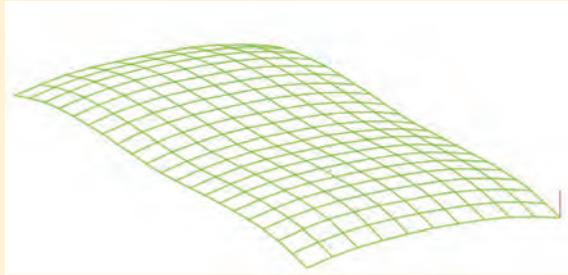
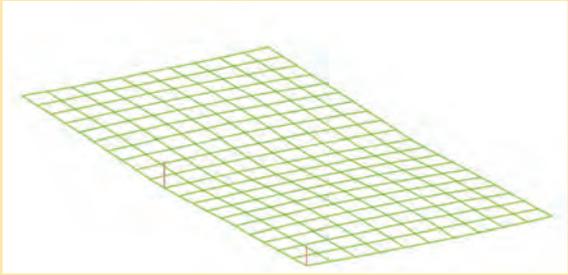


Unterschiede bei den Flächenlagerungen

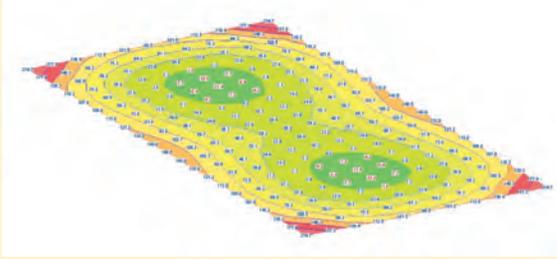
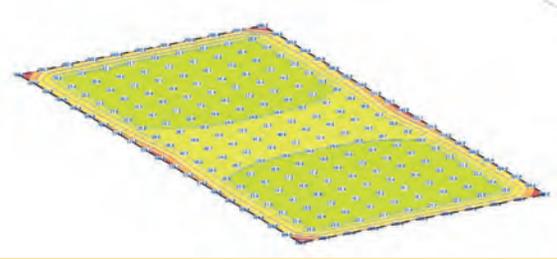
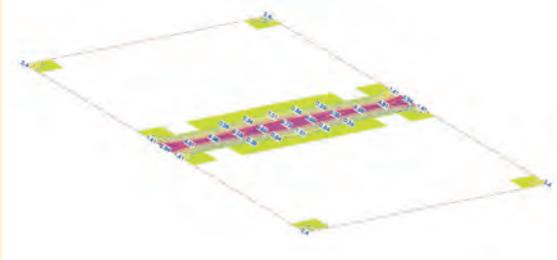
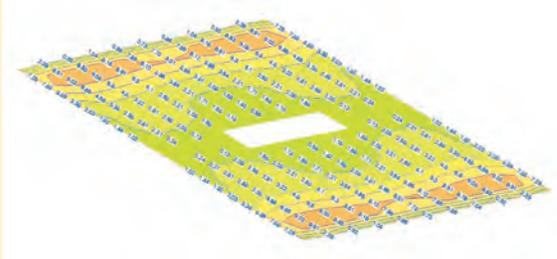
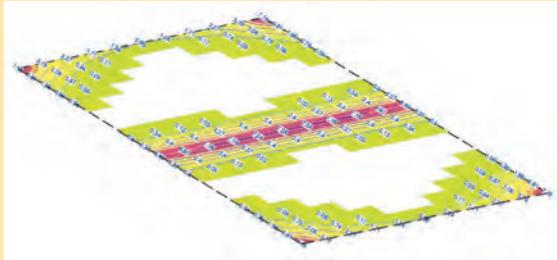
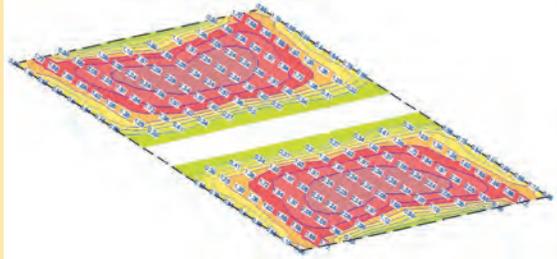
MicroFe bietet für eine Flächenlagerung mehrere Möglichkeiten der Eingabe. In Abhängigkeit des gewählten Verfahrens für die Flächenlagerungen kommt es zu erheblichen Unterschieden in den Ergebnissen. In diesem Artikel erläutern wir die Unterschiede der jeweiligen Methoden, damit Sie sich als Anwender leichter für die passende Methode entscheiden können. Es empfiehlt sich, Werte und Wahl des Bodenmodells in Abstimmung mit dem Bodengutachten zu treffen.

Unterschiede bei den Flächenlagerungen (Bettungszifferverfahren / Steifezifferverfahren)		
Verfahren	Bettungszifferverfahren (Winkler)	Steifezifferverfahren (Pasternak, Barwaschow)
Angabe des Programmherstellers	<p>Das Bettungszifferverfahren nach Winkler verlangt als Eingabe die Bettungszahl des Bodens in kN/m^3. Es handelt sich um die Angabe einer Wegfedersteifigkeit (kN/m), die sich auf einen Quadratmeter Bodenfläche bezieht ($1/\text{m}^2$).</p> <p>Für das Bettungszifferverfahren können Sie außerdem noch festlegen, ob die Lagerung nur Druck, nur Zug oder Beides aufnehmen soll. Die Aktivierung der Zug-/Druckfederausschaltung erfolgt durch eine entsprechende Option beim Starten des Rechengvorgangs (nichtlineare Berechnung).</p>	<p>Beim Steifezifferverfahren nach Pasternak wird der Boden in z-Richtung in der Finiten-Element-Formulierung über zwei Parameter c1 und c2 modelliert. Diese können direkt eingegeben werden oder über den Steifemodul Es und die Querkontraktionszahl des Bodens und über die Höhe H der aktiven Bodenschicht definiert werden (Der E-Modul E wird aus dem Steifemodul und der Querkontraktionszahl Mue ermittelt:</p> $E = Es \cdot (1 - Mue - 2 \cdot Mue \cdot Mue) / (1 - Mue)$ <p>Dazu stehen verschiedene Ansätze aus der Literatur zur Verfügung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - nach Pasternak - nach Barwaschow - Parametereingabe: Parameter c1 und c2 können manuell vorgegeben werden.* <p>Beim Steifezifferverfahren können Sie festlegen, ob die Lagerung nur Druckkräfte oder Zug- und Druckkräfte aufnehmen soll. Ist die Checkbox aktiviert, können Zug- und Druckkräfte übertragen werden. Die Aktivierung der Zug-/Druckfederausschaltung erfolgt durch eine entsprechende Option beim Starten des Rechengvorgangs (nichtlineare Berechnung).</p>
Theorie	<p>Für das klassische Bettungsmodulverfahren gilt die grundlegende Beziehung, dass sich die Setzungen proportional zu den Sohlspannungen verhalten.</p> $k = \frac{\sigma_{0,m}}{s_m}$ <p>mit</p> <ul style="list-style-type: none"> k Bettungsmodul $\sigma_{0,m}$ mittlere Sohlpressung s_m Setzung unter dem kennzeichnenden Punkt <p>Der vom Anwender eingegebene Bettungsmodul wird im Programm in diskrete Federn umgerechnet, die an den FE-Knoten angesetzt werden. Die einzelnen Federn haben keine Verbindung untereinander.</p> <p>Da dieses Verfahren verhältnismäßig unkompliziert und ohne großen technischen und zeitlichen Aufwand zu handhaben ist, ist es weit verbreitet und bei den Anwendern auch sehr beliebt. Damit werden die Ungenauigkeiten und Mängel leider häufig außer Acht gelassen bzw. in Kauf genommen.</p>	<p>Das Modell geht auf Arbeiten von Pasternak zurück und wurde durch verschiedene Erweiterungen den modernen Aspekten der FEM angepasst. Diese Erweiterungen basieren auf dem Verfahren des elastischen Halbraumes. Dabei werden die Eigenschaften des dreidimensionalen Halbraummodells über spezielle Theorien durch ein zweidimensionales Bodenmodell in der Kontaktfuge zwischen Bauwerk und Boden abgebildet.</p> <p>Durch die Berücksichtigung der Schubtragwirkung des Bodens und der umliegenden Bodenbereiche sind im Vergleich zum klassischen Bettungsmodulverfahren wesentlich bessere Ergebnisse zu erwarten.</p> <p>Bei Verwendung der Modelle in modernen FEM-Programmen ist es sinnvoll, den normalen Plattengrundriss um einen so genannten „Bettungskragenbereich“ bis hin zum erwarteten Abklingen der Setzungsmulde zu erweitern. Die Schubsteifigkeit wäre damit berücksichtigt und auch der umliegende Baugrund in die FE-Berechnung integriert.</p>

Unterschiede bei den Flächenlagerungen

Unterschiede bei den Flächenlagerungen (Bettungszifferverfahren / Steifezifferverfahren)		
Verfahren	Bettungszifferverfahren (Winkler)	Steifezifferverfahren (Pasternak, Barwaschow)
Vorteil	<ul style="list-style-type: none"> Einfache Eingabe In den meisten Softwaresystemen verfügbar Keine iterative Berechnung Kurze Rechenzeit Erweiterung auf modifiziertes Bettungsmodulverfahren prinzipiell möglich 	<ul style="list-style-type: none"> Bei richtigem Einsatz realitätsnahe Ergebnisse Berücksichtigung angrenzender Bodenbereiche Schubtragfähigkeit des Bodens wird berücksichtigt Keine interaktive Berechnung Kurze Rechenzeit Interaktion zwischen Bauwerken
Nachteil	<ul style="list-style-type: none"> Unzureichende Bodenmodellierung Keine Berücksichtigung angrenzender Bodenbereiche Schubtragfähigkeit des Bodens wird nicht berücksichtigt Keine Bodenschichtungen erfassbar Interaktion zwischen Bauwerken nicht erfassbar Wenig realitätsnahe Ergebnisse 	<ul style="list-style-type: none"> Zusätzliche Überlegungen / Eingaben sind notwendig Nicht in allen Softwaresystemen verfügbar Interaktion zwischen Bauwerken In seltenen Fällen können numerische Probleme auftreten Bodenschichtungen nur näherungsweise erfassbar
Auswirkungen auf die Ergebnisse in FE-Programmen hinsichtlich der Bodenpressungen	Die Bettungsmodule sind lastabhängig. Dies könnte man durch eine um das 4fach erhöhte Bettungszahl (nach Bellmann und Katz) unter den tragenden Wänden simulieren. Da dies jedoch oft von den Statikern nicht berücksichtigt wird, werden im Programm dadurch kleinere Bodenpressungen unter den tragenden Wänden ausgegeben als tatsächlich vorhanden.	Da die Effekte aus angrenzenden Bodenschichten und Schubtragfähigkeit berücksichtigt werden, kommt es zu höheren jedoch der Realität näheren Pressung unter den tragenden Wänden. Dafür nimmt die Pressung in Feldmitte sehr ab.
Auswirkungen auf die Ergebnisse in FE-Programmen hinsichtlich der Schnittgrößen und somit der Bewehrung in der Bodenplatte	Durch die geringere Lagerung unter den tragenden Wänden verschiebt sich die Lagerkraft in Feldmitte und es kommt in Feldmitte zu größeren Momenten, welche eine erhöhte Bewehrung an der Plattenoberseite in Feldmitte zu Folge hat. Zudem ist natürlich das Moment unter den Wänden geringer und auch die Bewehrung an der Unterseite der Wand geringer. Im Normalfall kann so eine Momentenverschiebung in statisch unbestimmten Systemen durchgeführt werden wenn die Verformung dies auch zulässt. Bei Bodenplatten ist dies jedoch durch erhöhte Rissgefahr an der Unterseite der Platte kritisch zu betrachten.	Die Momente sind hauptsächlich unter den tragenden Wänden konzentriert. Dadurch kommt es hier an der Plattenunterseite zu verstärkter Bewehrung. Vor allem bei wasserdichter Bauweise zeigt sich hier ein Vorteil durch geringere Rissbildung an der Plattenunterseite.
Einfaches Beispiel vom Verformungsbild	Im Verformungsbild sieht man eine erhöhte Verformung an den Plattenrändern: 	Im Verformungsbild sieht man ein gleichmäßigeres Bild der Verformung: 

Unterschiede bei den Flächenlagerungen

Verfahren	Bettungszifferverfahren (Winkler)	Steifezifferverfahren (Pasternak, Barwaschow)
Einfaches Beispiel der Bodenpressung	<p>Max. Bodenpressung: 214,7kN/m² Bodenpressung über einen größeren Bereich verteilt.</p> 	<p>Max. Bodenpressung: 160,5kN/m² Bodenpressung konzentrierter unter den Wänden</p> 
Einfaches Beispiel der Bewehrung	<p>Untere Lage: max. 5,94cm²/m</p>  <p>Obere Lage: max. 9,05cm²/m</p> 	<p>Untere Lage: max. 7,24cm²/m</p>  <p>Obere Lage: max. 2,28cm²/m</p> 

*Ergänzende Erklärung zu den Methoden beim Steifezifferverfahren:

Der erste Parameter c1 entspricht in etwa der Winklerschen Bettung und ist mit den Querverschiebungen verbunden. Der Parameter c2 ist mit den zweiten Ableitungen der Verschiebungsfunktionen gekoppelt. Während die erste Variable nur die vertikale Federwirkung abbilden kann, ist die zweite Variable in der Lage, die Schubtragwirkung des Baugrundes in die Bettungsgleichung einfließen zu lassen. Geht die Reichweite der Setzungsmulde hingegen gegen unendlich, wird auch c2 unendlich. Die Setzungsänderungen und auch die Setzungen selbst gehen dann gegen null.

Die Schwierigkeit dieses Modells liegt letztlich in der richtigen Festlegung von c2. Für lockeren Sand geht z. B. c2 gegen null. Für feste Gesteinsarten kann c2 den Wert 1,0·c1 annehmen. Für eine mittlere Schubtragwirkung ist c2= 0,5·c1 sinnvoll.

Bei der Methode von Pasternak oder Barwaschow werden die Parameter c1 und c2 über den Steifemodul und Querdehnzahl errechnet. Dies ist natürlich ein großer Vorteil im Vergleich zu einer Abschätzung der Parameter von c1 und c2.

Verfahren nach Pasternak:

$$c_1 = \frac{E}{H \cdot (1 - 2 \cdot \mu^2)} \text{ in } \left[\frac{kN}{m^3} \right]$$

$$c_2 = \frac{E \cdot H}{6 \cdot (1 + \mu)} \text{ in } \left[\frac{kN}{m} \right]$$

Verfahren nach Barwaschow:

$$c_1 = \frac{E}{H \cdot (1 - \mu^2)} \text{ in } \left[\frac{kN}{m^3} \right]$$

$$c_2 = \frac{E \cdot H}{20 \cdot (1 - \mu^2)} \text{ in } \left[\frac{kN}{m} \right]$$

mit

$$E = \frac{1 + \mu}{1 - \mu} \cdot (1 - 2 \cdot \mu) \cdot E_S \quad E\text{-Modul}$$

$$E_S \quad \text{Steifeziffer des Bodens}$$

$$H \quad \text{Höhe der Bodenschicht}$$

$$\mu \quad \text{Querkontraktionszahl, in der Regel } \mu = 0,3$$

In der Bodenmechanik wird sowohl der E-Modul als auch der Steifemodul ES verwendet.

Nach Hettler besteht zwischen Beiden folgende Beziehung:

$$E_S = \frac{E_0 \cdot (1 - \mu)}{(1 + \mu) \cdot (1 - 2\mu)}$$