

GRAVIS Wissenswelt Beitrag

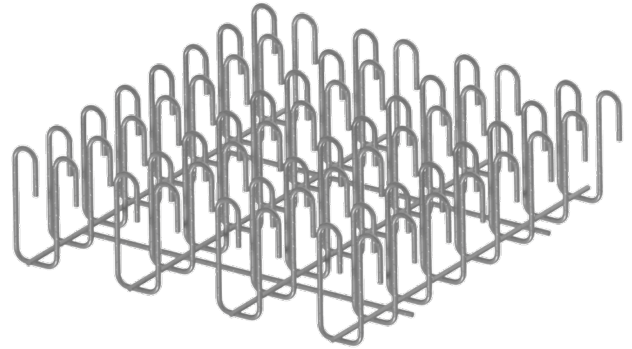
Weshalb gibt es den GRAVIDUR PAN bei GRAVIS?

von Prof. Dr. Albin Kenel
& Dr. Stefan Lips

Die Philosophie eines Unternehmens spiegelt sich auch in seinen Produkten wider. Auch hier geht es in erster Linie darum, die eigenen Produkte zu verstehen, nicht nur in Bezug auf Herstellung und Anwendung, sondern auch in Bezug auf die Produktphilosophie. Die physikalischen Eigenschaften eines Produktes sind reproduzierbar. Die Produktphilosophie und das dafür notwendige Fachwissen hingegen sind nicht einfach kopierbar, sondern werden von den Menschen getragen, die hinter einem Produkt stehen. Dies zeigt sich auch bei den Bügelkörben, die vor ca. 40 Jahren von Prof. Oelhafen (Bild 1a) entwickelt wurden und heute in ähnlicher Form bei GRAVIS unter dem Namen GRAVIDUR PAN Anwendung finden.

Bei den Bügelkörben wird deutlich, dass das Streben nach möglichst hoher Tragfähigkeit nicht immer zum besten Bauprodukt führt. Bei Bauprodukten spielen auch andere Aspekte wie das Tragverhalten, die Anwendbarkeit auf der Baustelle und die Robustheit gegenüber Einbautoleranzen eine Rolle. Dies waren auch die wesentlichen Kriterien bei der Entwicklung der Bügelkörbe durch Prof. Oelhafen oder auch bei späteren ähnlichen Entwicklungen in England ([1], Bild 1b). Der Vorteil gegenüber Einzelbügeln oder Leisten mit Doppelkopffankern war damals wie heute die grosse Einbautoleranz. Wobei anzumerken ist, dass die geringen Verlegetoleranzen bei Doppelkopffankern eher daher rühren, dass man mit der Tragfähigkeit an die Grenze gehen will und deshalb Einschränkungen in der Anordnung in Kauf nimmt.

a)



b)

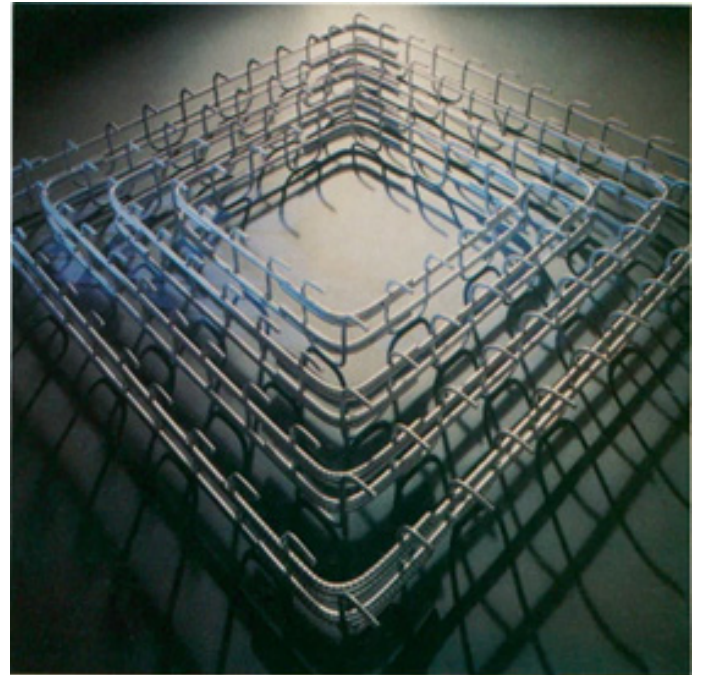


Bild 1: a) GRAVIDUR PAN und b) "Shearhoop" System von der British Cement Association [1].

Wenn von höheren Tragwiderständen bei Doppelkopffankern im Vergleich zu Bügelkörben gesprochen wird, so ist damit der Widerstand der Betondruckdiagonale am Stützenrand gemeint. Da dieser Widerstand unabhängig von der Anzahl der Durchstanzbewehrungselemente ist, wird er in der Literatur teilweise auch als maximaler Durchstanzwiderstand bezeichnet. Dieser Nachweis wird mit Gleichung 70 der Norm SIA 262:2025 [2] geführt (Gl. 1).

$$V_{Rd,c} = 2.0 \cdot k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d_v \cdot u$$

(1)

Der Faktor 2.0 wird in der Literatur auch als Systembeiwert bezeichnet. Dieser Kennwert wird empirisch ermittelt. Dabei hat die Qualität der Verankerung bzw. Krafteinleitung auf der Biegezugseite der Platte einen entscheidenden Einfluss auf diesen Parameter. In dieser Hinsicht sind die gestauchten Köpfe der Doppelkopfkanker besser als die gebogene Verankerung mit Bügel.

Die Qualität der Verankerung ist jedoch nicht der einzige Einflussfaktor. Ein weiterer wichtiger Parameter für die Höhe des Systembeiwertes ist die Lage der einzelnen Anker bzw. Bügel. Dies wird auch bei der Betrachtung von Versuchen in der Literatur deutlich. Während Doppelkopfkanker in den Versuchen relativ regelmässig entweder radial oder orthogonal angeordnet wurden, gibt es bei Versuchen mit Bügeln in der Literatur eine grosse Variation an Anordnungen. Es gibt nur wenige direkt vergleichbare Versuche zwischen Bügel und Doppelkopfkanker, bei denen auch die Betondruckstrebe massgebend war.

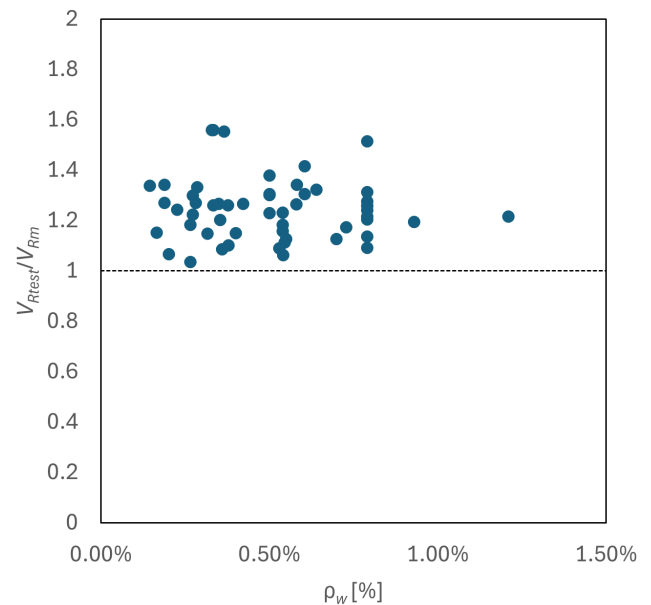
Die grosse Variationsbreite der Anordnungen bei den Versuchen mit Bügeln hat aber auch den Vorteil, dass der daraus abgeleitete Systembeiwert eine grössere Einbautoleranz zulässt. Bild 2 zeigt eine Auswertung von 53 Durchstanzversuchen an Platten mit Bügeln als Durchstanzbewehrung aus der Literatur [3-16]. Für den Vergleich mit dem gemessenen Tragwiderstand wurde der Durchstanzwiderstand mit den Gleichungen nach SIA 262:2025 mit einem Systembeiwert von $k_{sys} = 2.5$ ermittelt. Für die Materialkennwerte des Betons und des Betonstahls wurden die im Versuch ermittelten Werte (Mittelwertniveau) und die daraus abgeleiteten Bemessungswerte verwendet. Der Schubwiderstand wurde gemäss den Gleichungen 2 und 3 ermittelt.

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

$$\tau_{cd} = 0.3 \cdot \frac{\sqrt{f_{cm}} - 4N/mm^2}{1.5} \quad (3)$$

Bild 2 zeigt das Verhältnis der in den Versuchen erhaltenen Widerstände und den berechneten Werten. In Bild 2a sind die berechneten Werten auf Mittelwertniveau bestimmt. Es zeigt sich, dass trotz des erhöhten Systembeiwertes die berechneten Ergebnisse auf der sicheren Seite liegen (> 1.0).

a)



b)

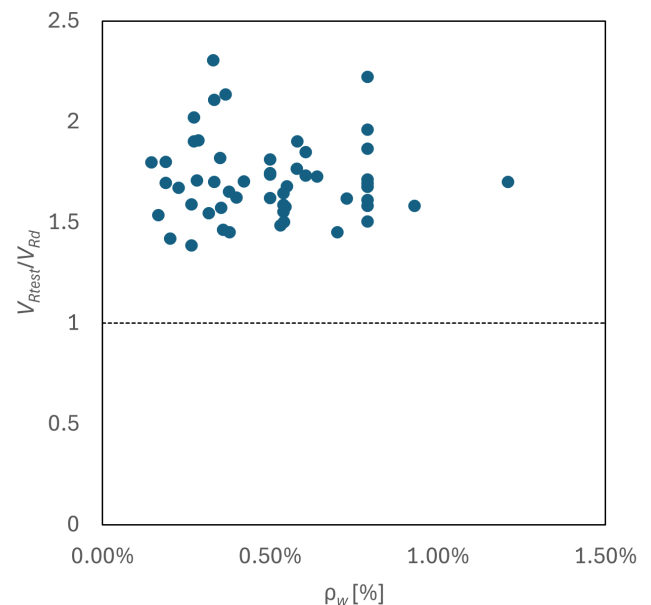


Bild 2: Verhältnis der gemessenen zur berechneten Durchstanzwiderstandes von Versuchen aus der Literatur [3-16]; dargestellt in Abhängigkeit des Durchstanzbewehrungsgehalts: a) auf Mittelwertniveau und b) Bemessungsniveau.

In Bild 2b sind die berechneten Werte auf Bemessungsniveau ermittelt. Auch hier ist ein ausreichendes Sicherheitsniveau ersichtlich.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die statistische Auswertung. Die Auswertung der 53 Versuche [3-16] ergibt auf Mittelwertniveau einen Mittelwert von 1.24. Bei einem Variationskoeffizienten von 9.9% ergibt sich ein 5%-Fraktilewert von 1.04. Auf Bemessungsniveau wird ein Mittelwert von 1.71 und einen Mindestwert von 1.39 erreicht. Es zeigt sich somit, dass trotz des erhöhten Systembeiwertes ein ausreichendes Sicherheitsniveau erreicht werden kann.

Tabelle 1 Statistische Auswertung (alle Nachweise)

	m-Niveau	d-Niveau
#	53	53
Mittelwert	1.24	1.71
COV	9.9%	11.6%
5%-Fraktile	1.04	1.38
Min	1.04	1.39
Max	1.56	2.31

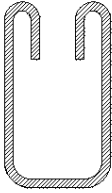
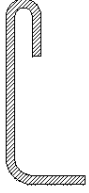
Die Tabelle 1 beinhaltet alle Versuchsergebnisse unter Berücksichtigung der drei Durchstanznachweise Betondruckdiagonale, Versagen innerhalb des durchstanzbewehrten Bereichs und Versagen ausserhalb des durchstanzbewehrten Bereichs. Werden nur die Versuche ausgewertet, bei denen der Nachweis der Betondruckdiagonale für die Bemessung massgebend ist, so ergibt sich für die 10 zu berücksichtigenden Versuchen auf Mittelwertniveau ein Mittelwert von 1.18. Da auch der Variationskoeffizient auf 5.4% sinkt, steigt der 5%-Fraktilewert auf 1.07. Auf Bemessungsniveau liegt der Mittelwert bei 1.61 und der Mindestwert bei 1.49. Damit ist auch nachgewiesen, dass bei ausschliesslicher Berücksichtigung der Betondruckdiagonalen ein ausreichendes Sicherheitsniveau erreicht wird.

Tabelle 2 Statistische Auswertung für Betondruckdiagonale

	m-Niveau	d-Niveau
#	10	8
Mittelwert	1.18	1.61
COV	5.4%	5.2%
5%-Fraktile	1.07	1.47
Min	1.09	1.49
Max	1.28	1.70

Wie bereits erwähnt, umfasst diese Auswertung sehr unterschiedliche Durchstanzbügel. Wählt man die Versuche mit Bügelformen ähnlich denen von GRAVIDUR PAN aus, die zudem ein Versagen der Betondruckdiagonale zeigten, so erkennt man, dass diese Ergebnisse gerade im Bereich des Mittelwertes liegen.

Tabelle 3 Kennwerte zu Versuchen mit Bügel ähnlich von GRAVIDUR PAN

EM1 [9]	PB3 [7]
	
$V_{R, test} = 1213 \text{ kN}$	$V_{R, test} = 1697 \text{ kN}$
$V_{Rm, calc} = 997 \text{ kN}$	$V_{Rm, calc} = 1367 \text{ kN}$
$V_{Rd, calc} = 713 \text{ kN}$	$V_{Rd, calc} = 1011 \text{ kN}$
$V_{R, test} / V_{Rm, calc} = 1.22$	$V_{R, test} / V_{Rm, calc} = 1.24$
$V_{R, test} / V_{Rd, calc} = 1.70$	$V_{R, test} / V_{Rd, calc} = 1.68$

Bügelkörbe wie der GRAVIDUR PAN erreichen nicht ganz so hohe Systembeiwerte wie Doppelkopfanker. Dennoch ist gegenüber der Norm 262:2025 ein erhöhter Systembeiwert von $k_{sys} = 2.5$ gerechtfertigt, da anhand einer Versuchsauswertung nachgewiesen werden kann, dass ein ausreichendes Sicherheitsniveau erreicht wird. Im Vergleich zu Doppelkopfankern zeichnen sich die Bügelkörbe jedoch durch eine einfache und zuverlässige Baustellenanwendung aus. Deshalb passen sie zur Philosophie von GRAVIS und deshalb gibt es den GRAVIDUR PAN bei GRAVIS.

Literatur

- [1] Chana, P. S., Punching shear in concrete slabs, The Structural Engineer, Vol 69, No 15/6, 1991, pp. 282-285.
- [2] SIA 262:2025, Betonbau, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2025, 116 pp.
- [3] Andersson, J. L., Punching of Concrete Slabs with Shear Reinforcement, Transactions of the Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 1963.
- [4] Beutel, R., Durchstanzen schubbewehrter Flachdecken im Bereich von Innenstützen, Dissertation RWTH Aachen, 2003, 267 pp.
- [5] Chana, P. S., Desai, S. B., Design of shear reinforcement against punching, The Structural Engineering, Vol. 70, 1992, pp. 159-164.
- [6] Chana, P. S., A prefabricated shear reinforcement system for flat slabs, Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings, Vol. 99, 1993, pp. 345-358.
- [7] Einpaul, J., Brantschen F., Fernández Ruiz, M., Muttoni, A., Performance of Punching Shear Reinforcement under Gravity Loading: Influence of Type of Detailing, ACI Structural Journal, V. 113, No. 4, 2016, pp. 827-838.
- [8] Elstner, R. C., Hognestad, E., Shearing Strength of Reinforced Concrete Slabs, ACI Materials Journal, Vol. 53-2, 1956, pp. 29-58.
- [9] Hegger, J., Häusler, F., Ricker, M., Zur maximalen Durchstanztragfähigkeit von Flachdecken, Beton - und Stahlbetonbau, Vol. 102, 2007, pp. 770-777.
- [10] Ladner, M., Untersuchungsbericht Durchstanzversuche an Flachdeckenausschnitten, 1998 38 pp.
- [11] Lips, S., Fernández Ruiz, M., Muttoni, A., Experimental Investigation on Punching Strength and Deformation Capacity of Shear-Reinforced Slabs, ACI Structural Journal, V. 109, No. 6, 2012, pp. 889-900.
- [12] Marti, P., Pralong, J., Thürlimann, B., Schubversuche an Stahlbeton-Platten, Institut für Baustatik und Konstruktion, Nr. 7305-2, 1977, 123 pp.
- [13] Regan, P. E. Samadian, F., Shear Reinforcement against punching in reinforced concrete flat slabs, The Structural Engineer, 2001, pp. 24-31.
- [14] Seible, F., Ghali, A., Dilger, W. H., Preassembled shear reinforcing units for flat plates, ACI Journal, Proceedings 77, No. 1, 1980, pp. 28-35.
- [15] Tolf, P., Plattjocklekens inverkan på betongplattors hållfasthet vid genomstansning. Försök med cikulära plattor, Royal Institute of Technology, Dep. of Structural Mechanics and Engineering, Bulletin 146, 1988, 64 pp.
- [16] Vollum, R. L., Abdel-Fattah, T., Eder, M., Elghazouli, A.Y., Design of ACI-type punching shear reinforcement to Eurocode 2, Magazine of Concrete Research, 62-01, 2010, pp. 3-16.



GRAVIS AG
Birchstrasse 17, 3186 Düringen



+41 26 492 30 10



info@gravis.ch



www.gravis.ch

