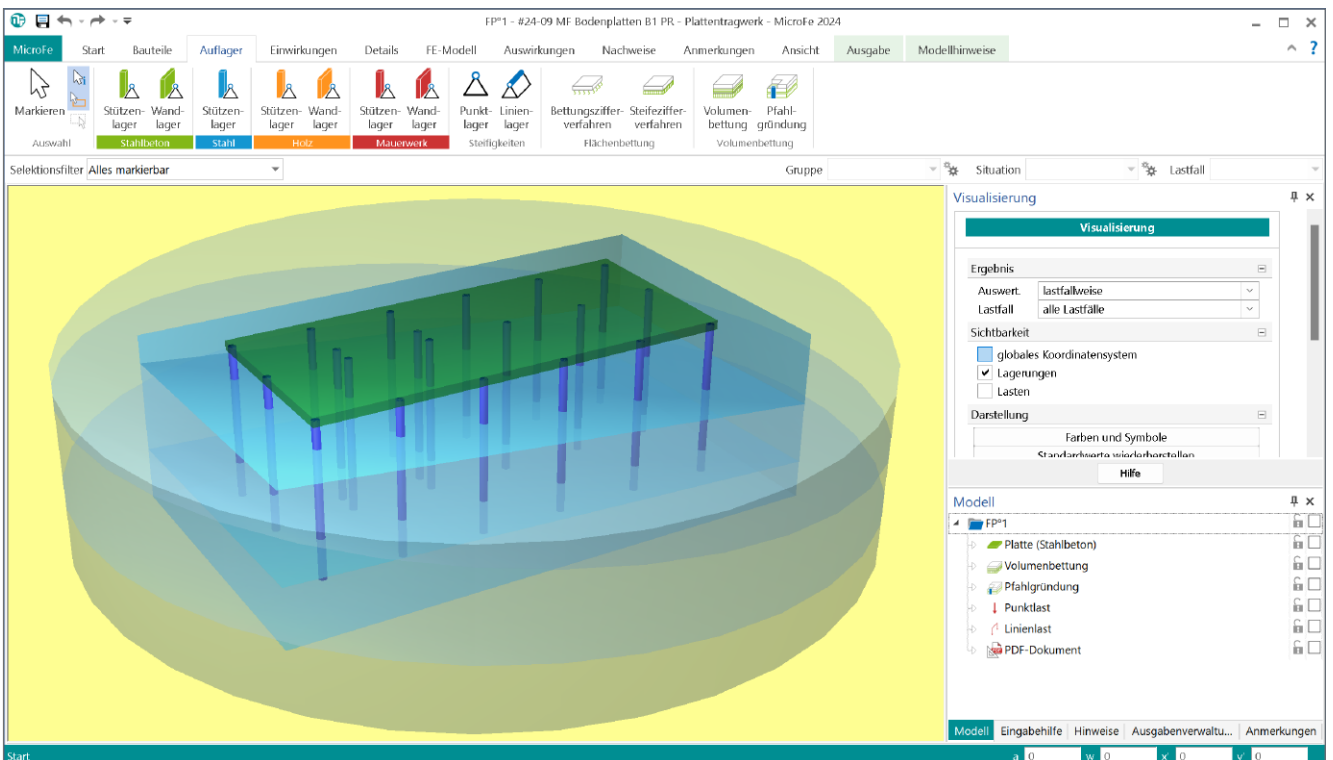


Dipl.-Ing. Sven Hohenstern

Bemessung von Bodenplatten

Überblick über die Modellierungs- und Nachweismöglichkeiten von gebetteten Platten in MicroFe

Bei der Bemessung einer Bodenplatte kommt der Modellierung der Flächenlagerung eine große Bedeutung zu. MicroFe stellt hierzu verschiedene Hilfsmittel zur Verfügung.



Allgemein

MicroFe bietet drei unterschiedliche Berechnungsmodelle an, um die Flächenlagerung einer Bodenplatte abzubilden. Diese werden nachfolgend vorgestellt. Weitere Informationen sind auch dem mb-news-Artikel [1] zu diesem Thema zu entnehmen.

Anschließend wird auf die Bemessung der Bodenplatte näher eingegangen.



Bild 1. Register „Auflager“

Bettungszifferverfahren

Mit dem Positionstyp „Flächenbettung (Bettungsziffer)“ erfolgt eine elastische Flächenlagerung mit dem Bettungszifferverfahren (wird auch als „Bettungsmodulverfahren“ bezeichnet) nach WINKLER.

Bei diesem einfachen Verfahren gilt die grundlegende Beziehung, dass sich die Setzungen proportional zu den Sohlspannungen verhalten. Der Boden wird durch kontinuierlich verteilte, aber unabhängige linear-elastische Wegfedern angenähert, so dass die Federn sich gegenseitig nicht beeinflussen.

Dies hat den Nachteil, dass sich keine Setzungsmulde ausbilden kann und die Schubsteifigkeit des Bodens unberücksichtigt bleibt. Auch mehrere Bodenschichtungen und Interaktionen zwischen mehreren Bauwerken können nicht abgebildet werden.

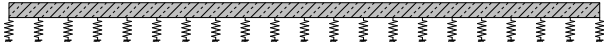


Bild 2. Modell Bettungszifferverfahren

Die Federsteifigkeit wird durch die Bettungsziffer beschrieben. Dabei gilt folgender Zusammenhang:

$$k_s = \frac{\sigma_0}{s} \quad (1)$$

mit

k_s	Bettungsziffer in [kN/m ³]
σ_0	Sohlpressung in [kN/m ²]
s	Setzung in [m]

Die Bettungsziffer k_s ist keine reine Bodenkenngröße, sondern u.a. auch von der Fundamentgeometrie und der Belastung anhängig, so dass dieser Wert im Bereich der Bodenplatte variieren wird. Deshalb sollte der Bereich der Bodenplatte nicht mit einer einzigen Lagerposition abgebildet werden, sondern mit mehreren, damit die Bettungsziffer variiert werden kann. Hier gibt es verschiedene Ansätze, um realistischere Ergebnisse zu erhalten.

BELLMANN und KATZ schlagen vor, in einem schmalen Randbereich (bspw. äußerste Elementreihe) der Bodenplatte die Bettungsziffer auf den Wert $4 \cdot k_s$ zu erhöhen.

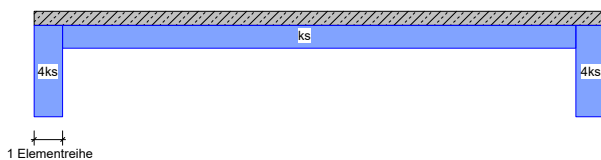


Bild 3. Modifiziertes Bettungszifferverfahren nach BELLMANN und KATZ

DÖRKEN und DEHNE empfehlen, im äußeren Viertelstreifen der Bodenplatte die Bettungsziffer linear auf den Wert $2 \cdot k_s$ zum Rand hin ansteigen zu lassen.

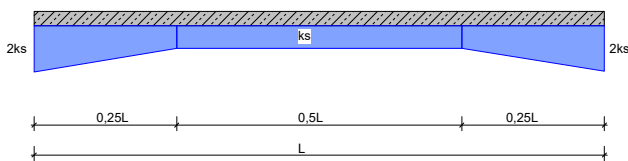


Bild 4. Modifiziertes Bettungszifferverfahren nach DÖRKEN und DEHNE

Steifezifferverfahren

Mit dem Positionstyp „Flächenbettung (Steifeziffer)“ erfolgt eine elastische Flächenlagerung mit dem Steifezifferverfahren.

Bei dem Steifezifferverfahren handelt es sich um ein zwei-parametriges Bodenmodell, das aus dem Setzungsverhalten rechteckiger Gründungskörper abgeleitet ist. Der erste Parameter c_1 bildet – ähnlich der Bettungsziffer – die Bettungseigenschaften im Hinblick auf die vertikalen Verschiebungen ab. Der zweite Parameter c_2 berücksichtigt die Schubtragung des Baugrundes und beschreibt den Widerstand gegen die Verkrümmung der Bettungsfläche.

Anschaulich kann man sich die Modellierung als auf Translationsfedern gelagerte Bettungsfläche vorstellen, die einen von den Bodeneigenschaften abhängigen Verkrümmungswiderstand aufweist. Hierdurch wird ermöglicht, dass sowohl die Schubwirkung des Bodens als auch die Ausbildung der Setzungsmulde Berücksichtigung finden.

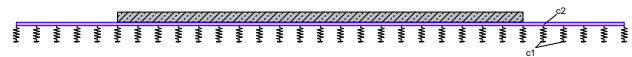


Bild 5. Modell Steifezifferverfahren

Für die Ermittlung der c -Parameter stehen in MicroFe die Ansätze nach PASTERNAK und nach BARWASCHOW zur Verfügung. Durch Vorgabe der Boden-Parameter Steifemodul E_s , Querdehnzahl μ und Schichtdicke h lassen sich die Parameter c_1 und c_2 in MicroFe automatisch ermitteln (siehe Bild 6):

Verfahren nach PASTERNAK:

$$c_1 = \frac{E}{h \cdot (1 - 2 \cdot \mu^2)} \quad \text{in [kN/m}^3\text{]} \quad (2)$$

$$c_2 = \frac{E \cdot h}{6 \cdot (1 + \mu)} \quad \text{in [kN/m]} \quad (3)$$

Verfahren nach BARWASCHOW:

$$c_1 = \frac{E}{h \cdot (1 - \mu^2)} \quad \text{in [kN/m}^3\text{]} \quad (4)$$

$$c_2 = \frac{E \cdot h}{20 \cdot (1 - \mu^2)} \quad \text{in [kN/m]} \quad (5)$$

mit

$$E = \frac{1 + \mu}{1 - \mu} \cdot (1 - 2 \cdot \mu) \cdot E_s \quad \text{E-Modul in [kN/m}^2\text{]} \quad (6)$$

E_s Steifemodul in [kN/m²]

μ Querdehnzahl (i.d.R. $\mu = 0.3$)

h Dicke der Bodenschicht in [m]

Beide c -Parameter lassen sich auch manuell definieren.

Die Bodenschichtdicke h sollte nicht zu klein, aber auch nicht zu groß gewählt werden, da das Setzungsverhalten von dieser Dicke maßgebend beeinflusst wird. Als Schichtdicke h sollte die Setzungseinflusstiefe t_s verwendet werden, wie sie in DIN 4019:2015-05 [2] definiert ist.

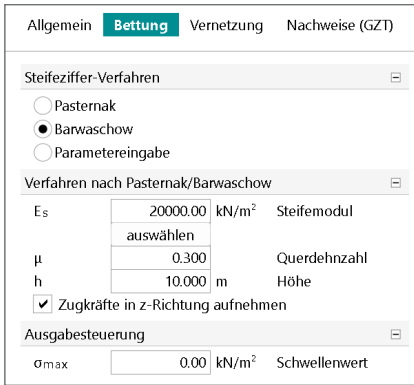


Bild 6. Eigenschaften Flächenlager (Steifeziffer)

Damit sich die Setzungsmulde korrekt ausbilden kann, ist über den Rand der Bodenplatte hinaus ein Bettungskragen zu definieren. Dieser ist soweit über den Plattenrand hinaus zu führen, bis die Verformungen am Bettungsrand abgeklungen sind. Als Orientierungswert für die Breite des Bettungskragen kann ca. 1/3 der Fundamentbreite angenommen werden. Ggf. ist dieser Wert iterativ zu erhöhen.

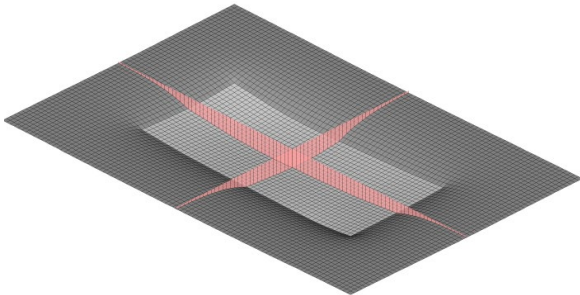


Bild 7. Verformungen in verdeckter Systemdarstellung inkl. Bettungskragen

Nachteilig ist die starre horizontale Lagerung im 3D-Modell, so dass diese z.B. für Erdbebennachweise nur bedingt geeignet ist.

Volumenbettung

Mit Modul M280 steht der Positionstyp „Volumenbettung“ zur Verfügung, mit welchem ein dreidimensionaler Bodenkörper modelliert wird, der den Boden als elastischen, isotropen Halbraum mit Volumenelementen abbildet.

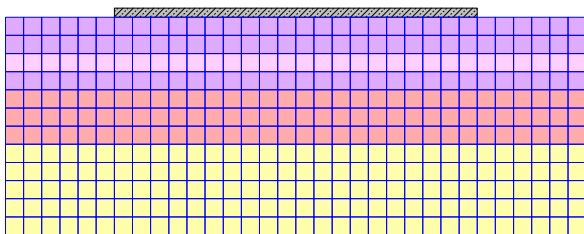


Bild 8. Modell Volumenbettung

MicroFe ermöglicht, beliebig viele Schichten in unterschiedlichen Neigungen und Stärken übereinander abzubilden. Über die Definition des Flächenlagers werden die Abmessungen des Bodenkörpers im Grundriss festgelegt. Hierbei ist analog zum Steifezifferverfahren ein Bettungskragen um das Gründungsbauteil vorzusehen. Dieser lässt sich einfach erzeugen, indem die Erweiterung des Bodenmodells von einem Prisma in einen Zylinder aktiviert wird (siehe Bild 9 und Titelbild).

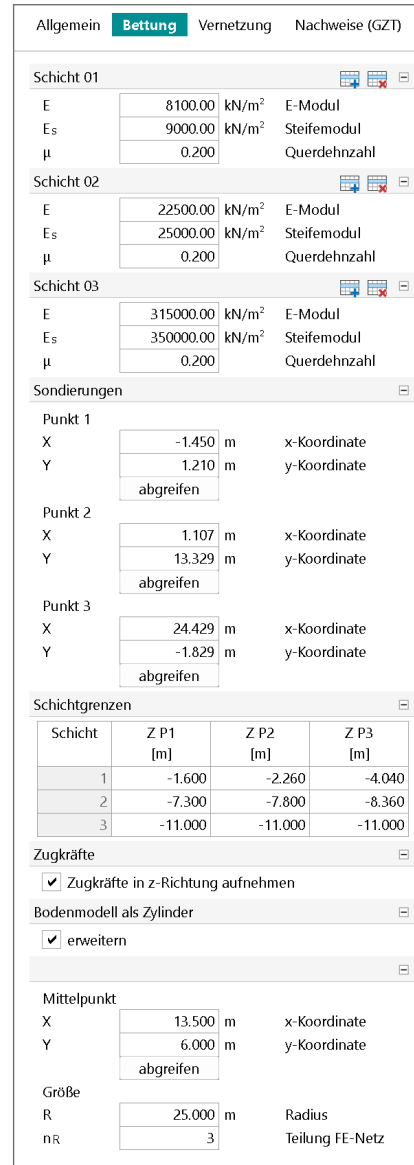


Bild 9. Eigenschaften Volumenbettung

An drei Sondierungspunkten in der xy-Ebene sind die Trennebenen zu definieren, die die Schichtgrenzen zwischen den einzelnen Bodenschichten bilden. In der Praxis bietet sich an, als Definitionspunkte den Ort von vorhandenen Bodensonndierungen zu wählen und jeweils das dort anstehende Bodenprofil einzutragen.

Für die einzelnen Schichten sind neben der Querdehnzahl μ der Steifemodul E_s oder der E-Modul E vorzugeben (siehe Bild 9). Über die Gleichung (6) sind die drei Werte miteinander gekoppelt, so dass bei Vorgabe von zwei dieser Parameter der dritte automatisch ermittelt wird. Die Seitenflächen und die Grundfläche des Bodenprismas werden starr gelagert.

In der Visualisierung lässt sich die Lage der einzelnen Bodenschichten darstellen und kontrollieren (s. Titelbild). Es ist darauf zu achten, dass sich bei geneigten Schichten die Trennebenen innerhalb des Bodenkörpers nicht schneiden, da ansonsten das Modell nicht berechenbar ist.

Bei großen Bauwerken können auch mehrere Bodenkörper nebeneinander eingegeben werden, um beispielsweise unterschiedliche Neigungen in den Bodenschichten zu erfassen. Hierbei ist jedoch darauf zu achten, dass die Elementierung in z-Richtung in den Kontaktebenen von angrenzenden Bodenkörpern identisch ist. Die Elementanzahl n_z je Schicht lässt sich im Kapitel „Vernetzung“ der Volumenbettung steuern.

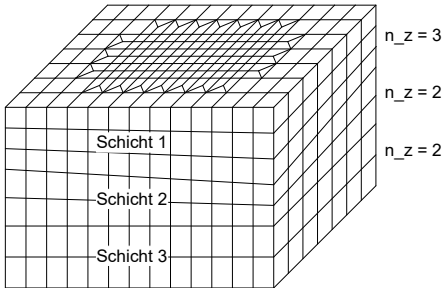


Bild 10. Elementierung der Volumenbettung

Bei der Modellierung des Baugrundes mithilfe von Volumenelementen handelt es sich um ein sehr realitätsnahes Verfahren, das immer dann zur Anwendung kommen sollte, wenn die Randbedingungen für das Bettungsziffer- oder Steifezifferverfahren nicht eingehalten werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn es sich um einen mehrschichtigen Bodenaufbau handelt, oder wenn die Schichtungen nicht horizontal verlaufen. Das Verfahren ist ebenfalls bei einer komplizierten Gebäudegeometrie oder bei der Notwendigkeit von Pfahlgründungen zu verwenden.

Pfahlgründung

Mit Modul M281 steht der Positionstyp „Pfahlgründung“ zur Verfügung, mit welchem sich Bohrpfähle innerhalb einer Volumenbettung definieren lassen.

Der Pfahl trägt seine Kräfte über den Fußpunkt und optional auch über Mantelreibung in den Baugrund ab. Die Modellierung erfolgt durch starre Kopplung der Volumenelemente über die Länge des Pfahls. Sofern die Mantelreibung und der Spitzendruck am Pfahlfuß begrenzt werden sollen, erfolgt der Anschluss über Kontaktelemente, die nur bis zu den definierten Grenzwerten Kräfte übertragen. Diese Berücksichtigung einer begrenzten Kraftübertragung macht eine nichtlineare Berechnung erforderlich.

Die Bohrpfähle können mit Rechteck- oder Kreisquerschnitt vorgegeben werden. Die Länge ist beliebig, es ist nur darauf zu achten, dass die Pfähle vollständig innerhalb der modellierten Bodenschichten liegen. Die Pfähle sollten immer senkrecht definiert werden. Mit einer nichtlinearen Berechnung lassen sich auch reine Zug- oder Druckpfähle realisieren. Falls keine Einspannung in die Bodenplatte aktiviert ist, wird der Pfahl gelenkig angeschlossen.

Im Rahmen der Übergabe zum Detailnachweis wird die Belastung am Pfahlkopf und die Pfahlgeometrie zur Übernahme für die Baustatik-Module S512.de und S513.de zur Verfügung gestellt. Mit deren Hilfe erfolgt dann eine detaillierte Bemessung der Bohrpfähle.

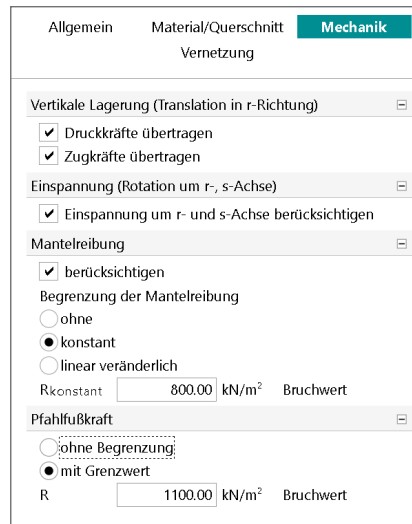


Bild 11. Eigenschaften Pfahlgründung

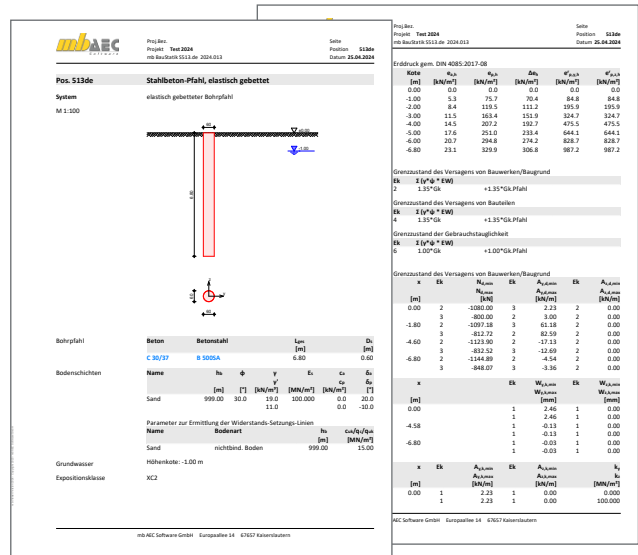


Bild 12. Ausgabe „Pfahl-Bemessung mit S513.de“

Nachweis der Bodenpressung

Wenn das Modul M362.de lizenziert ist, lässt sich für die Flächenlager der Nachweis der Bodenpressung aktivieren. Neben der Vorgabe der zulässigen Bodenpressung σ_{Rd} ist zu wählen, für welche Bemessungssituation (ständige BS-P, vorübergehende BS-T oder außergewöhnliche BS-A, vgl. hierzu DIN 1054:2021-04 [3]) der Nachweis geführt werden soll.

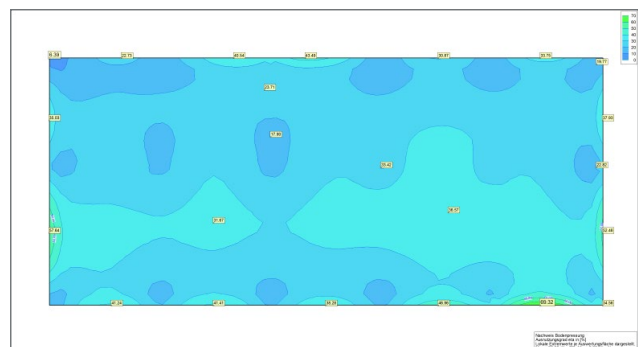


Bild 13. Grafische Ausgabe „Nachweis der Bodenpressungen“

Weitere Informationen sind dem mb-news-Artikel [4] zu diesem Thema zu entnehmen.

Bemessung der Bodenplatte

Für die Bemessung der Bodenplatte stehen alle Nachweise (Tragfähigkeit, Rissbreiten, Spannung, mit M354.de auch Ermüdung, mit M355.de auch Rissbreiten nach WU-Richtlinie [5] und Dichtheit nach BUMwS-Richtlinie [6]) zur Verfügung.

Für Bodenplatten ist insb. der Rissbreitennachweis von Interesse. Hier bietet MicroFe die Möglichkeit, den Nachweis gemäß DIN EN 1992-1-1, Abs. 7.3 [7] nach den folgenden Nachweismethoden zu führen:

- Durch Begrenzung der Bewehrungs-Stabdurchmesser der vorhandenen Bewehrung
- Durch Ermittlung der erforderlichen Bewehrung bei vorgegebenem Stabdurchmesser

Beide Nachweismethoden sind gleichwertig.

Im Fall A) wird unter Ansatz der gesamten Bewehrung (vorh. + erf.) aus dem Tragfähigkeitsnachweis die Stahlspannung σ_s der Bewehrung in der quasi-ständigen Kombination ermittelt. Mit der vorgegebenen zulässigen Rissbreite w_k wird daraus der maximale Grenzdurchmesser abgeleitet. Dieser darf bei der Bewehrungswahl nicht überschritten werden. Der Durchmesser $d_{s,r}$, welcher in der Eingabe einzugeben ist, dient in diesem Fall als obere Grenze für die Dokumentation des Grenzdurchmessers – es werden keine größeren Durchmesser dokumentiert als der vorgegebene.

Im Fall B) wird der eingegebene Durchmesser d_s als maximaler Grenzdurchmesser angesetzt. Die erforderliche Bewehrung wird nun derart ermittelt, dass die zur vorgegebenen Rissbreite w_k zulässige Stahlspannung σ_s nicht mehr überschritten ist.

Allgemein	Material/Querschnitt	Mechanik
Vernetzung	Belastung	Bewehrung
Nachweise (GZI)	Nachweise (GZG)	Tragstruktur

Spannungen		
<input type="checkbox"/>	Nachweis führen	

Rissbreiten		
<input checked="" type="checkbox"/>	Nachweis führen	
<input type="checkbox"/>	Nachweis nach WU-Richtlinie	
<input type="radio"/>	vereinfachte Eingabe	
<input checked="" type="radio"/>	detaillierte Eingabe	
w _{k,unten}	0.30 mm	Rissbreite unten
w _{k,oben}	0.30 mm	Rissbreite oben
d _{s,r,un}	12 mm	Durchmesser
d _{s,s,un}	12 mm	Durchmesser
d _{s,r,ob}	12 mm	Durchmesser
d _{s,s,ob}	12 mm	Durchmesser
Δf _{ctm}	100.0 %	Anteil

Ermittlung		
<input checked="" type="radio"/>	Grenzdurchmesser	
<input type="radio"/>	erforderliche Bewehrung	
Mindestbewehrung infolge Zwang		
<input checked="" type="checkbox"/>	in r-Richtung	
<input checked="" type="checkbox"/>	in s-Richtung	
Art	innerer Zwang	
Typ	Biegezwang oben und unten	
Δf _{ctm}	50.0 %	Anteil

Dichtheit		
<input type="checkbox"/>	Nachweis führen	

Bild 14. Eigenschaften Rissbreitennachweis

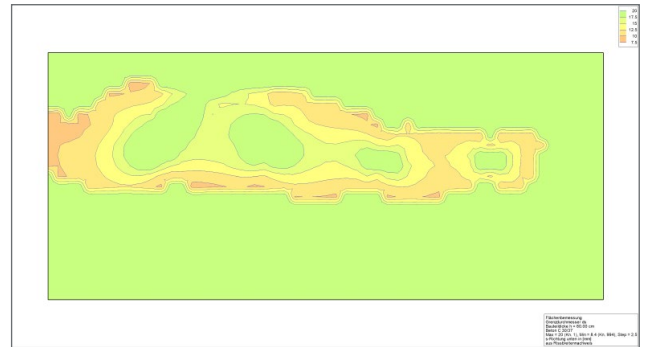


Bild 15. Rissbreitennachweis: Grenzdurchmesser

Zudem lässt sich die Mindestbewehrung infolge Zwang getrennt nach r- und/oder s-Richtung der Platte gemäß [7], Abs. 7.3.2 ermitteln. Hierbei ist zu unterscheiden, ob die Zwangsschnittgrößen infolge im Bauteil selbst hervorgerufenen Zwangs (= „innerer Zwang“, bspw. durch Abfließen der Hydratationswärme) oder infolge außerhalb des Bauteils hervorgerufenen Zwangs (= „äußerer Zwang“, bspw. durch Setzungen oder Temperaturdifferenzen) auftreten. Außerdem ist vorzugeben, ob die Zwangseinwirkung überwiegend eine Zug- oder Biegebeanspruchung im Querschnitt hervorruft.

Durchstanznachweis

Für den Durchstanznachweis gemäß [7] Abs. 6.4 ist im Plattenmodell M100.de das Modul M350.de und im 3D-Modell M120.de das Modul M351.de erforderlich.

Im Plattenmodell bedeutet der Nachweis gegen Durchstanzen unter aufstehenden Stützen und Wänden, dass die Durchstanzstellen an den entsprechenden Punkt- und Linienlasten, die die Lasten aus den Stützen und Wänden repräsentieren, platziert werden. Mit der Eingabeoption „automatisch an Position setzen“ kann die Durchstanzstelle direkt an Punktlasten oder Linienlastenden- und -ecken abgesetzt werden. Wenn die Lasten aus einer Lastübernahme stammen, kann auch auf diese Lasten gefangen werden, indem die Eingabeoption „Punkt“ verwendet und die Fangoption „Lastübernahme“ aktiviert wird. Bei aufstehenden Lasten ist die Lasteinleitungsfläche der Durchstanzstelle in der Vorlage bzw. in den Eigenschaften manuell zu definieren (siehe Bild 16).

Im 3D-Modell sind die Durchstanzstellen in der Bodenplatte am Fußpunkt der aufstehenden Stützen- und Wandpositionen zu setzen.

Mehr zum Thema:

mbinar #24-08 - MicroFe:
Gründungen mit Bodenplatten -
Teil 1/2

<https://youtu.be/qPs9Uld67Q8>



mbinar #24-09 - MicroFe:
Gründungen mit Bodenplatten -
Teil 2/2

<https://youtu.be/IT0NJ6mEcok>



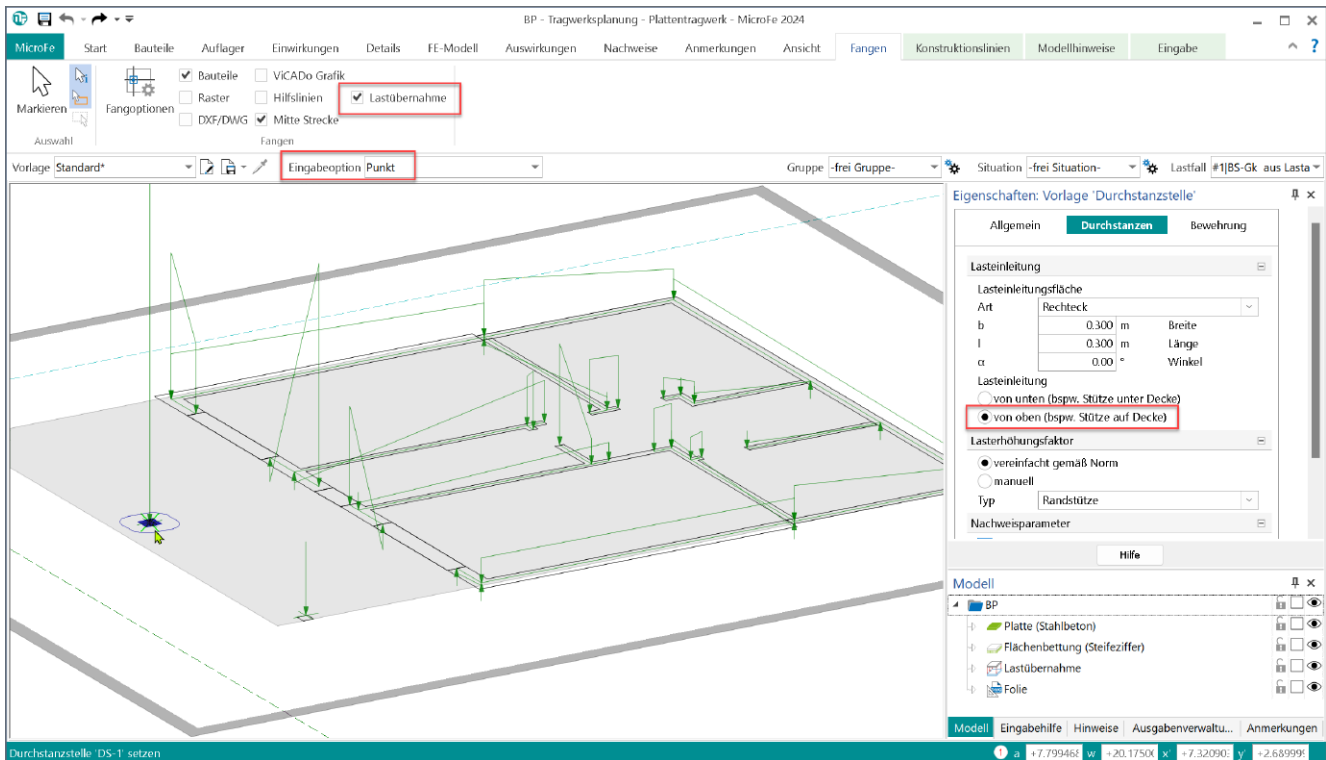


Bild 16. Durchstanzstelle auf Lastübernahme fangen

In den Eigenschaften der jeweiligen Durchstanzstelle ist wegen dem Nachweis unter aufstehenden Lasten die „Lasteinleitung von oben“ zu wählen.

Bei Ermittlung der Durchstanzkraft wird gemäß DIN EN 1992-1-1/NA [8], NCI Zu 6.4.4 (2) die günstige Wirkung des Sohldrucks berücksichtigt, indem 50% der Summe der Bodenpressungen innerhalb des konstanten Rundschnitts im Abstand von $1.0d$ von der einwirkenden Querkraft abgezogen werden. Es wird in diesem Fall nur die reduzierte Querkraft als Durchstanzkraft berücksichtigt und dokumentiert.

Befindet sich eine Pfahlgründung unterhalb der Bodenplatte, so lässt sich auch für diese der Nachweis gegen Durchstanzen führen. Hierzu ist in der Bodenplatte an der jeweiligen Pfahlgründungsposition eine Durchstanzstelle mit Option „Lasteinleitung von unten“ zu setzen. Dabei kann wieder die Eingabeoption „automatisch an Position setzen“ verwendet werden, wodurch die Durchstanzstelle automatisch den Pfahlquerschnitt als Lasteinleitungsfläche übernimmt.

Fazit

MicroFe bietet zur Bemessung von Bodenplatten alle notwendigen Hilfsmittel an. Neben unterschiedlichen Bodenmodellen steht auch eine Pfahlgründung zur Verfügung. Es kann u.a. der Rissbreitennachweis und der Durchstanznachweis der Bodenplatte sowie der Nachweis der Bodenpressung geführt werden.

Dipl.-Ing. Sven Hohenstern
mb AEC Software GmbH
mb-news@mbaec.de

Literatur

- [1] Heuss, S.: Bauwerk-Boden-Wechselwirkung. mb-news 5-2011.
- [2] DIN 4019: Baugrund - Setzberechnungen. Ausgabe Mai 2015. Beuth Verlag.
- [3] DIN 1054: Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1. Ausgabe April 2021. Beuth Verlag.
- [4] Elias, N.: Nachweis der Bodenpressung. mb-news 2-2017.
- [5] DAfStb-Richtlinie Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie). Ausgabe Dezember 2017. Beuth Verlag.
- [6] DAfStb-Richtlinie Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (BUmwS). Ausgabe März 2011. Beuth Verlag.
- [7] Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010.
- [8] Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. Ausgabe April 2013.

Preise und Angebote

M280 Bettung mit Volumenelementen, mehrschichtige Böden

MicroFe comfort 2024

MicroFe-Paket „Platten-, Scheiben- und Faltwerksysteme“

Plato 2024

MicroFe-Paket „Platten“

Weitere Informationen unter

<https://www.mbaec.de/produkte/microfe/>

Es gelten unsere Allgemeinen Geschäftsbedingungen. Änderungen und Irrtümer vorbehalten. Alle Preise zzgl. Versandkosten und MwSt. – Hardlock für Einzelplatzlizenz je Arbeitsplatz erforderlich (95,- EUR). Folgelizenz-/Netzwerkbedingungen auf Anfrage. – Stand: Mai 2024

Betriebssysteme: Windows 10 (22H2, 64-Bit), Windows 11 (22H2, 64-Bit), Windows Server 2022 (21H2) mit Windows Terminalserver

Preisliste: www.mbaec.de