

## GRAVIS Wissenswelt Beitrag

Weshalb GRAVIS keine geneigten Doppelkopfanker anbietet

von Dr. Stefan Lips

Geneigte Durchstanzbewehrung gibt es bereits seit den 1960iger Jahren. Damals wurden aufgebogene Bewehrungsstäbe als Durchstanzbewehrung verwendet. Später wurden auch geneigte Doppelkopfanker untersucht. Diese haben den Vorteil, dass sie bei direkt vergleichbaren Durchstanzversuchen einen höheren Tragwiderstand erreichten als vertikal eingebaute Doppelkopfanker. Weshalb dies so ist, lässt sich anhand des Tragmodells erklären. Dabei wird auch ersichtlich, wo die Nachteile dieses Systems liegen.

Im Gegensatz zu vertikal eingebauten Doppelkopfanker findet die Lastabgabe der an der Stütze nächstgelegenen Anker direkt über der Stütze statt, da der Ankerkopf auf der Biegezugseite zumindest theoretisch über dem Auflager liegt. Ein weiterer Aspekt betrifft die Steifigkeit der Stahlbetonplatte. So zeigt ein Vergleich zweier nahezu identischen Plattenausschnitten aus der Literatur [1], dass der Tragwiderstand beim geneigten System höher ist. Allerdings ist die Bruchrotation dennoch geringer als bei der Platte mit den vertikal eingebauten Doppelkopfankern. Dies zeigt deutlich, dass die Platte mit geneigten Ankern somit ein steiferes Last-Verformungsverhalten aufweist als die Platte mit vertikal eingebauten Doppelkopfankern.

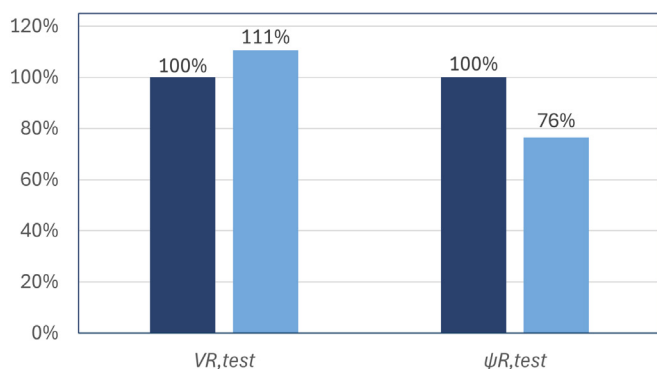


Bild 1: Vergleich der in den Versuchen gemessenen Tragwiderstände und Bruchrotationen gemäss den Resultaten aus [1].

In Bild 1 sind die in [1] veröffentlichten Werte grafisch dargestellt. Es zeigt sich, dass die Platte mit geneigten Anker PA31 gegenüber der Platte mit vertikalen Anker PL7 ein um ca. 11 % höheren Tragwiderstand aufweist. Die gemessenen Bruchrotation ist jedoch bei PA31 um 24% geringer als bei PL7.

Dieser Effekt ist nicht sonderlich überraschend und kann anhand den Modellannahmen in der Arbeit von Lips [2] erklärt werden. Bei einer dreidimensionalen Krafteileitung bei punktuellen Auflagern, wie z.B. Stützen, wird zur Ausbildung der Betondruckdiagonalen bei vertikal eingebauten Doppelkopfankern ein Teil der Biegebewehrung benötigt. Dies ist ähnlich, wenn auch von der Modellbildung her nicht vergleichbar, wie ein Schubversatz bei Stahlbetonbalken. Dies bedeutet, dass der Teil der Biegebewehrung, der für die Ausbildung des horizontalen Gleichgewicht benötigt wird, nicht für den Biegewiderstand bzw. für die Biegesteifigkeit der Platte zur Verfügung steht. Das heisst, dass bei Vernachlässigung dieses Effektes, der plastische Biegewiderstand dieser Platten überschätzt wird. Dieser Sachverhalt wird auch in [2] erläutert. Da die Ausbildung der Betondruckdiagonale bei geneigten Doppelkopfankern anders ist, wird je nach Neigung im kritischen Bereich vor der Stützenkante keine oder nur ein unwesentlicher Anteil der Biegebewehrung zu deren Ausbildung benötigt.

Bild 2 zeigt den Kraftverlauf am Stützenrand für a) vertikale Anker und b) geneigte Anker. Im Fall a) führt die Ausbildung der Betondruckdiagonale im kritischen Bereich zu zusätzlichen Zugkräften, die von der Biegebewehrung aufgenommen werden müssen. Bei einer Verankerung hinter dem Stützenrand sind im kritischen Bereich vor dem Stützenrand keine zusätzlichen Zugkräfte aufzunehmen (Bild 2b).

Dies führt daher zu einem steiferen Verformungsverhalten der Platte. Dies liesse sich aber auch durch einen einfachen Zusatz von Biegebewehrung im unmittelbaren Bereich der Stütze erreichen. Bild 3 zeigt die Nachrechnung mit dem Modell von Lips und die Versuchsergebnisse von PL7 und PA31. Die Nachrechnung im Bild 3a) basiert auf den Versuchen von PL7 (vertikale Anker) mit - in Anlehnung an [2] - und ohne Berücksichtigung des Querkrafteinflusses - gemäss [3] - auf das Biegetragverhalten. Bei Bild 3b) wurde das gleiche Modell mit den Material- und Geometrie Kennwerten

der Platte PA31 verwendet, wiederum mit und ohne Berücksichtigung des Querkrafteinflusses. Es zeigt sich deutlich, dass im Fall der geneigten Anker (PA31) das Versuchsergebnis etwas unterhalb der berechneten Kurve ohne Berücksichtigung der Querkraft liegen. Dies bestätigt die Annahme, dass bei geneigten Ankern im kritischen Bereich vor der Stützenkante kein oder nur ein unwesentlicher Anteil an Biegebewehrung zur Ausbildung der Betondruckdiagonale erforderlich ist.

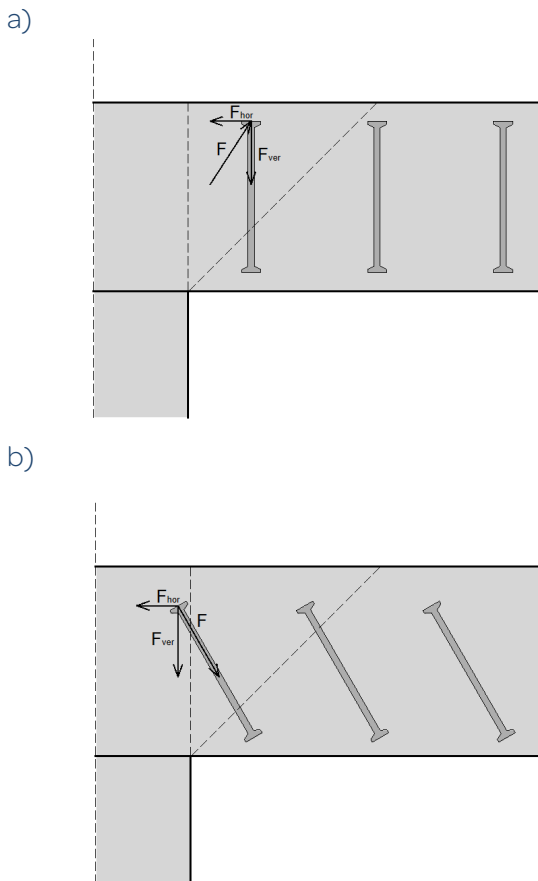


Bild 2: Einfluss der Neigung der Doppelkopfanke auf die Ausbildung der Betondruckdiagonale an der Stützenkante

Des Weiteren ist in den Bildern das Bruchkriterium gemäss [4] mit einem  $\lambda$ -Wert von 4.0 (Gl. 1) - entspricht einem  $k_{sys}$ -Wert für die Bemessung in Anlehnung der SIA 262:2013 [5] von ca. 3.0 (Gl. 2) - dargestellt.

$$V_R = \lambda \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{b_{0,col} \cdot d \cdot \sqrt{f_c}}{1 + 15 \cdot \frac{\psi \cdot d}{d_{g0} + d_g}} \quad (1)$$

$$V_{Rd} = k_{sys} \cdot \frac{u_0 \cdot d_v \cdot \tau_{cd}}{0.45 + 0.18 \cdot \psi \cdot d \cdot k_g} \quad (2)$$

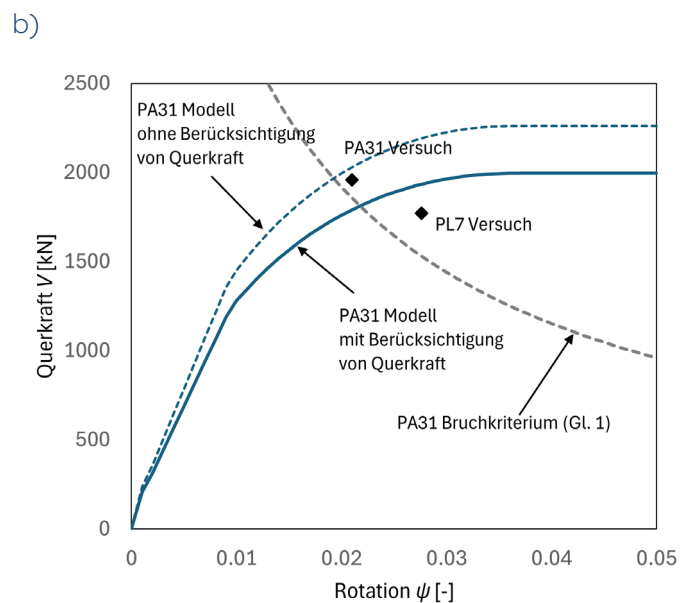
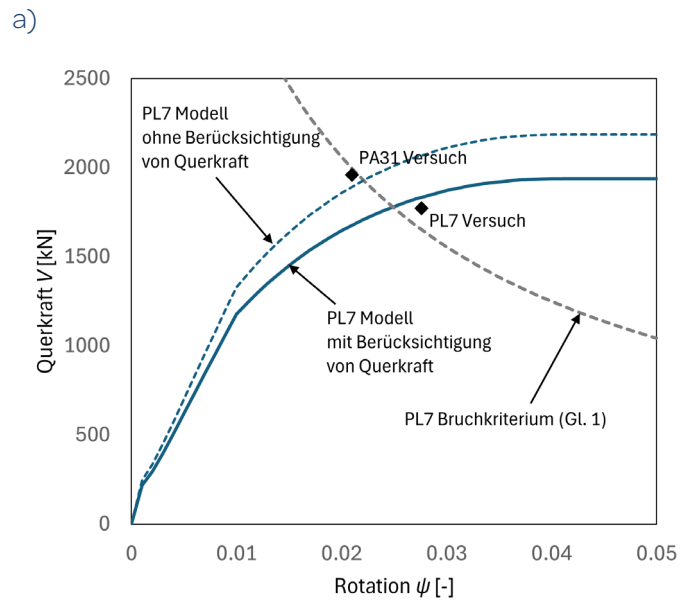


Bild 3: Nachrechnung der Versuche a) PL7 und b) PA31

Auch hier zeigt sich eine gute Übereinstimmung der Versuchsergebnisse mit den Modellannahmen, wobei anzumerken ist, dass bei PA31 ein Bruch ausserhalb der durchstanzbewehrten Zone auftrat. Der Widerstand der Betondruckdiagonale hätte etwas höher sein können. Dennoch zeigt sich, dass der Widerstandsgewinn hauptsächlich auf das steifere Last-Verformungsverhalten und nicht auf eine Erhöhung des Systembeiwerts  $k_{sys}$  zurückzuführen ist. Somit ist ein erhöhter  $k_{sys}$ -Wert einfacher in bei der Bemessung - und auch werbeteknisch besser - aber aus theoretischer Sicht nur bedingt richtig.

(2) Die Herausforderung bei geneigten Doppelkopfanke besteht nun darin, dass das oben beschriebene Verhalten nur dann funktioniert, wenn der biegezugseitige Ankerkopf über der Stütze liegt. Es besteht daher die Gefahr, dass bei zu weit entfernten Ankern, der gewünschte Tragwiderstand nicht erreicht wird. Es besteht aber auch die Gefahr, dass dann aus Vorsicht, die Anker näher an die Stützen gesetzt

werden. Werden die Doppelkopfkanker jedoch zu nahe an die Stütze gesetzt, schneiden sie den kritischen Schubriss zu nahe an der Risswurzel und werden nicht wie gewünscht aktiviert. Es gibt also praktisch keine Toleranz bei der Anordnung und eine korrekte Anwendung auf der Baustelle ist nur sehr schwer zu erreichen. Würde man, wie zuvor beschrieben, einfach zusätzlich einzelne Biegebewehrungsstäbe in der Umgebung der Stütze einbauen (Verteillbreite: Stützenbreite + 2 x statische Höhe, Länge: statische Höhe + Verankerungslänge ab Stützenkante), so könnte nach der zuvor beschriebenen Theorie das gleiche Verhalten erreicht werden. Allerdings mit einer wesentlich grösseren Einbautoleranz. In beiden Fällen, geneigte Doppelkopfkanker oder zusätzliche Biegebewehrung, wird jedoch das Verformungsvermögen reduziert, was sich unter Umständen auf die Robustheit des Gesamttragwerks auswirken kann.

Aus diesen Gründen hat sich GRAVIS entschieden keine Systeme mit geneigten Doppelkopfkankern anzubieten.

## Literatur

- [1] 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
- [2] Lips, S., Punching of Flat Slabs with Large Amounts of Shear Reinforcement, Dissertation No. 5409, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2012, 269 pp.
- [3] Muttoni, A., Punching Shear Strength of Reinforced Concrete Slabs without Transverse Reinforcement, ACI Structural Journal, V. 105, No. 4, 2008, pp. 440-450
- [4] Fernández Ruiz, M., Muttoni, A., Applications of Critical Shear Crack Theory to Punching of Reinforced Concrete Slabs with Transverse Reinforcement, ACI Structural Journal, V. 106, No. 4, 2009, pp. 485-494
- [5] SIA 262:2013, Betonbau, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2013, 102 pp.



GRAVIS AG  
Birchstrasse 17, 3186 Düringen



+41 26 492 30 10



info@gravis.swiss



www.gravis.swiss

