	12,4	19,44	Einzellast	Z -Blech, t=5mm
BB3	12,4	8,07	Einzellast	L -Blech, t=5mm, 2 Bügel
BB4	12,4	12,5	Einzellast	Z -Blech, t=5mm
BB5	12,4	4,07	Einzellast	L -Blech, t=5mm, 1 Bügel
BB6	12,4	4,07	Einzellast	1 Bügel ø6mm

Tab. 10 Zusammenfassung der Versuchsreihe B

Dauerschwingfestigkeit der L-Bleche

Allgemeines

Die ersten experimentellen Untersuchungen wurden 2008 in Gießen durchgeführt und im Forschungsbericht 30 D zusammengestellt. Weiterhin wurden 2 Vergleichsuntersuchungen in Aachen (RWTH - IMB Versuchsbericht 224/2008) durchgeführt.

In Ergänzung zu den vorhandenen Versuchen wurden 2011 in Gießen (FB 30 I) weitere Prüfkörper in Hinblick auf die Ermüdungsfestigkeit untersucht.

Aus allen Untersuchungen konnten die, im Folgenden beschriebenen, charakteristischen Werte ermittelt werden.

Zusammenstellung und Auswertung der experimentellen Untersuchungen

Körper	Beton $f_{c,cube}$ [N/mm ²]	Blech f_{yk} / f_{uk} [N/mm ²]	F_{oben} [KN]	$\sigma_{oben, B\ddot{u}gel} =$ $F_{oben} / A_{s, B\ddot{u}gel}$ [N/mm ²]	F_{unten} [KN]	$\Delta F =$ ($F_{oben} - F_{unten}$) [KN]	$\Delta \sigma_{Rs, B\ddot{u}gel} =$ $\Delta F / A_{s, B\ddot{u}gel}$ [N/mm ²]	Anzahl der Lastwechsel	$\Delta \sigma_{Rsk}$ [N/mm ²]	$\Delta \sigma_{Rs, B\ddot{u}gel} /$ $\Delta \sigma_{Rsk}$	
L 4 -2011	35	292 / 393	25	221	15	10	88	8.000.000			
Aa1-2008	31	275 / 432	27,1	240	13,5	13,6	120	2.000.000			
Aa2-2008	31	275 / 432	27,1	240	13,5	13,6	120	2.000.000			
L 9 -2008	32	270 / 419	27	239	13	14	124	5.000.000			
L10-2008	37	270 / 419	27	239	7	20	177	2.500.000			
L 5 -2008	31	270 / 419	29	257	22	7	62	5.000.000			
L 6 -2008	34	270 / 419	29	257	22	7	62	5.000.000			
L 7 -2008	18	270 / 419	29	257	20	9	80	5.000.000			
L12-2011	31	292 / 393	31	274	23	8	71	12.000.000	59	1,20	
L 8 -2008	20	270 / 419	31	274	20	11	97	5.000.000	84	1,16	
L 3 -2011	34	292 / 393	30	265	10	20	177	1.753.466	128	1,38	
L 6 -2011	35	292 / 393	31	274	9	22	195	1.322.349	143	1,36	
L 1 -2011	33	292 / 393	32	283	8	24	212	475.868	176	1,20	
L 2 -2011	34	292 / 393	32	283	8	24	212	414.800	180	1,18	
L 5 -2011	35	292 / 393	31	274	3	28	248	353.916	184	1,35	
L 9 -2011	34	198 / 295	31	274	15	16	142	2.246.352	116	1,22	
L10-2011	27	198 / 295	31	274	12	19	168	1.482.897	137	1,23	
L 7 -2011	32	198 / 295	31	274	12	19	168	922.264	162	1,04	
L11-2011	28	198 / 295	31	274	5	26	230	163.532	203	1,13	
L 8 -2011	33	198 / 295	31	274	5	26	230	162.635	204	1,13	
									Anzahl	12	
Anmerkung:	Versuche wurden bei der angegebenen Anzahl der Lastwechsel ohne Versagen beendet									Mittelwert	1,22
									Standardabw.	0,10	
									k-Wert	1,89	
									5%-Quantilwert	1,02	

Tab. 11 Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Ermüdungs- Untersuchungen

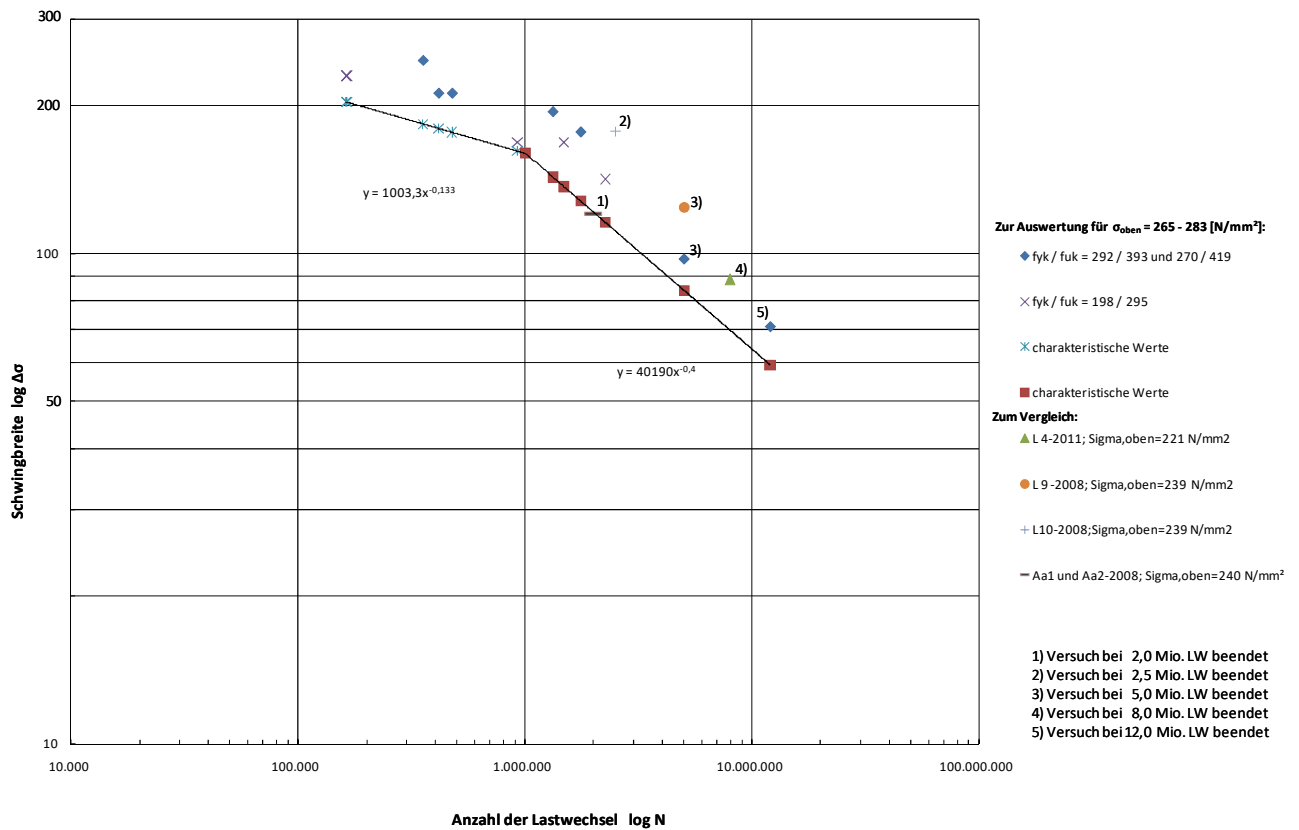


Bild 21 Darstellung der Wöhlerlinie

Nachweis gegen Ermüdung

Für die Schädigung infolge von Spannungswechseln können die folgenden charakteristische Werte der Wöhlerlinie für den einbetonierten Zustand angenommen werden:

$$\Delta\sigma = 160 \text{ [N / mm}^2\text{]} \text{ für } N = 10^6$$

$$\Delta\sigma^m \cdot N = \text{const.}$$

$$\text{mit } m = 7,5 \text{ für } N \leq 10^6$$

$$\text{und } m = 2,5 \text{ für } N \geq 10^6$$

$$\text{Anzahl der Lastwechsel } \leq 1,2 \cdot 10^7$$

$$\text{Bügelspannung: } \sigma_{oben} \leq 265 \text{ N/mm}^2$$