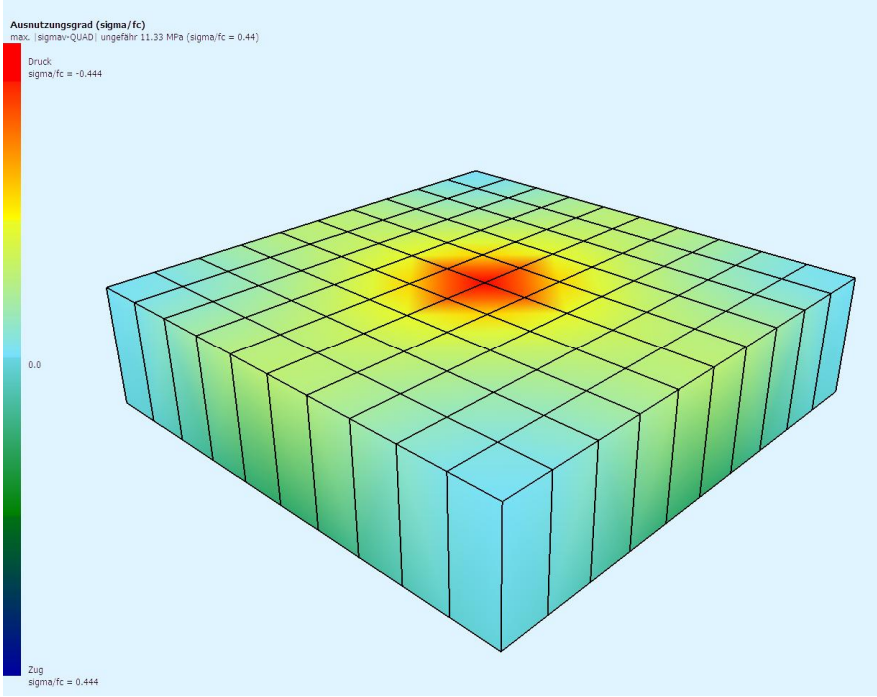
# Normenbeispiel

# Betonfundament

# Durchstanznachweis

# BEMESS DIN EN 1992-1-1




© SOFiSTiK AG 2010

# Inhaltsverzeichnis

1 Einführung ..... 2
2 System + Belastung ..... 2
2.1 Aufgabenstellung ..... 2
3 Nachweis nach DIN EN 1992-1-1 Kapitel 6.4 ..... 3
3.1 Einwirkende Querkraft ..... 3
3.2 Aufnehmbare Querkraft ..... 5
3.3 Iterativer Nachweis ..... 6
4 Datensatz und Ergebnisausgabe ..... 7
4.1 CADINP Eingabe ..... 7
4.2 Ergebnisse Durchstanznachweis mit BEMESS ..... 8
5 Literatur ..... 10

# 1 Einführung

Nachfolgend wird der Durchstanznachweis nach DIN EN 1992-1-1: Eurocode 2 an Hand eines Einzelfundamentes durchgeführt. Das Beispiel ist aus [1] einer Fundament-Berechnung nach DIN1045-1 entnommen und wird im Folgenden nach der Euronorm DIN EN 1992-1-1 berechnet. Die durch das Programm BEMESS berechneten Ergebnisse werden mittels einer Handrechnung überprüft.

# 2 System + Belastung

## 2.1 Aufgabenstellung

Ein mittig belastetes Fundament soll auf Durchstanzen nachgewiesen werden. Die Fundamentabmessungen sind in Abbildung 1 dargestellt.

Beton C30/37

Stahl BST 500

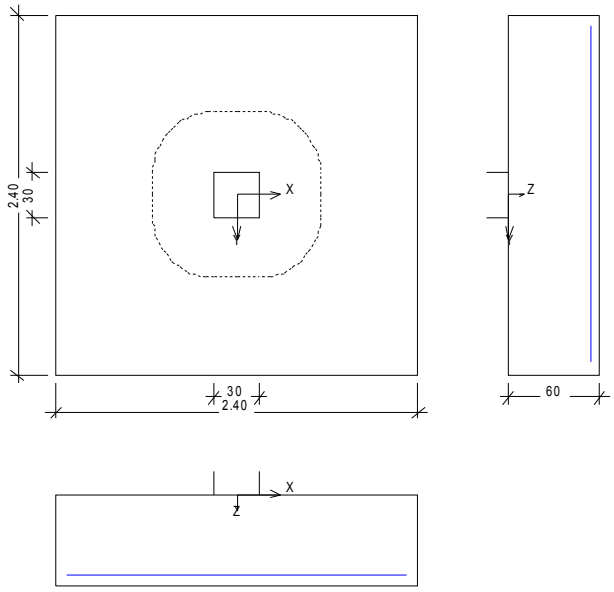



**Abbildung 1: Abmessungen**

Fundamentabmessungen:

$b_x = 240\,cm$

$b_y = 240\,cm$

$h = 60\,cm$

Stütze:

$c_x = 30\,cm$

$c_y = 30\,cm$

Achsabstände gemittelt:

$u_x = 7\,cm$

$u_y = 7\,cm$

Das Fundament ist wie folgt belastet:

Maßgebende Einwirkung: $N_{Ed} = 1.35 \cdot 894 + 1.50 \cdot 639 = 2165.4\,kN$

# 3 Nachweis nach DIN EN 1992-1-1 Kapitel 6.4

Es ist nachzuweisen, dass die bezogene Querkraft $v_{Ed}$ den Widerstand $v_{Rd}$ nicht überschreitet.

$v_{Ed} \leq v_{Rd}$

Nach DIN EN 1992-1-1 wird die Querkraft $v_{Ed}$ im betrachteten Rundschnitt „je Flächeneinheit“ ermittelt, vgl. [2] (nach DIN 1045-1 wird die Querkraft $v_{Ed}$ auf die Länge des kritischen Rundschnitts bezogen).

## 3.1 Einwirkende Querkraft

Die Bemessungskraft wird auf den kritischen Rundschnitt $u_{crit}$ bezogen. Die Querkraft $V_{Ed}$ wird in BEMESS aus den Anschlusskräften der finiten Elemente ermittelt. Dabei darf die Querkraft $V_{Ed}$ um die günstige Wirkung aus den Bodenpressungen innerhalb der kritischen Fläche $A_{crit}$ abgemindert werden (mit den Bodenpressungen ohne Fundament-Eigengewicht).

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| -395.7 | -395.9 | -396.1 | -396.1 | -396.1 | -396.1 | -395.9 | -395.7 |
| -395.9 | -396.0 | -396.3 | -396.4 | -396.4 | -396.3 | -396.0 | -395.9 |
| -396.1 | -396.3 | -396.9 | -397.0 | -397.0 | -396.9 | -396.3 | -396.1 |
| -396.1 | -396.4 | -397.0 | -397.7 | -397.7 | -397.0 | -396.4 | -396.1 |
| -396.1 | -396.4 | -397.0 | -397.7 | -397.7 | -397.0 | -396.4 | -396.1 |
| -396.1 | -396.3 | -396.9 | -397.0 | -397.0 | -396.9 | -396.3 | -396.1 |
| -395.9 | -396.0 | -396.3 | -396.4 | -396.4 | -396.3 | -396.0 | -395.9 |
| -395.7 | -395.9 | -396.1 | -396.1 | -396.1 | -396.1 | -395.9 | -395.7 |

Die Bodenpressung unter dem Fundament ist infolge der weichen Bettungszahl von

$C = 5000\, kN / m^3$

nahezu konstant

**Abbildung 2: Bodenpressungen**

Folgende Ausgangswerte werden von dem Programm BEMESS ermittelt:

$V_{Ed} = 2144\,kN$ ermittelt aus QUAD- Anschlusskräften

**Hinweis:**

Die Querkraft $V_{ed}$ ist ein wenig kleiner als die eingegebene Stützenlast.

$V_{ed}$=2144 kN < PZ=2165.4 kN (eingegebene Belastung)

**Begründung:**

Es fehlt die Auflagerkraft im Knoten 500, die der Eingabelast entgegenwirkt

$pz_{Bettung}$= 22.9 kN (Auflagerkraft aus elastischer Bettung)

Kontrolle:

2144 + 22.9 = 2166.9 kN ≈ PZ 2165.4 kN

$s_0 \approx 397 - 20.25 = 376.5\,kN/m^2$ mittlere Bodenpressung im Durchstanzkegel wobei das Fundamenteigengewicht $g_f = 1.35 \cdot 0.6 \cdot 25.0 = 20.25\,kN/m^2$ abgezogen wird.

$$V_{Ed,red} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed}$$

$$\Delta V_{Ed} = s_0 \cdot A_{crit}$$

$$V_{Ed,red} = 2144 - 376.5 \cdot (0.30 \cdot 0.30 + 4 \cdot 0.30 \cdot a_{crit} + p \cdot a_{crit}^2)$$

mit $a_{crit} = 0.76 \cdot d = 0.403\,m$ (iterativ ermittelt vgl. Kap. 3.3)

$$V_{Ed,red} = 2144 - 376.5 \cdot (0.30 \cdot 0.30 + 4 \cdot 0.30 \cdot a_{crit} + p \cdot a_{crit}^2)$$

$$V_{Ed,red} = 2144 - 376.5 \cdot 1.084$$

$$V_{Ed,red} = 2144 - 408 = 1736\,kN$$

Die auf den maßgebenden Schnitt bezogene Querkraft ergibt sich nach [2] Gln (6.38) wobei der Abstand des kritischen Rundschnitts $a_{crit}$ iterativ vom Programm BEMESS ermittelt wird.

$$v_{Ed} = V_{Ed,red} \cdot b \,/\, (u \cdot d)$$

$b = 1.10$ (bei Innenstützen)

$$u = u_{crit} = 2 \cdot (c_x + c_y) + 2 \cdot p \cdot a_{crit} = 3.732m$$

$$d = (d_x + d_y) \,/\, 2 = (0.53 + 0.53) \,/\, 2 = 0.53\,m$$

$$v_{Ed} = 1.736 \cdot 1.10 \,/\, (u \cdot d)$$

$$v_{Ed} = 0.968\,MN/m^2$$

### 3.2 Aufnehmbare Querkraft

Die aufnehmbare Querkraft (Widerstand) $v_{Rd,c}$ ohne Durchstanzbewehrung ergibt sich nach [2] Gln (6.50) zu

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot r_l \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot (2d/a_{crit})$$

$$\geq v_{\min} \cdot (2d/a_{crit}) \qquad \text{Mindestwert}$$

mit Überprüfung von $v_{\min}$

$$v_{\min} = (0.0525 / g_c) \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} \qquad \text{für} \qquad d \leq 600\ mm \qquad \text{[2] Gln (6.3aDE)}$$

$$k = 1 + \sqrt{(200/d)} = 1 + \sqrt{(200/530)} = 1.614 \qquad \text{mit } d \text{ in [mm !!]}$$

$$v_{\min} = (0.0525 / 1.5) \cdot 1.614^{3/2} \cdot 30^{1/2} \qquad \text{für C30/37}$$

$$v_{\min} = (0.0525 / 1.5) \cdot 1.614^{3/2} \cdot 30^{1/2}$$

$$v_{\min} = 0.393$$

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot r_l \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot (2d/a_{crit})$$

$$C_{Rd,c} = 0.15/g_c$$

$$k = 1 + \sqrt{(200/d)} = 1 + \sqrt{(200/530)} = 1.614 \qquad \text{mit } d \text{ in [mm !!]}$$

$$r_l = \sqrt{(r_{lx} + r_{ly})} \leq 0.02$$

$$r_l = 0.0018 \qquad \text{(aus Biegebemessung)}$$

Der Bewehrungsgrad der Längsbewehrung $r_l$ ist durch die Biegebemessung vorgegeben

$$v_{Rd,c} = (0.15 / 1.5) \cdot 1.614 \cdot (100 \cdot 0.0018 \cdot 30)^{1/3} \cdot (2d/a_{crit})$$

$$v_{Rd,c} = 0.10 \cdot 1.614 \cdot (5.4)^{1/3} \cdot (2d/a_{crit})$$

$$v_{Rd,c} = 0.283 \cdot (2d/a_{crit})$$

$$\geq 0.393 \cdot (2d/a_{crit}) \qquad \text{(Mindestwert)}$$

Somit wird der Mindestwert $v_{\min}$ bei der Ermittlung von $v_{Rd,c}$ maßgebend.

$$v_{Rd,c} = 0.393 \cdot (2 \cdot 0.53 / 0.403) = 1.035\ MN/m^2$$

### 3.3 Iterativer Nachweis

Die Lage des maßgebenden kritischen Rundschnitts nach DIN EN 1992-1-1 erfolgt iterativ. Diese Iteration wird im Programm BEMESS durchgeführt mit $d_m = (d_x + d_y) / 2 = (0.53 + 0.53) / 2 = 0.53\,m$, wobei der Faktor $x$ variiert wird. Der kleinste Wert der relativen Tragfähigkeit $v_{Rd,c} / v_{Ed}$ ist hierbei maßgebend. Anhand folgender Tabelle soll die Lage des maßgebenden Schnittes überprüft werden.

| $x \cdot$ | $a_{crit} = x \cdot d_m [cm]$ | $v_{Rd,c} [MN/m^2]$ | $v_{Ed} [MN/m^2]$ | $v_{Rd,c} / v_{Ed}$ |
|---|---|---|---|---|
| 0.10 | 5.3 | 7.864 | 2.821 | 2.788 |
| 0.30 | 15.9 | 2.621 | 1.897 | 1.382 |
| 0.50 | 26.5 | 1.573 | 1.384 | 1.137 |
| 0.70 | 37.1 | 1.123 | 1.048 | 1.072 |
| 0.75 | 39.8 | 1.049 | 0.981 | 1.069 |
| 0.76 | 40.3 | 1.035 | 0.968 | 1.069 |
| 0.77 | 40.8 | 1.021 | 0.955 | 1.069 |
| 0.80 | 42.4 | 0.983 | 0.919 | 1.070 |
| 0.90 | 47.7 | 0.874 | 0.807 | 1.083 |

Tabelle 1: Lage des kritischen Rundschnitts

Der kritische Rundschnitt liegt im Bereich zwischen $0.75 d_m$ und $0.80 d_m$. Die Unterschiede bei der relativen Tragfähigkeit von $\min (v_{Rd,c} / v_{Ed})$ sind in diesem Bereich sehr gering und mit der Handrechnung wegen der unvermeidlichen Rundungsungenauigkeit nicht unmittelbar erkennbar. Das Programm BEMESS ermittelt den maßgebenden Schnitt bei $a_{crit} = 0.76 \cdot d_m$.

# 4 Datensatz und Ergebnisausgabe

## 4.1 CADINP Eingabe

Die Eingabe erfolgt auf numerischer Basis mit der CADINP-Eingabesprache im TEDDY

```
!#!Info  Beispiel:      Durchstanzen
!#!Info  Schlagwort:    Rundschnitt iterativ; DIN EN 1992-2004
!#!Info  Programm:      BEMESS
!#!Info  Version:       SOFiSTiK 25
!#!Info  Datum:         11.05.2010

+prog template
KOPF EC2: Durchstanzen Fundament Vergleichsrechnung Goris Fundament F1
STO#L  2.40  $ m Fundamentabmessung quadratisch
STO#h  0.60  $ m Plattendicke
STO#d  0.53  $ m stat. Nutzhöhe (Mittel der Bewehrungslagen)
STO#b  0.30  $ m Stützenbreite (quadratisch)
STO#P  2165.4  $ kN Stützenlast im GZT = incl. Lastsicherheiten!
ENDE

+PROG AQUA
KOPF EC2: Durchstanzen Fundament Vergleichsrechnung Goris Fundament F1
NORM 'DIN' NDC 'EN1992-2004' COUN 49 CAT 'AN' SNOW '1' $ EC2 Ländercode Deutschland
BETO 1    C '30'
STAH 2  SEC '500B'
ENDE

+PROG SOFIMSHA
KOPF EC2: Durchstanzen Fundament Vergleichsrechnung Goris Fundament F1
SYST ROST GDIV 1000
KNOT NR   X     Y
    101 -#L/2 -#L/2
    102 -#L/2  #L/2
    103  #L/2  #L/2
    104  #L/2 -#L/2
    500   0     0
GRUP 0
QUAD - 101 102 103 104 M 10 N 10 T #H C 5000 $ weiche Bettung -> konstante Bodenpressung
ENDE

+PROG BEMESS
KOPF Definition der Bemessungsparameter und Mindestbewehrung
$ vgl. bemess6_din1045_1.dat
let#s 1000*(#h-#d) $ Achsabstand der Hauptbewehrung
GEOM - HO #s DHO 0.01 HU #s DHU 0.01
RICH  0 0
PARA NRG - DO 10 $ mm Eisendurchmesser
DUST D #b B #b   $ DUST Eingaben werden weitergeleitet,
                 $ falls in BEMESS keine neuen definiert werden
ENDE

+PROG ASE
kopf Berechnung unter gamma-facher Last
echo vers,reak nein
LF 9 FAKT 1.00 EGZ 1.35 bez GZT   $ mit EG
last 500 PZ #P $ kN Stützenlast im GZT = inklusive Lastsicherheiten!
ende

+PROG BEMESS
KOPF Bemessung GZT
ECHO SCHN VOLL
ECHO BEME VOLL
ECHO DUST VOLL
STEU BRUC $ Lastfall bereits auf Bruchniveau gerechnet.
          $ = inklusive Lastsicherheiten ! wichtig !
LF   9
ENDE

+PROG WING
KOPF Grafik Durchstanzen
SIZE URS
FARB F5 1001
QUAD TYP ASS SCHR 0.40 $ Bügelbewehrung und Durchstanzen
ende
```

## 4.2 Ergebnisse Durchstanznachweis mit BEMESS

```
Durchstanznachweise (DIN EN 1992-1-1:2009(D)):


Auflagerknoten Nummer =   500           X= 0.000 [m]       Y= 0.000 [m]
größte Querkraft  V-Ed=-2144. [kN]     LF=     9  aus QUAD Anschlußkräften
abzüglich Bodenpressung 376.5 [kN/m2] (Pressung aus EG Bodenplatte abgezogen)
größte Querkraft  V-Ed=-1736. [kN]       =-2144. + 407.8 [kN]
Stützenabmessung     b= 0.300 [m]       d= 0.300 [m]
Plattendicke  h-platte= 0.600 [m]    depth 0.530 [m]
Rundschnitt iteriert a= 0.403 [m]    utot= 3.731 [m]       u= 3.731 [m]
reduzierter Abstand des Nachweisschnittes wegen gebetteter Fundamentplatte!
Mindestbewehr.as-unten=  9.71 [cm2/m]  (Mindestbem.moment-> Innenstütze)
Biegebewehrung     fe>=  9.71 [cm2/m] mue=  0.18 [o/o]  vrdc=  1.03 [N/mm2]
Der Mindestwert des Durchstanzwiderstandes vmin war massgebend.
 v-Ed = 1.10*V/u/d    =  0.97 [N/mm2]   <=  1.03 [N/mm2]=vrdc
        1.10=pauschaler Exzentrizitätsbeiwert beta
Es ist keine Durchstanz-Schubbewehrung erforderlich.

Zusammenfassung Durchstanznachweise (DIN EN 1992-1-1:2009(D))
Knoten Typ    X      Y   V-Ed d-stue ucrit  =%u0  v-max AssSum     asl nperi
    Nr       [m]    [m]   [kN]   [m]   [m] [o/o] [N/mm2  [cm2] [cm2/m]
   500 F   0.000  0.000 -1736. 0.339 3.731   100   0.97      -    9.71     -
  Typ  I=Innenstütze, R=Randstütze, E=Eckstuetze, F=Fundament,
       W=Wandende,    L=Wandeck,    U=Unterzugende
  ucrit =Umfang kritischer Rundschnitt, um Öffnungen+Ränder reduziert
  %u0   =Reduktionsfaktor der Öffnungen+Ränder = u0/u0-tot in %
  AssSum=Schubbewehrung Summe aller nperi perimeter (Rundschnitte)
  asl   =Mindestens einzulegende Biegebewehrung im Durchstanzbereich
  nperi =Bis zu diesem perimeter muß Schubbewehrung eingelegt werden
```

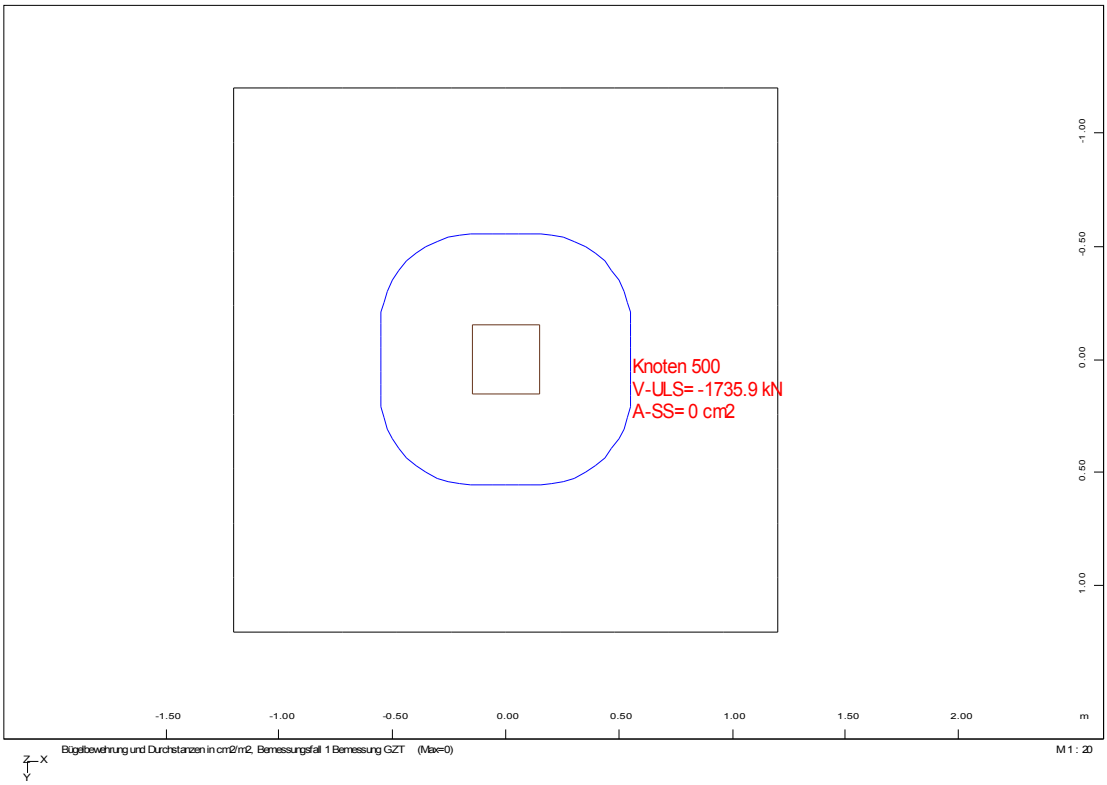



**Abbildung 3: kritischer Rundschnitt**

Vergleich der Ergebnisse

| BEMESS | | | | Handrechnung mit $V_{ed}$= 2144 kN | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $a_{crit}$ | $V_{Ed,red}$ | $v_{Ed}$ | $v_{Rd,c}$ | $a_{crit}$ | $V_{Ed,red}$ | $v_{Ed}$ | $v_{Rd,c}$ |
| [cm] | [MN] | [MN/m$^2$] | [MN/m$^2$] | [cm] | [MN] | [MN/m$^2$] | [MN/m$^2$] |
| 40.3 | 1.736 | 0.97 | 1.03 | 40.3 | 1.736 | 0.968 | 1.035 |

# 5 Literatur

[1] Schmitz, Prof. Dr.-Ing Ulrich P. Schmitz / Goris, Prof. Dr.-Ing. Alfons; DIN 1045 digital Einführung, Anwendungsbeispiele; Werner Verlag

[2] *Dr. Fingerloos,* DIBt-Forschungsvorhaben ZP 52-5- 7.278.2-1317/09: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2005 inkl. Berichtigungen Ber1:2008 (E) und Ber2:2010 (E)