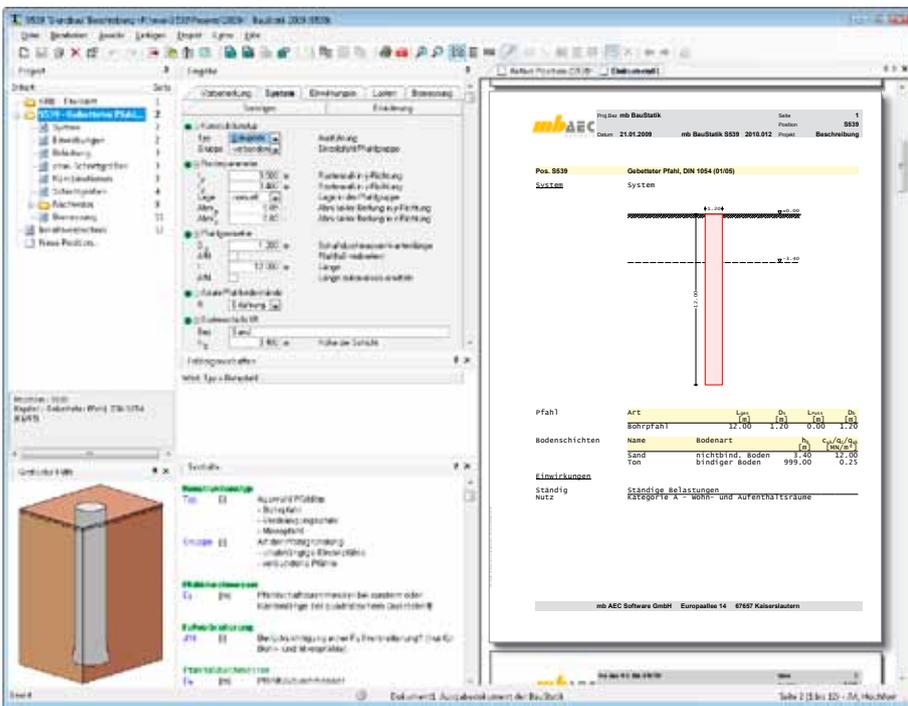


S539 Stahlbeton-Pfahl, elastisch gebettet, DIN 1045-1, DIN 1054 (01/05)

Leistungsbeschreibung des BauStatik-Moduls S539 von Dipl.-Ing. (FH) Markus Öhlenschläger



Pfahlgründungen dienen zur Übertragung von Bauwerkslasten in tieferliegende, tragfähigere Bodenschichten. Vertikale Gründungslasten werden durch Mantelreibung und Spitzendruck in den Baugrund übertragen. Greifen darüber hinaus auch horizontale Lasten oder Momente am Pfahlkopf an, so ist der Pfahl horizontal elastisch zu lagern. Das Programm ermittelt die Tragfähigkeit des Baugrundes für axial und quer beanspruchte Pfähle und führt die erforderlichen Nachweise. Grundlage der Berechnung der Tragfähigkeit im Baugrund ist die DIN 1054 [1]. Die innere Tragfähigkeit des Pfahls wird über die Bemessung nach DIN 1045-1 [2] sicher gestellt.

System

Das Programm ermöglicht die Nachweisführung von Pfahlgründungen, die sowohl axial als auch quer zur Pfahlachse beansprucht werden. Hierfür stehen als Pfahltypen Bohrpfähle und Verdrängungspfähle nach DIN 1054 [1] Abs. 8.4.4 zur Verfügung.

Bohrpfähle können mit einem beliebigen runden Querschnitt nachgewiesen werden. Wahlweise kann eine Fußverbreiterung zur Steigerung des Spitzenwiderstandes gewählt werden.

Bei den Verdrängungspfählen kann neben einem runden auch ein quadratischer Querschnitt mit beliebiger Kantenlänge berechnet werden.

Der nachzuweisende Pfahl liegt in ebenem Gelände, wobei der Bodenaufbau horizontal geschichtet definiert werden kann. Wahlweise kann auch Grundwasser berücksichtigt werden. Für jede Schicht werden die notwendigen Bodenparameter abgefragt.

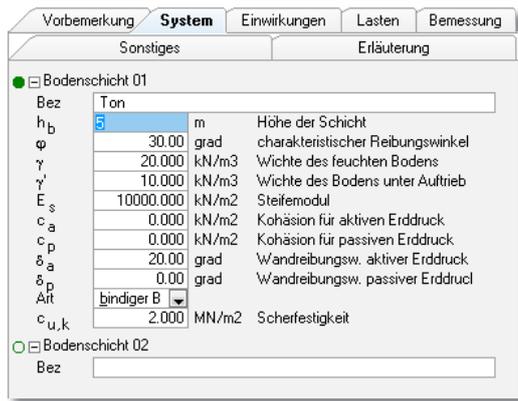


Bild 1. Eingabe Bodenschicht

Axiale Pfahlwiderstände

Die axialen Pfahlwiderstände werden für die Nachweisführungen für druckbeanspruchte Pfähle durch eine Widerstands-Setzungs-Linie sowie für zugbeanspruchte Pfähle durch eine Widerstands-Hebungs-Linie abgebildet. Ermittelt werden die Widerstands-Linien für Druck- und Zugbeanspruchung wahlweise über einen der folgenden drei Wege:

1. Liegen Ergebnisse aus statischen Probebelastungen vor, so können diese als Grundlage verwendet werden. Jede Probebelastung setzt sich aus Setzungs- bzw. Hebungsstufe mit zugehöriger Last zusammen. Nach DIN 1054 [1] Abs. 8.4.2 wird daraus die charakteristische Widerstands-Setzungs-(Hebungs-)Line abgeleitet. Für Zug- und Druckbeanspruchungen können separate Werte vorgegeben werden.

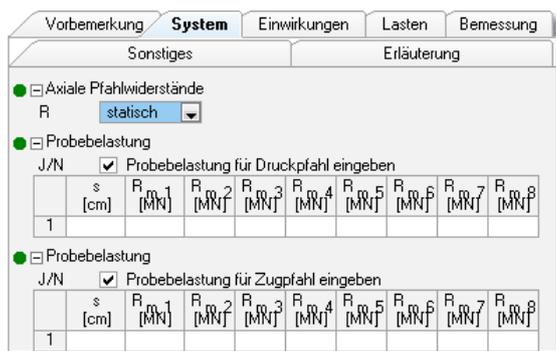


Bild 2. Ergebnisse aus statischer Probebelastung

2. Liegen keine Ergebnisse aus Probebelastungen vor, kann der charakteristische, axiale Pfahlwiderstand auf Grundlage von Erfahrungswerten nach DIN 1054 [1] Abs. 8.4.4 ermittelt werden. Je nach Typ wird die Widerstands-Setzungs-(Hebungs-) Line nach DIN 1054 [1] Anhang B für Bohrpfähle und nach Anhang C für Verdrängungspfähle bestimmt.

3. Bei vorliegender charakteristischer Widerstands-Setzungs-(Hebungs-)Line, z.B. vom Bodengutachter vorgegeben, kann diese als Grundlage direkt im Programm eingetragen werden. Auch hier können für Zug- und Druckbeanspruchungen separate Linien vorgegeben werden.

Pfahlwiderstände quer zur Pfahlachse

Durch horizontale Lasten und Momente entstehen Beanspruchungen, die ebenfalls in den Baugrund zu übertragen sind. Hierzu wird der Pfahl über seine Länge gebettet gelagert. Für jede Bodenschicht ist ein Steifemodul vorzugeben. Somit kann über die Pfahlänge mit veränderlichem Steifemodul gearbeitet werden. Nach DIN 1054 [1] Abs. 8.4.5 wird über das Steifemodul E_s das Bettungsmodul k_{s,k} bestimmt.

Für die Festlegung der elastischen Bettung ist zu beachten, dass die aus der Beanspruchung resultierende Normalspannung σ_{h,k} zwischen Pfahl und Boden nicht die Erdwiderstandsspannungen e_{ph,k} übersteigt. Ist dies der Fall, wird automatisch vom Programm der Bettungswert bzw. das Steifemodul reduziert, bis die Randbedingung eingehalten ist.

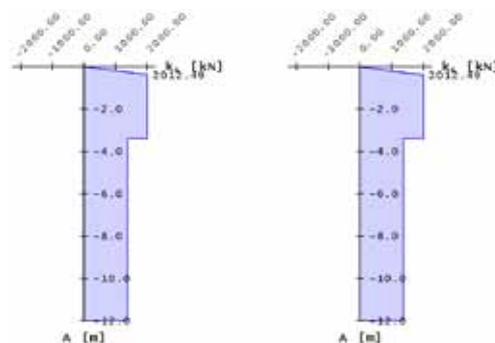


Bild 3. Reduzierte Bettungswerte

Belastungen

Als Belastungen können axiale Kopfbeanspruchungen in Form von Normalkräften (Zug- oder Druckbeanspruchungen) eingetragen werden. Nur für druckbeanspruchte Pfähle kann nach

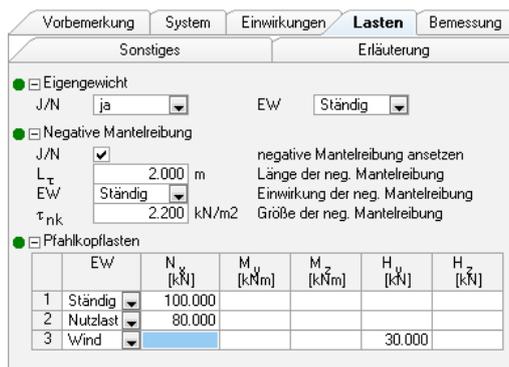


Bild 4. Lasteingabe am Pfahlkopf

DIN 1054 Abs. 8.3.1 die Eigenlast vernachlässigt werden. Für Zugbeanspruchte ist sie somit erforderlich, daher erfolgt wahlweise eine automatische Ermittlung der Pfahleigenlast.

Darüber hinaus sind bei horizontal gebetteten Pfählen auch Momente und Horizontallasten am Kopf möglich. Es sind jeweils zweiachsig horizontale Lasten und Momente möglich.

Negative Mantelreibung

Sobald sich der umgebende Baugrund relativ zum Pfahl überwiegend vertikal bewegt, sind nach DIN 1054 Abs. 8.3.3 Schubkräfte auf die Mantelfläche anzusetzen. Diese sind in der Tiefe bis zu dem „neutralen Punkt“ zu berücksichtigen. Mit Vorgabe der Lage des neutralen Punktes wird vom Programm die Wirkung der negativen Mantelreibung $\tau_{n,k}$ berücksichtigt:

Näherung für bindige Böden:

$$\tau_{(n,k)} = \alpha \cdot c_{(u,k)}$$

Näherung für nichtbindige Böden:

$$\tau_{(n,k)} = \beta \cdot \sigma'_v \cdot k_0 \cdot \tan(\varphi'_k)$$

Mit:

$c_{u,k}$	charakteristische Scherfestigkeit des Bodens
α	Anpassungsfaktor für bindige Böden
σ'_v	effektive Vertikalspannung
k_0	Erdrudruckbeiwert
φ'_k	charakteristischer Reibungswinkel des Bodens
β	Anpassungsfaktor für nichtbindige Böden

Negative Mantelreibung wird als ständige Belastung bei der Nachweisführung behandelt. Beträgsmäßig kann diese nicht größer als die positive lastabtragende Mantelreibung werden.

Einwirkungen

Auf Grundlage von selbst definierten Einwirkungen werden durch das Programm alle möglichen Kombinationen automatisch erzeugt. Die Einwirkungen werden einem Typ gemäß DIN 1055-100 zugeordnet. Dabei stehen neben ständigen Einwirkungen auch die veränderlichen Einwirkungen nach Tabelle A.2 nach DIN 1055-100 sowie selbstdefinierte Einwirkungen zur Verfügung.

Alle Belastungen werden jetzt als charakteristische Werte eingetragen und einer Einwirkung zugeordnet. Durch Gruppenzuweisung können auch Einwirkungen erzeugt werden, die sich gegenseitig ausschließen und somit nicht gleichzeitig in derselben Kombination enthalten sind. Für die geotechnischen Nachweise werden gemäß DIN 1054 Abs. 6.3.1 drei Einwirkungskombinationstypen unterschieden:

- Regel-Kombination EK1: Ständige sowie während der Funktionszeit regelmäßig auftretende veränderliche Einwirkungen.
- Seltene Kombination EK2: Außer den Einwirkungen der Regel-Kombination seltene oder einmalige planmäßige Einwirkungen.
- Außergewöhnliche Kombination EK3: Außer den Einwirkungen der Regel-Kombination eine gleichzeitig mögliche außergewöhnliche Einwirkung, insbesondere bei Erdbeben, Katastrophen oder Unfällen.

Jede automatisch gebildete Kombination wird entsprechend der beinhalteten Einwirkungen typisiert. Somit bilden alle Kombinationen, bei denen keine außergewöhnliche Einwirkung enthalten ist, eine Regel-Kombination (EK1). Ist eine außergewöhnliche Einwirkung enthalten, so wird diese als außergewöhnliche Kombination (EK3) behandelt.

Geotechnische Nachweise

Weiterhin ist für die Nachweise gemäß DIN 1054 [1] Abs. 6.3.2 die Sicherheitsklasse (SK) für Widerstände festzulegen. Diese Klassifizierung spiegelt das angestrebte Sicherheitsniveau wider. Nach DIN 1054 stehen die folgenden drei Klassen zur Wahl:

- Sicherheitsklasse 1: Auf die Funktionszeit des Bauwerks angelegte Zustände (SK 1)
- Sicherheitsklasse 2: Bauzustände bei der Herstellung oder Reparatur des Bauwerks (SK 2)
- Sicherheitsklasse 3: Während der Funktionszeit einmalig oder voraussichtlich nie auftretende Zustände (SK 3)

Pfähle, die dauerhaft zur Gründung von Tragwerken herangezogen werden, sind üblicherweise der Sicherheitsklasse 1 zugeordnet.

Für die geotechnische Nachweisführung benötigt das Programm den Lastfall (LF), für die nachzuweisende Situation. In der DIN 1054 [1] werden drei Lastfälle beschrieben, welche sich aus den Einwirkungskombinationen in Verbindung mit den Sicherheitsklassen ergeben. Es wird unterschieden in:

- Lastfall 1: ständige Bemessungssituation (LF 1)
- Lastfall 2: vorübergehende Bemessungssituation (LF 2)
- Lastfall 3: außergewöhnliche Bemessungssituation (LF 3)

Durch die Auswahl der Sicherheitsklasse (SK) und Typisierung der gebildeten Einwirkungskombinationen (EK) wird für jeden Nachweis automatisch der zutreffende Lastfall bestimmt. Für definierte Kombinationstypen mit Bemessungswerten der Belastung kann der zu untersuchende Lastfall manuell vorgegeben werden.

Grenzzustand der Tragfähigkeit im Grenzzustand 1B

Die Sicherheit gegen Bruch des umliegenden Bodens ist für den Pfahl nachzuweisen.

$$E_{(1,d)} \leq R_{(1,d)}$$

$E_{1,d}$ Bemessungswert der Beanspruchung

$R_{1,d}$ Bemessungswert des Pfahlwiderstandes

Der Pfahlwiderstand wird entsprechend der DIN 1054 Abs. 8.4.7 bestimmt. Für den Bemessungswert der Tragfähigkeit im Grenzzustand wird der Teilsicherheitsbeiwert γ_p sowohl für den Spitzendruck als auch für die Mantelreibung angesetzt.

Über den axialen Lastabtrag hinaus, ist bei gebetteten Pfählen entsprechend DIN 1054 Abs. 8.5.2 auch der horizontale Lastabtrag nachzuweisen. Hierzu ist sicherzustellen, dass der seitliche Bodenwiderstand nicht den bis zur entsprechenden Einbindetiefe möglichen Erdwiderstand übersteigt.

$$B_{(h,d)} \leq E_{(ph,d)}$$

$B_{1,d}$ Bemessungswert der Beanspruchung

$R_{1,d}$ Bemessungswert des Pfahlwiderstandes

Als entsprechende Einbindetiefe ist der Teil der Pfahllänge bis zum Drehpunkt zulässig. Ebenso wird bei der Berechnung sichergestellt, dass die charakteristischen Normalspannungen zwischen Pfahl und Boden nicht die charakteristischen Erdwiderstandsspannungen übersteigen, siehe DIN 1054 [1] Abs. 8.5.2 (1). Dies wird automatisch durch iterative Reduzierung der vorgegebenen Bettungsverteilung ermöglicht.

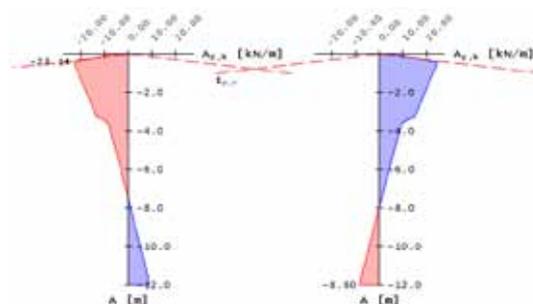


Bild 5. Anpassung der Bettungsspannung

Nachweis des angehängten Bodens bei Zugpfählen im Grenzzustand 1A

Bei der Nachweisführung von zugbeanspruchten Pfählen innerhalb einer Gruppe ist zu überprüfen, ob die Eigengewichtskraft des durch die Mantelreibung am Pfahl angehängten Bodens ausreicht die Zugkraft aufzunehmen.

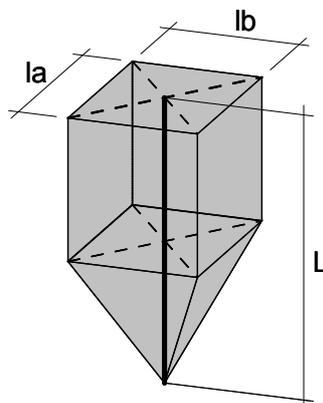


Bild 6. Geometrie des an einem Einzelpfahl aufgehängten Bodens

Sofern eine Einwirkungskombination mit resultierenden, abhebenden Pfahlkopfbeanspruchungen entsteht ist der Nachweis nach DIN 1054 Abs. 8.5.4 (2) zu führen. Der Nachweis ist separat auszuwählen und erfordert einige spezielle Angaben, wie die Abstände zu benachbarten Pfählen.

Nachweis der Gebrauchstauglichkeit im Grenzzustand 2

Für die Nachweisführung von Pfählen ist die Gebrauchstauglichkeit über die zu erwartende Setzung des Bauteils nachzuweisen.

Die Nachweisführung erfolgt nach DIN 1054 Abs. 8.6 auf charakteristischem Lastniveau.

$$E_{2,d} = E_{2,k} \leq R_{2,d} = R_{2,k}$$

$E_{2,k}$ charakteristische Einwirkungskombination

$R_{2,k}$ charakteristischer Pfahlwiderstand

Ermittelt wird der charakteristische Pfahlwiderstand auf Grundlage der Widerstands-Setzungslinie für die vorgegebene Grenzsetzung $s_{2,k}$.

Bemessung

Für die Pfähle kann neben der geotechnischen Nachweisführung auch die Stahlbetonbemessung durchgeführt werden. Die Bemessung erfolgt auf Grundlage der DIN 1045-1 [2].

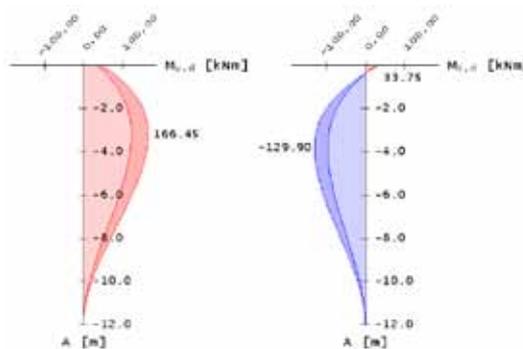


Bild 7. Momentenverlauf über Pfahllänge

Horizontale Normalkräfte und Momente am Kopf erzeugen durch die horizontale Bettung über die Pfahllänge Biege- und Querkraftbelastungen.

