

Durchstanznachweis mit Sektorenmodell nach EN 1992-1-1

Flachdecken – Sonderlasten – Aussparungen – Kopfbolzen

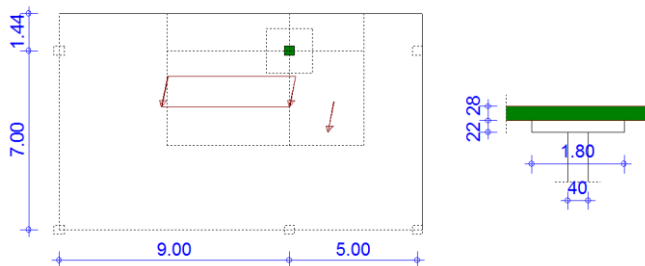
Der Nachweis gegen Durchstanzen nach EN 1992-1-1 6.4 ist erheblich eingeschränkt. Oft stellt sich dabei die Frage nach dem richtigen **Beiwert β** , der Behandlung von **Sonderlasten**, der Berücksichtigung **verschieblicher Systeme** etc.. Darüber hinaus führt die Beschränkung des Durchstandsbereichs auf $u_0=12d$ am Stützenanschnitt nach EN 1991-1-1 NA NCI zu 6.4.1 (2) zu unwirtschaftlichen Lösungen, wenn hier die volle Querkraft am reduzierten Durchstanzumfang angesetzt wird.

In der Praxis stößt der Tragwerksplaner immer wieder an diese Grenzen.

Die einzige allgemeingültige anerkannte Lösung ist das sogenannte **Sektorenmodell**. Das Modell ist u.a. in [1] und [2] beschrieben. Es geht von der Erkenntnis aus, dass die Lasten einer Decke über Lastpfade auf dem kürzesten Weg zur Unterstützung abgeleitet werden. Diese Annahme wurde u.a. in [2] mit Hilfe von FE-Berechnungen nachgewiesen. Durch dieses Verfahren werden automatisch die Durchstanz- und Querkraftbereiche getrennt bestimmt.

Wir haben danach das neue **Programm V.0012** entwickelt. Integriert ist die Bemessung mit Kopfbolzen einschl. einer grafischen Verlegeskizze. Hierbei wird eine **Ersparnis** erreicht, die teilweise **über 30%** gegenüber den Bemessungsprogrammen der Hersteller hinausgeht.

Systeme



Deckensystem mit Lasteinleitungsfläche und Belastung

Es können rechteckige oder runde **Einzelstützen** mit oder ohne Kopfverstärkung (wahlweise eckig oder rund) sowie **Wanddecken** oder **Wandköpfe** nachgewiesen werden. Die angrenzenden Deckenfelder werden mit ihren Stützweiten und entfernten Randbedingungen erfasst.

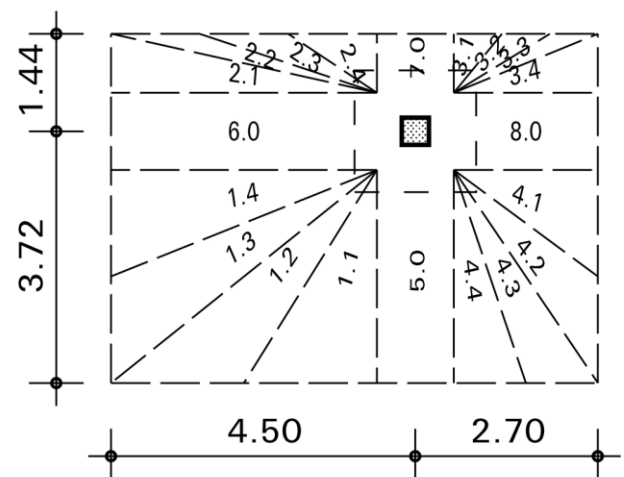
Belastbar sind sie mit Flächen-, Einzel- und Streckenlasten. Flächenlasten können je Deckenquadrant unterschiedlich sein.

Aussparungen und **Sonderlasten** können beliebig angeordnet werden. Zusätzlich ist die Eingabe von evtl. **Normalspannungen aus Vorspannung** möglich. Alle Einwirkungen werden getrennt nach Kategorien gemäß EN 1991-1-1 charakteristisch erfasst. Sämtliche Kombinationen nach EN 1990 werden automatisch berücksichtigt.

Über die umliegenden Deckenabmessungen und ihre Einspanngrade werden die einzelnen Lastezugsquadranten ermittelt. Wahlweise kann für jede Flächenlast die Summe ihres Lastanteils z.B. aus einer FE-Berechnung erfasst werden, um damit eine Gleichgewichtskontrolle mit der Flächenlast und der ermittelten Einzugsfläche zu steuern.

Die Deckenquadranten werden in Sektoren mit einem Öffnungswinkel von $\leq 30^\circ$ eingeteilt. Über ihre Geometrie wird ihr Einwirkungsanteil und der zugehörige kritische Rundschnitt ermittelt. Die Bemessung des höchstbelasteten Sektors wird für den jeweiligen Deckenquadranten übernommen, so dass maximal 8 Bemessungsbereiche (4 Ecken Durchstanznachweis, 4 Seiten Querkraftnachweis) entstehen.

Bei großen Stützen wie z.B. Wandpfeilern bzw. Kopfverstärkungen entstehen dadurch automatisch die mittleren Randbereiche mit ihren Lastanteilen, für die nur ein ebener Querkraftnachweis zu führen ist.

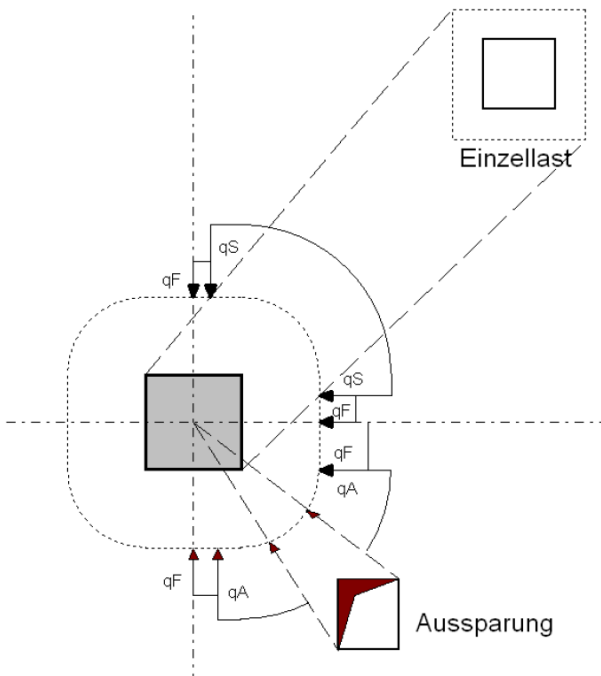


Sektoren nach Durchstanz- und Querkraftbereichen

Sonderlasten strahlen über ihre Aufstandsfläche zur Stütze aus und erzeugen abhängig vom Ausstrahlungswinkel in jedem Schnitt eine andere Beanspruchung.

Streckenlast werden in kleine quadratische Einzellasten aufgeteilt, um exakt ihre evtl. näher als $2.0d$ an der Nachweisstelle stehenden Anteile zu ermitteln. Einzel-

lasten sind deshalb nur mit einem Seitenverhältnis von 1/1.5 ihrer Aufstandsfläche möglich.



Behandlung von Sonderlasten und Aussparungen

Die Aufstandsfläche von Sonderlasten wird allseitig um das Maß $d/2$ der Decke verbreitert und dann eine Ausstrahlung zu den äußeren Eckpunkten der Stütze ermittelt. Die Schnittpunkte dieser Strahlen mit dem betrachteten Rundschnitt ergibt die Verteilungsbreite der Sonderlast. Dieser Sonderlastanteil wird zu dem Flächenlastanteil q_F addiert und ergibt die gesamte Beanspruchung q_S in diesem Bereich.

Diese Betrachtung wird bei der Bemessung und der iterativen Ermittlung von u_{out} in jedem Rundschnitt neu durchgeführt. Ist die Aufstandsfläche der Last kleiner als die Stütze, wächst die Beanspruchung aus der Einzellast mit der Entfernung des betrachteten Rundschnitts an. Umgekehrt nimmt sie ab. Reicht die Ausstrahlung in einen benachbarten Quadranten, dann wird der entsprechende Lastanteil auf diesen übertragen. Dies kann dazu führen, dass die Lastausstrahlung bei näher an der Stütze liegenden Rundschnitt in den Nachbarquadranten ausstrahlt und bei größerem Rundschnittabstand von der Stütze im Quadranten der Sonderlast bleibt.

Bei den Aussparungen wird die Ausstrahlung nach EN 1992-1-1 vorgenommen und der durch die Strahlen eingeschlossene Rundschnittteil

lastlos gesetzt. Dieser Lastanteil wird jeweils an der Aussparung vorbeigeführt und auf die Ausstanzbreite verteilt übertragen. Der Einfluß mehrerer Aussparungen wird unabhängig vom Abstand der Aussparungen bei Überlappung addiert. Liegt neben einer Aussparung nur ein Steg bis zur nächsten Aussparung, dann wird die umzuleitende Last einschl. evtl. Sonderlastanteilen nur über diese Stegbreite zur Stütze geleitet und verursacht eine entsprechend große Beanspruchung.

Diese vorbeschriebene Betrachtungsweise führt dazu, dass das Sektorenmodell im Fall von Aussparungen richtigerweise zu einer wesentlich größeren Beanspruchung des betrachteten Rundschnitts als nach EN 1992-1-1 führt. Die Norm macht hier jedoch den Fehler, die gesamte Last auf den Restumfang des Rundschnitts zu verteilen.

Bemessung

Eine Bemessung nach EN 1992-1-1 ermittelt lediglich die Bewehrung im kritischen Rundschnitt $a=2d$ und legt diese - evtl. mit Korrekturfaktoren k_{sw} versehen - in jedem Schnitt ein. Sie ist daher in den hier behandelten Fälle nicht einsetzbar, da die Beanspruchung der Rundschnitte laufend wechselt und auch außerhalb des kritischen Rundschnitts größer werden kann.

Wir haben deshalb analog zu DIN 1045-1 Bemessungsformeln entwickelt, die eine Bemessung in jedem Schnitt bezogen auf die dort auftretende Beanspruchung ermöglichen. Hierbei wurde der gegenüber DIN 1045-1 geringere Betontraganteil $0.75 v_{Rdc}$ der EN 1992-1-1 berücksichtigt.

Umfangreiche Vergleichsrechnungen mit Mittelstützen, Randstützen und Sonderfälle mit Stützenköpfen haben eine sehr gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen nach EN 1992-1-1 NA ergeben. Mit wachsendem u_0 wurden die Normwerte um bis zu 10% unterschritten.

Diese Unterschreitung erklärt sich aus der Tatsache, dass der Faktor $k_{sw} = 2.5$ für die erste Bewehrungsreihe ein "verschmierter" Wert ist, um im EN 1992-1-1 NA u_0 -Abhängigkeiten zu vermeiden. Das IMB der RWTH Aachen hatte im Hintergrundbericht diesen Wert mit

$$k_{sw} = 4,2 \cdot \left(\frac{d}{u_0}\right)^{0,4} \begin{cases} \geq 1,6 \\ \leq 3,0 \end{cases}$$

vorgeschlagen.

Verglichen mit diesem Wert liegen unsere Bemessungsergebnisse auf der sicheren Seite.

Die Bemessung wird in jedem Quadranten für die dort auftretende größte Beanspruchung durchgeführt.

Jeder Quadrant wird einzeln bemessen und auf die Notwendigkeit einer Durchstanzbewehrung hin untersucht. Der jeweilige Rundschnitt u_{out} , an dem keine

Schubbewehrung mehr erforderlich ist, wird gemäß [3] Beispiel 4 iterativ exakt ermittelt.

Stehen Sonderlasten oder -lastanteile näher als $2d$ zum Stützenrand, wird zusätzlich am Stützenrand ein Druckstrebnachweis nach Schlaich/Schäfer [5] durchgeführt. Hierbei wird wegen des nicht in jedem Fall eindeutig definierbaren Rissbildes grundsätzlich eine Druckspannung von $0.75f_{cd}$ eingehalten.

Konstruktion

Wahlweise kann eine Durchstanzbewehrung ausgeschlossen oder als Bügel bzw. Kopfbolzenleisten definiert werden. Über verschiedene Kriterien ist die Konstruktion wahlweise beeinflussbar..

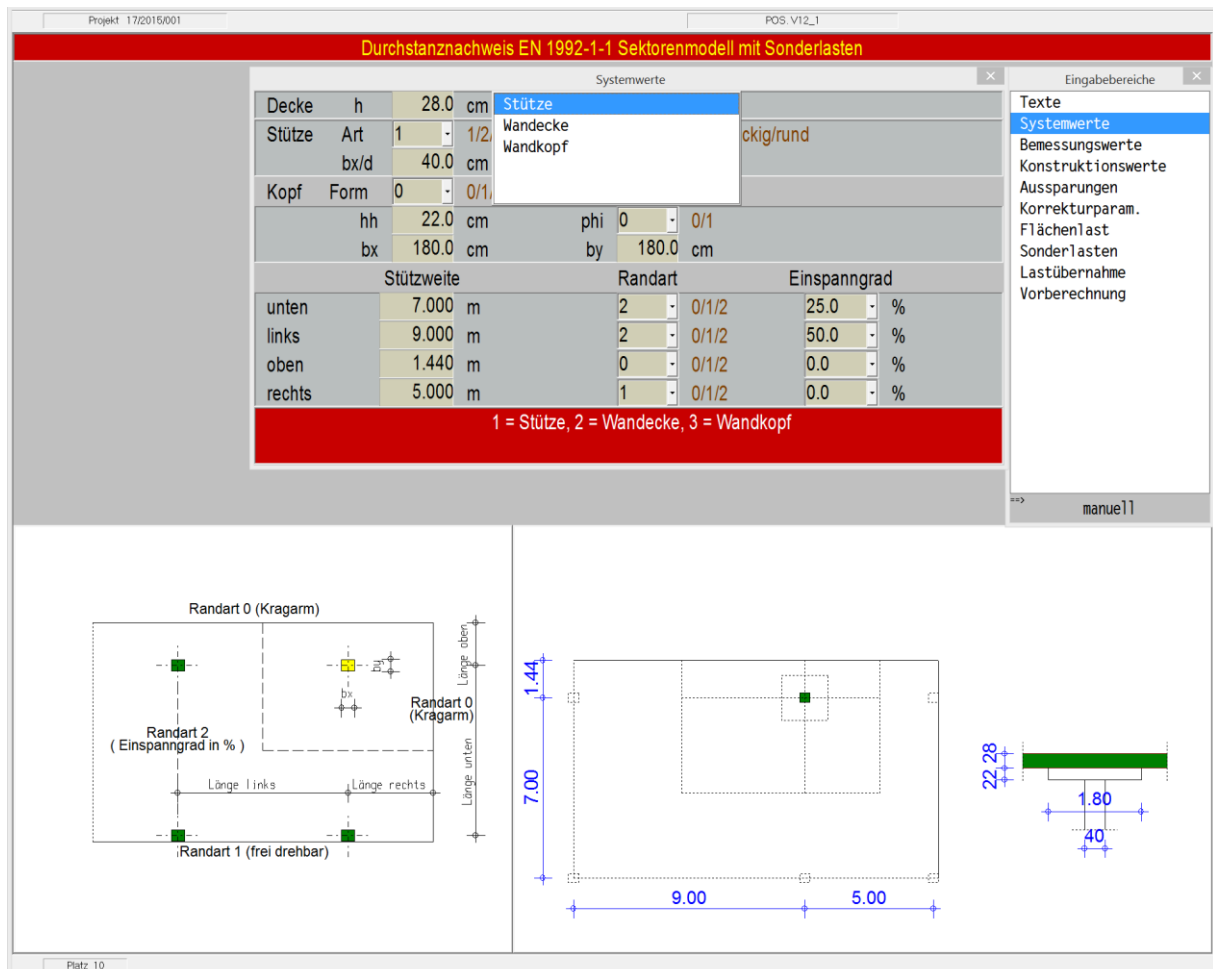
Eine Durchstanzbemessung nach entsprechender Kopfbolzenzulassung scheidet aus, da diese immer von einem rotationssymmetrischen Bewehrungsbild ausgeht. Berechnungen nach dem Sektorenmodell ergeben jedoch i.d.R. unterschiedliche Ergebnisse in den Quadranten.

Kopfbolzen haben zusätzlich eine Zulassung als Querkraftbewehrung. Dadurch ist eine Bemessung nach Norm für normale Bügel möglich, die dann konstruktiv durch Kopfbolzen ersetzt werden. Der entscheidende Vorteil ist, dass bei der Bemessung nach Norm im Gegensatz zur Zulassung 75% des Betontraganteils angesetzt werden dürfen, der zu einer Verringerung von A_{sw} führt.

Zusätzlich sind i.d.R. durch die iterative Ermittlung von a_{out} nur 3 bzw. 4 Bewehrungsreihen erforderlich, die zu kürzeren Längen der Kopfbolzenleisten führen.

Die höhere Druckstrebnspannung $v_{Rdmax} = 1.96 v_{Rdc}$ der Kopfbolzen nach Zulassung wird in [4] mit der wesentlich geringeren Schlupfverformung und besseren Verbundeigenschaften begründet und ist damit nicht von einem Nachweisformat abhängig. Wir sind deshalb der Meinung, dass dieser höhere Wert bei einer Konstruktion mit Kopfbolzen generell angesetzt werden kann. Eine entsprechende Anfrage an Prof. Hegger vom IMB der RWTH Aachen haben wir gestellt.

Systemwerte



Durchstanznachweis EN 1992-1-1 Sektorenmodell mit Sonderlasten

Systemwerte

Decke	h	28.0	cm	Stütze		
Stütze	Art	1	1/2	Wanddecke		
	bx/d	40.0	cm	Wandkopf		ckig/rund
Kopf	Form	0	0/1			
	hh	22.0	cm	phi	0	0/1
	bx	180.0	cm	by	180.0	cm

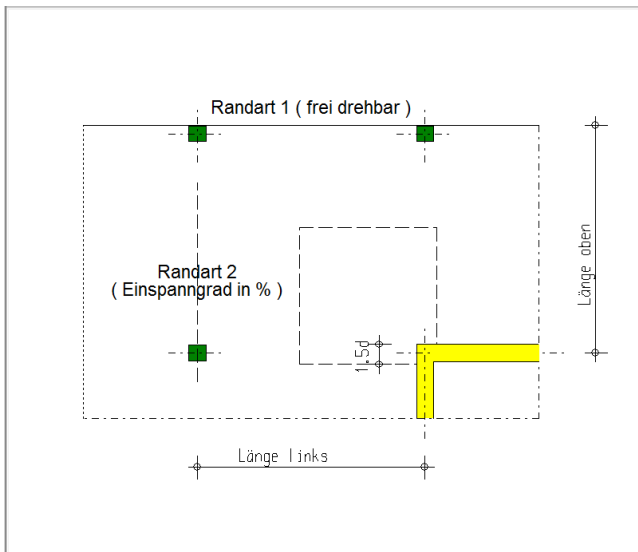
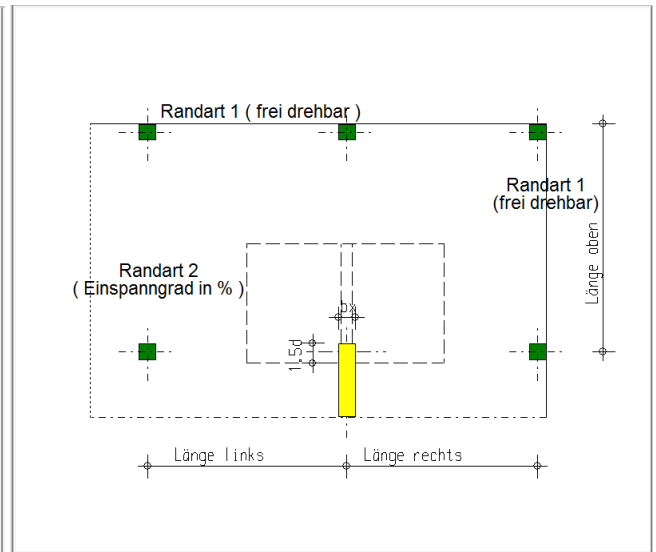
	Stützweite	Randart	Einspanngrad
unten	7.000 m	2	0/1/2 25.0 %
links	9.000 m	2	0/1/2 50.0 %
oben	1.440 m	0	0/1/2 0.0 %
rechts	5.000 m	1	0/1/2 0.0 %

1 = Stütze, 2 = Wanddecke, 3 = Wandkopf

manuell

Platz 10

Geometrieingabe über den Systemwerte - Dialog mit Schaugrafik und grafischer Eingabekontrolle


Schaufrik - Alternativen Wandecke

Wandkopf

In Abhängigkeit von der Unterstützungsart wird die Deckengeometrie erfasst. Hierbei können Deckenteile entfallen. Über die Randdefinition werden Kragplatten, frei drehbar gelagerte oder am entfernten Rand eingespannte Plattenfelder bestimmt. Über diese Deckengeometrie werden die Lastezugsflächen (Querkraftnulllinien) berechnet. Sie dienen außerdem bei Sonderlasten auf der Decke zur Bestimmung des auf den Unterstützungspunkt entfallenden Lastanteils.

Bei Randstützen bzw. Eckstützen sollten immer alle vier Deckenquadranten eingegeben werden, da sonst die Stütze mit dem halben Querschnitt außerhalb der Decke steht.

Konstruktionswerte

Konstruktionswerte					
Biegebewehrung					
Randabstand	d1x	3.0	cm	d1y	5.0
ausßen	asx	15.00	cm ² /m	asy	15.00
innen	asx	15.00	cm ² /m	asy	15.00
Stanzbewehrung		2	0/1/2		
max. Abstand der Nachweisschnitte			sr		0.70
Art der evtl. Durchstanzbewehrung (0 = nein, 1 = Betonstahl, 2 = Kopfbolzen)					

Hier werden die Bewehrungsrandabstände und die vorhandene Biegebewehrung erfasst. Außerdem wird generell festgelegt, ob Durchstanzbewehrung eingelegt werden soll. Diese kann wahlweise aus Bügeln oder Kopfbolzen bestehen.

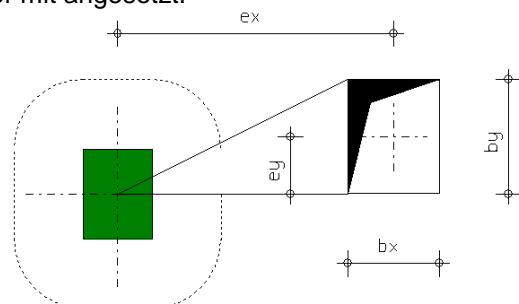
Der max. Bügel- bzw. Bolzenabstand kann frei gewählt werden.

Aussparungen

Aussparungen					
lfd.Nr.	Art	bx cm	by cm	ex m	ey m
1	1	40.0	20.0	1.100	-0.100
1	1	40.0	20.0	1.100	-0.100

1 = eckig, 2 = rund

Aussparungen werden gemäß EN 1992-1-1 behandelt. Wird ein Lastsektor durch eine Aussparung gestört, so wird dessen Lastanteil auf die Nachbarsektoren verteilt. Wird der zugehörige kritische Rundschnitt ganz eliminiert, so wird der Lastanteil bei dem Nachbarsektor mit angesetzt.



Korrekturparameter

Korrekturparam.

Die einzelnen Kriterien können mit 0 oder 1 aus- bzw. eingeschaltet werden.
Die evtl. Korrekturen werden in der gezeigten Reihenfolge durchgeführt.

Biegebewehrung vergrößern max. Bewehrungsgrad	1	0/1 = nein/ja 1.50 %
Sützenkopfdicke vergrößern	0	0/1 = nein/ja
Sützenkopfbreite vergrößern	0	0/1 = nein/ja
Betonfestigkeitsklasse vergrößern	0	0/1 = nein/ja
Deckendicke vergrößern	0	0/1 = nein/ja

Biegebewehrung im Stanzbereich erhöhen

Über die Korrekturparameter kann die Konstruktion beeinflusst werden. Beim Kriterium "Biegebewehrung vergrößern" wird zunächst versucht, bis zu diesem Bewehrungsgrad eine Durchstanzbewehrung zu vermeiden. Wird dies nicht erreicht, werden zusätzlich Bügel bzw. Kopfbolzen eingesetzt. Die Kriterien werden in der im Dialog angezeigten Reihenfolge abgearbeitet

Flächenlasten und Normalspannungen

Flächenlast

Normalspannung Sigcx 0.00 N/mm2 Sigcy 0.00 N/mm2

Nr	Quadrant	Flächenlast q kN/m2	Gesamtlast Vk kN	EWK	Bemerkung
	1/2/3/4/5				
1	5	8.00	0.00	1	
2	5	3.00	0.00	3	
<div style="background-color: red; color: white; padding: 2px; font-weight: bold;"> belasteter Quadrant 1/2/3/4/5 = unten li / oben li / oben re / unten re / alle </div>					

In diesem Dialog werden evtl. Normalspannungen aus Vorspannung und die Flächenlastanteile der Decke eingegeben. Die Deckenquadranten können einheitlich oder individuell belastet werden.

Um auch unregelmäßige Deckensysteme, deren Last-einzugsflächen mit den Eingaben nur grob ermittelt werden können, sinnvoll behandeln zu können, kann für die Decke jeweils zur Gleichgewichtskontrolle die Gesamtlast eingegeben werden. Bei einer Gesamtlast >0 wird die Flächenlast mit dem Wert Gesamtlast/Lasteinzugsfläche korrigiert. Bei Gesamtlast =0 wird sie mit der eingegebenen Flächenlast über die Lasteinzugsfläche ermittelt.

Die Flächenlasten werden charakteristisch mit ihren Einwirkungskategorien erfasst, um sie zusammen mit den Sonderlasten nach EN 1990 kombinieren zu können.

Sonderlasten

Sonderlasten

Nr.	Art	x1 m	y1 m	c m	W °	bx m	by m
1	2	1.500	-2.000			0.300	0.300
2	1	-5.000	-1.000	5.000	0.0		0.240
2	1	-5.000	-1.000	5.000	0.0	0.300	0.240

Lastart
 (1 = Strecken-, 2 = Einzellast)

Einwirkungen Last Nr. 2

Nr.	Fk kN/(m)	EWK	Bemerkung
1	15.00	1	
2	7.50	3	
1	15.00	1	

Als Sonderlasten können Einzel- und Streckenlasten rund um die Unterstützung eingegeben werden. Ihre Lastanteile werden getrennt nach Einwirkungskategorien erfasst, um sie nach EN 1990 kombinieren zu können.

Ihr auf die Unterstützung entfallender Lastanteil wird aus der Deckengeometrie berechnet.

Die Verteilung dieses Lastanteils erfolgt strahlenförmig bis zu den äußeren Ecken der Unterstützung. Eigene Untersuchungen über FE-Berechnungen haben ergeben, dass der Ausstrahlwinkel von Einzellasten bei Wandecken und -köpfen je Seite teilweise über 45° liegt aber immer eine Konzentration auf die Ecken stattfindet. Zum Ausgleich wird deshalb dieser Winkel im Programm auf 30° begrenzt.

Sonderlasten können wahlweise auch per Lastübernahme aus allen anderen Projektpositionen automatisch übernommen werden.

Bügel- und Kopfbolzenkonstruktion

Die Bemessung der Kopfbolzenleisten erfolgt mit der oben beschriebenen Methode. Da sich bei der Berechnung nach dem Sektorenmodell naturgemäß in jedem Quadranten unterschiedliche Beanspruchun-

gen ergeben, sind auch in diesen jeweils unterschiedliche Bemessungsergebnisse zu erwarten.

Dem trägt das Programm dadurch Rechnung, dass an jeder Ecke untersucht wird, ob dort überhaupt Bewehrung erforderlich ist und führt dann eine individuelle Berechnung durch. Sollte in einem Quadranten Durchstanzbewehrung erforderlich sein, so gilt die Empfehlung, in Quadranten ohne erforderliche Bewehrung Mindestbewehrung einzulegen. Diese Entscheidung überlässt das Programm dem Anwender.

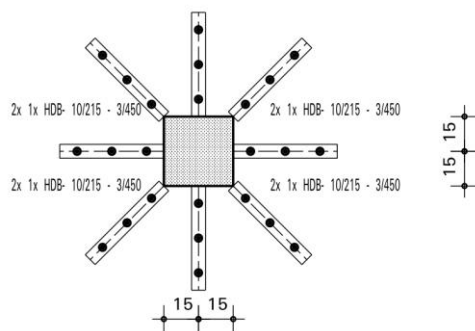
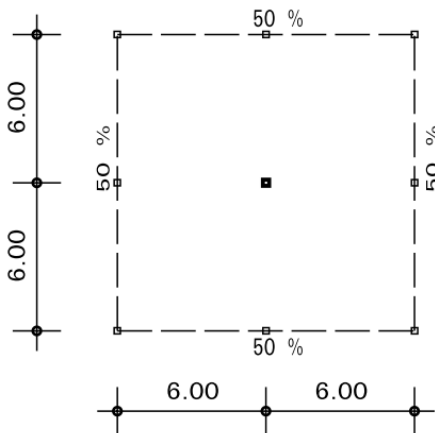
Kopfbolzenabstände werden grundsätzlich über s_w vereinheitlicht und ihre erste Reihe mit einem Abstand von $s_w/2$ vom Stützenrand eingebaut.

Durch die iterative Ermittlung von u_{out} rückt dieser Schnitt wesentlich näher an die Stütze und führt i.d.R. zu einer geringeren Anzahl von Bolzenreihen.

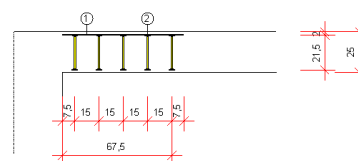
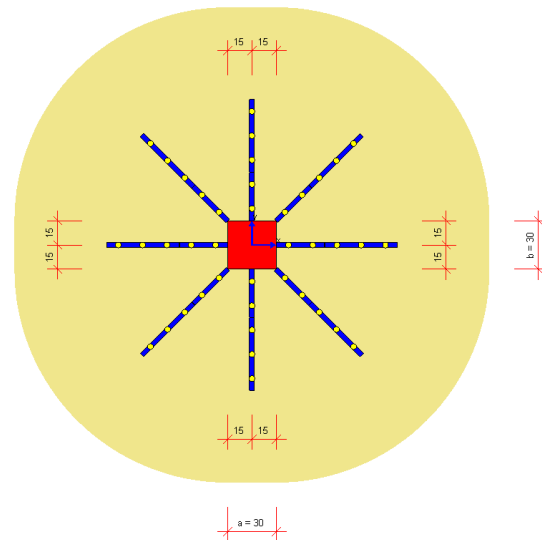
Es werden je nach Erfordernis Leisten mit 2 bzw. 3 Bolzen gewählt. Zur besseren Übersicht werden ihre Durchmesser je Nachweisort vereinheitlicht. Je nach Fall werden gegenüber den Bemessungsprogrammen der Hersteller enorme Bewehrungersparnisse erreicht.

Beispiel 1 : Stützweiten symmetrisch

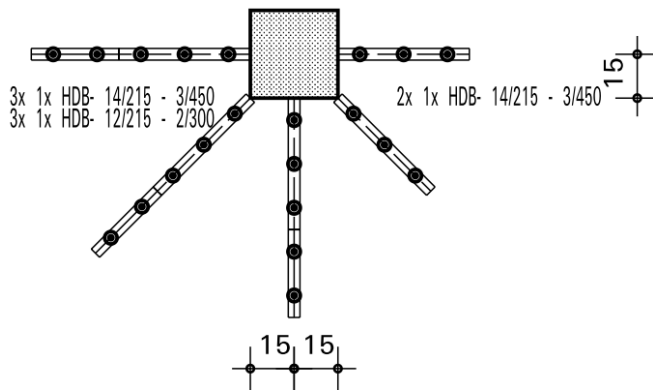
Flachdecke Stützweiten 6.00/6.00 m, Deckenplatte $h = 25$ cm, $d = 22$ cm, Mittelstütze 30/30 cm
 $g = 8.00$ kN/m², $q = 5.00$ kN/m², $VEd = 659$ kN, $\beta = 1.10$, $a_{sx}/a_{sy} = 10$ cm²/m



Ergebnis V.0012



Ergebnis Herstellerprogramm



Ergebnis V.0012

Hier trifft die Konstruktion auf ihre Grenzen und ist mit normalen Bemessungsverfahren nicht mehr nachzuweisen.

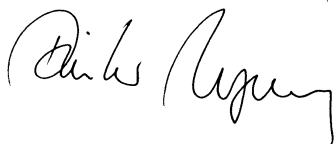
Die Biegebewehrung musste auf $22 \text{ cm}^2/\text{m}$ erhöht werden, um den erforderlichen Durchstanzwiderstand zu erreichen.

In den oberen Quadranten ist keine Durchstanzbewehrung erforderlich.

Die Beispiele zeigen, welche Möglichkeiten unser neues Programm bietet und welche Bewehrungersparnisse mit ihm möglich sind.

- [1] Hegger, J.; Beutel, R.: Hintergründe und Anwendungshinweise zur Durchstanzbemessung nach DIN 1045-1 (Teile 1 und 2) Bauingenieur Band 77, S. 535-549, 2002
- [2] Beutel, R.: Durchstanzen schubbewehrter Flachdecken im Bereich von Innenstützen Dissertation RWTH Aachen 2002
- [3] DBV: Beispiele zur Bemessung nach EUROCODE 2 Band 1
- [4] Hegger, J.; Beutel, R.: Durchstanzen Versuche und Bemessung Der Prüferingenieur 15 (1999)
- [5] Schlaich/Schäfer: Konstruieren im Stahlbetonbau BK 2001 II S. 311 ff

Neureichenau, im Januar 2015



Dipl.-Ing. Dieter Vogelsang