

Die Fundamentbemessung  
auf ein neues Level heben

mit dem neuen FD+ PRO

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>Die wesentlichen Erweiterungen</b>	<b>4</b>
In aller Kürze	4
Im Überblick	4
Im Detail	
I. Durchstanzen durch eine Weichschicht	5
II. Seismischer Grundbruch	6
III. Gleitnachweis in der geneigten Sohlfuge	7
IV. Vierseitige Geländedefinition	7
V. Erddruckansatz auf Stirnflächen	8
VI. Benutzerdefinierte Sohlwiderstände auf Grundlage genauer Nachweise	9
VII. Grafische Darstellung von Schnittgrößen, Sohlspannungen und Setzungen	10

# Einleitung

Mit dem neuen Zusatzmodul FD+ PRO wird der Leistungsumfang von Fundamentbemessungen (FD+, FDS+, FDB+ und GBR+) wesentlich erweitert. Hierfür wurden bei verschiedenen Grenzzuständen spezielle Fundamentnachweise und Nachweistechiken sowie zusätzliche Lastansätze, Geometriedefinitionen und Ergebnisdarstellungen ergänzt.

Alle Funktionen aus dem neuen FD+ PRO sind mit der Software-Version R2023-1 vollumfänglich in den PLUS-Oberflächen der Fundamentprogramme integriert. Es handelt sich beim FD+ PRO also nicht um ein eigenständiges, separates Berechnungsmodul, sondern um ein Add-On, durch das mit Erwerb einer Zusatzlizenz der Leistungsumfang der Fundamentprogramme FD+, FDS+, FDB+ und GBR+ wesentlich erweitert wird. Eine gesonderte Freischaltung der Zusatzoptionen in den Programmoberflächen ist nicht erforderlich.

Alle genannten Funktionen und Nachweise sind auch sichtbar und steuerbar, wenn die Zusatzlizenz für FD+ PRO noch nicht erworben wurde. In diesem Fall erscheint bei Nutzung einer der erweiterten Funktionen ein Dialog, mit dem ein kostenloser, 30-tägiger Demozeitraum gestartet werden kann. Nach Ablauf dieser Testphase werden die Zusatzoptionen automatisch wieder deaktiviert, wenn in der Zwischenzeit keine Lizenz erworben wurde.

Einige Zusatzoptionen werden erst sichtbar und wählbar, wenn die erforderlichen geometrischen bzw. belastungsmäßigen Grundvoraussetzungen geschaffen wurden. So ist der Nachweis „Durchstanzen durch eine Weichschicht“ beispielsweise erst anwendbar, wenn eine entsprechende Bodenschichtung definiert wurde. Der Nachweis „seismische Grundbruch“ kann erst geführt werden, wenn eine entsprechende Erdbelastung vorhanden ist.

Sohlneigungen oder eine vierseitige Geländedefinitionen können optional in den Systemeigenschaften (bei der Fundament- bzw. Geländedefinition) aktiviert und vorgegeben werden. Die Aktivierung von Erddrücken erfolgt in den Bemessungsoptionen unter der Rubrik „Erddruck“. Die Optionen zur Erzeugung von benutzerdefinierten Sohlwiderstandstabellen finden sich in der Systemeingabe unter der Rubrik „Boden“ (Ermittlung von  $\sigma_{Rd}$  aus eigener Tabelle).

# Die wesentlichen Erweiterungen.

## In aller Kürze.

- Durchstanzen durch eine Weichschicht
- Seismischer Grundbruch
- Nachweis in der geneigten Sohle (Ersatzscherfuge)
- Ansatz von Erddrücken und Erdwiderständen auf Stirnflächen
- Vierseitige Geländemodellierung
- Ableitung von benutzerdefinierten Sohlwiderständen auf Grundlage genauer Nachweise
- Grafische Darstellung der Schnittgrößenverläufe entlang der Hauptachsen

## Im Überblick.

Mit Hilfe des Zusatzmoduls können der Grundbruchwiderstand unter Berücksichtigung des Durchstanzens durch eine Weichschicht (DIN 4017 Anhang B) sowie ein seismischer Grundbruch bei Einwirkungen aus Erdbeben (DIN EN 1998-5 Anhang F) berechnet werden. Des Weiteren lässt sich auch eine geneigte Sohlfläche definieren. In dieser kann dann der Gleitnachweis an der „Ersatzscherfuge“ unter Berücksichtigung von Erdwiderständen geführt werden.

Seitens der Einwirkungen können an allen Stirnflächen je nach Bewegungsrichtung verschiedene Erddruckansätze in allen Nachweisen berücksichtigt werden. In dieser Verbindung lassen sich auch an jeder der vier Fundamentseiten ein beliebiger Geländeverlauf modellieren und hieraus seitenabhängige Erddruckverläufe und Grundbruchwiderstände ermitteln.

Auf Grundlage der genauen Nachweise im GZT (Gleiten, Grundbruch) und dem Setzungsnachweis im GZG können benutzerdefinierte Tabellen zulässiger Sohlwiderstände in Abhängigkeit von effektiver Fundamentbreite und Einbindetiefe abgeleitet werden. Dies ist z.B. für die Erstellung von geotechnischen Berichten oder Bemessungstabellen hilfreich.

Hinsichtlich der Ergebnisauswertung lassen sich entlang der beiden Hauptachsen Schnittgrößen-, Sohlspannungs- und Setzungsverläufe grafisch ausgeben.

# Im Detail.

## I. Durchstanzen durch eine Weichschicht

Dieser Nachweis kann geführt werden, wenn eine Bodenschichtung unterhalb der Fundamentsohle vorhanden ist. Wird ein weicher oder breiiger bindiger Boden von einer dünnen, festeren Deckschicht mit einem Reibungswinkel von mehr als  $25^\circ$  überlagert, so muss der Grundbruchnachweis auch nach der Durchstanzbedingung geführt werden.

Das Einhalten dieser Durchstanzbedingung im Grundbruchnachweis hängt von den geometrischen Verhältnissen ab und muss immer dann erfüllt werden, wenn die Schichtdicke der steifen Deckschicht weniger als die zweifache Fundamentbreite beträgt.

Die Berechnung erfolgt nach DIN 4017 Anhang B. Bei diesem Nachweis werden ausschließlich die beiden Bodenschichten direkt unter dem Fundament untersucht. Ausgehend von der „normalen“ Grundbruchwiderstandsformel werden bei der Durchstanzbedingung 2 Beiwerte  $A^*$  und  $B^*$  ergänzt, deren Berechnung wesentlich von der Fundament- und Deckschichtsteifigkeit abhängt.

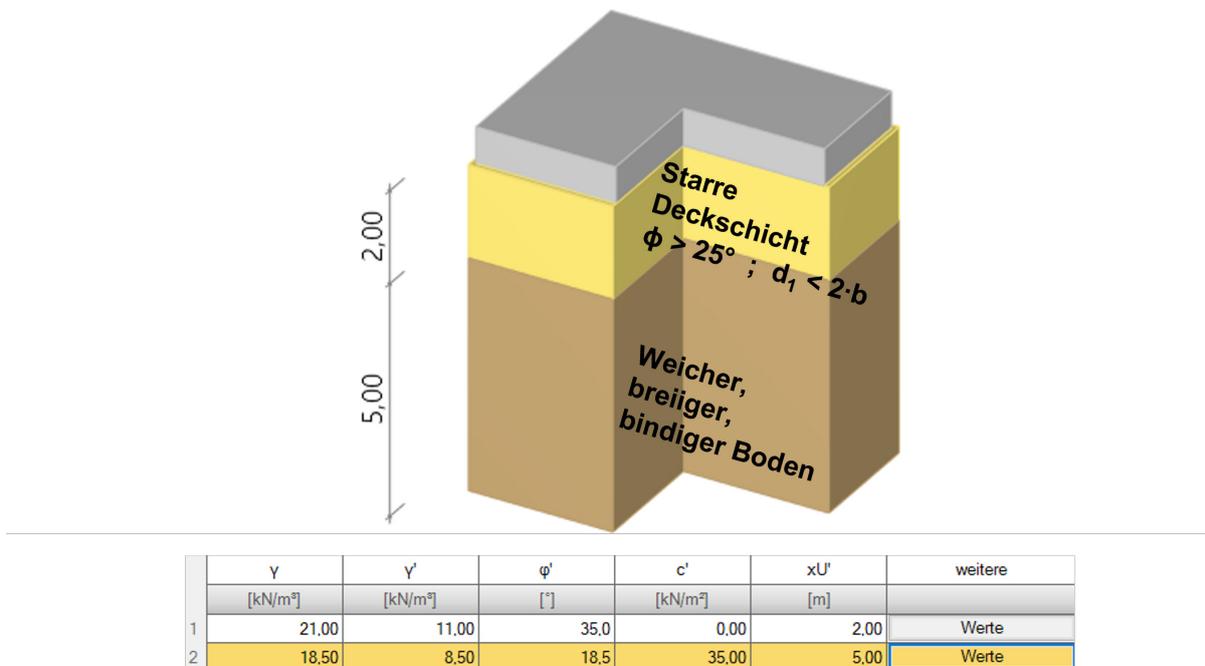


Abbildung 1: Schichtdefinition für Grundbruchnachweis mit Durchstanzbedingung

## II. Seismischer Grundbruch

Sind Erdbebenlasten definiert und ist der Grundbruchnachweis aktiviert, so kann auch der seismische Grundbruchnachweis geführt werden. Die Berechnung erfolgt nach EN 1998-5 Anhang F. Dabei wird die Standfestigkeit gegen seismisch induzierten Grundbruch eines flachgegründeten Streifenfundament auf der Oberfläche eines homogenen Bodens nachgewiesen.

Beim seismischen Grundbruchnachweis werden Bodenfestigkeit und Bemessungsschnittkräfte in der Gründungsebene mit den Trägheitskräften im Boden verknüpft. Die Grenztragfähigkeit der Gründung, die Boden-Trägheitskräfte, der Modell-Teilsicherheitsfaktor sowie alle weiteren numerischen Modellparameter hängen dabei im Wesentlichen von der vorherrschenden Bodenart ab.

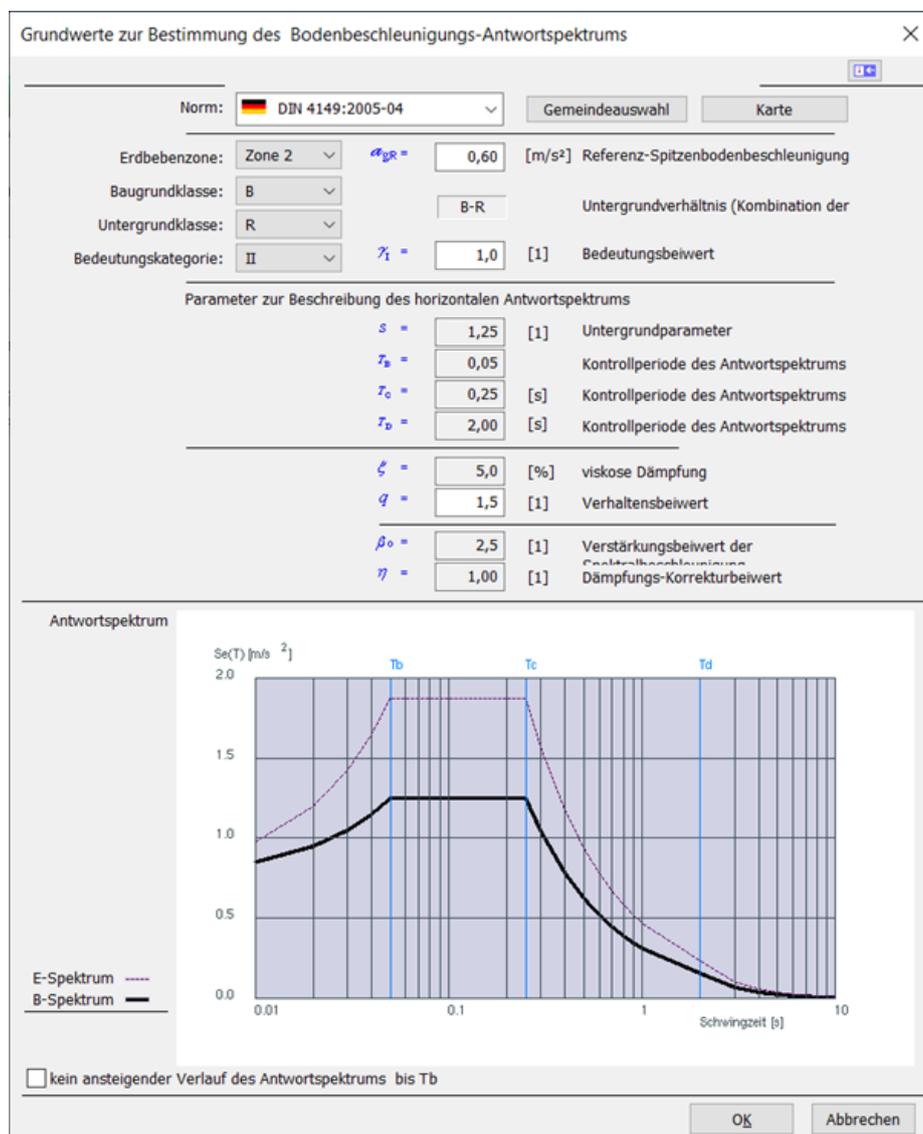


Abbildung 2: Gemeindeauswahl für Grundwerte der Bodenbeschleunigung im seismischen Grundbruch

### III. Gleitnachweis in der geneigten Sohlfuge

Die Neigung der Sohlfuge kann als Winkel in [Grad] oder als Höhensprung in [Meter] wahlweise für eine der beiden Hauptachsen vorgegeben werden. Die geotechnischen Nachweise werden dann unter Berücksichtigung dieser Neigung geführt. Der Gleitsicherheitsnachweis erweitert sich um das Versagen in der horizontalen „Ersatzscherfuge“ ausgehend vom tiefsten Punkt des Fundamentes. Die Stahlbetonbemessung wird hingegen mit der kleinsten Fundamentdicke geführt. Bei der Schnittgrößenermittlung werden der zusätzliche Betonkeil als Eigengewicht sowie der zusätzliche Auftrieb bei Grundwasser oberhalb der Sohle berücksichtigt.

### IV. Vierseitige Geländedefinition

Es besteht die Möglichkeit, das Gelände auf allen vier Seiten individuell zu definieren. Dabei sind unterschiedliche Einbindetiefen, Bermen, konstante Böschungen und polygonal gebrochene Böschungsverläufe möglich. Die Böschungsverläufe werden im Grundbruchnachweis entsprechend berücksichtigt, indem die maßgebende sich ausbildende Grundbruchfigur ermittelt und diese dann mit dem zugehörigen Böschungsverlauf überlagert wird. Die Geländedefinition ist zudem besonders wichtig und relevant für die Erddruckberechnung.

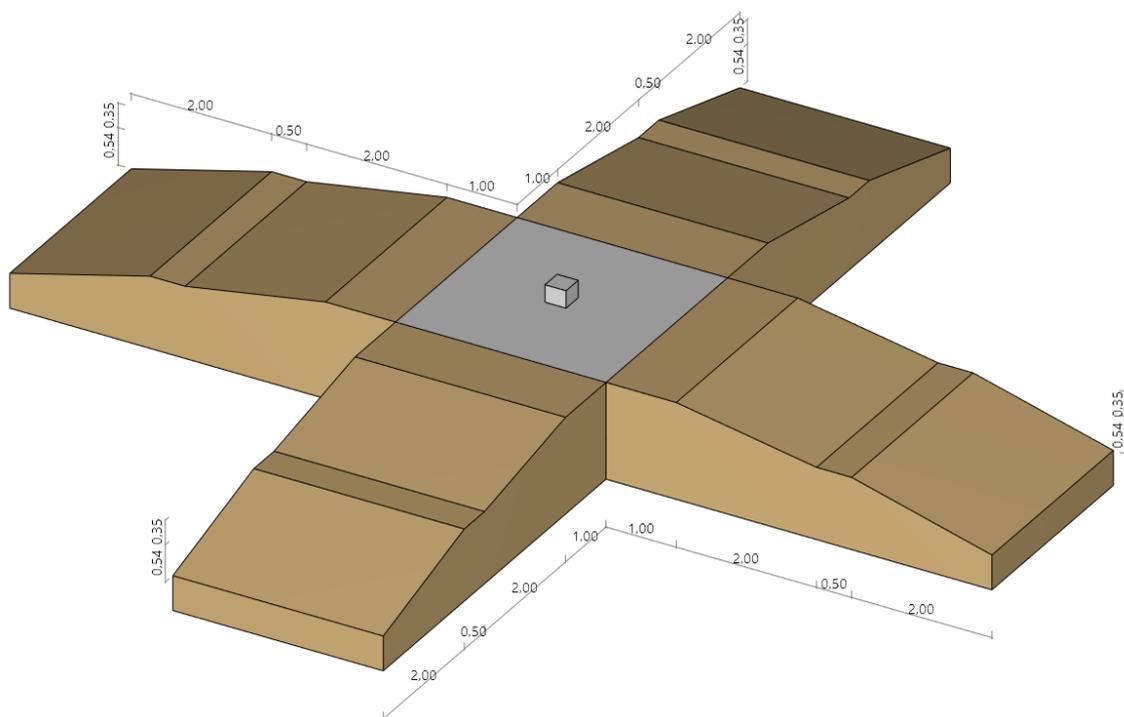


Abbildung 3: Vierseitige Geländedefinition

## V. Erddruckansatz auf Stirnflächen

Es kann ein aktiver Erddruck auf die Stirnfläche des Fundaments zugeschaltet werden. Alternativ kann dies auch ein beliebiger, erhöhter aktiver Erddruck oder ein Erdruhedruck sein. Ergänzend dazu sind besondere Erddruckverläufe wie ein Mindesterdruddruck oder der Verdichtungserddruck wählbar. Des Weiteren lässt sich auf der gegenüberliegenden Seite ein haltender Erdwiderstand ansetzen. Dabei kann der Widerstand infolge passiven Erddrucks für einige Nachweise prozentual unterschiedlich vorgegeben werden. Von der Norm empfohlene Werte (wie beispielsweise maximal 50% beim Grundbruchnachweis) sind voreingestellt.

Auf welcher Fundamentseite aktiver Erddruck und auf welcher Seite passiver Erddruck wirkt, ist abhängig von den horizontalen Lasten des untersuchten Lastfalls bzw. der untersuchten Lastfallkombination. Beim Gleitsicherheitsnachweis wird der mögliche resultierende Erdwiderstand im horizontalen Lastneigungswinkel der einwirkenden horizontalen Lasten berechnet. Bei der Berechnung der Grenzzustände wird der maßgebende Erddruck als resultierende Einzellast an den Fundamentstirnseiten angesetzt. Sollte sich das Gelände an den vier Fundamentseiten unterscheiden, lassen sich dieser Umstand sowie die daraus resultierenden unterschiedlichen Einbindetiefen bei der Erddruckberechnung automatisch berücksichtigen.

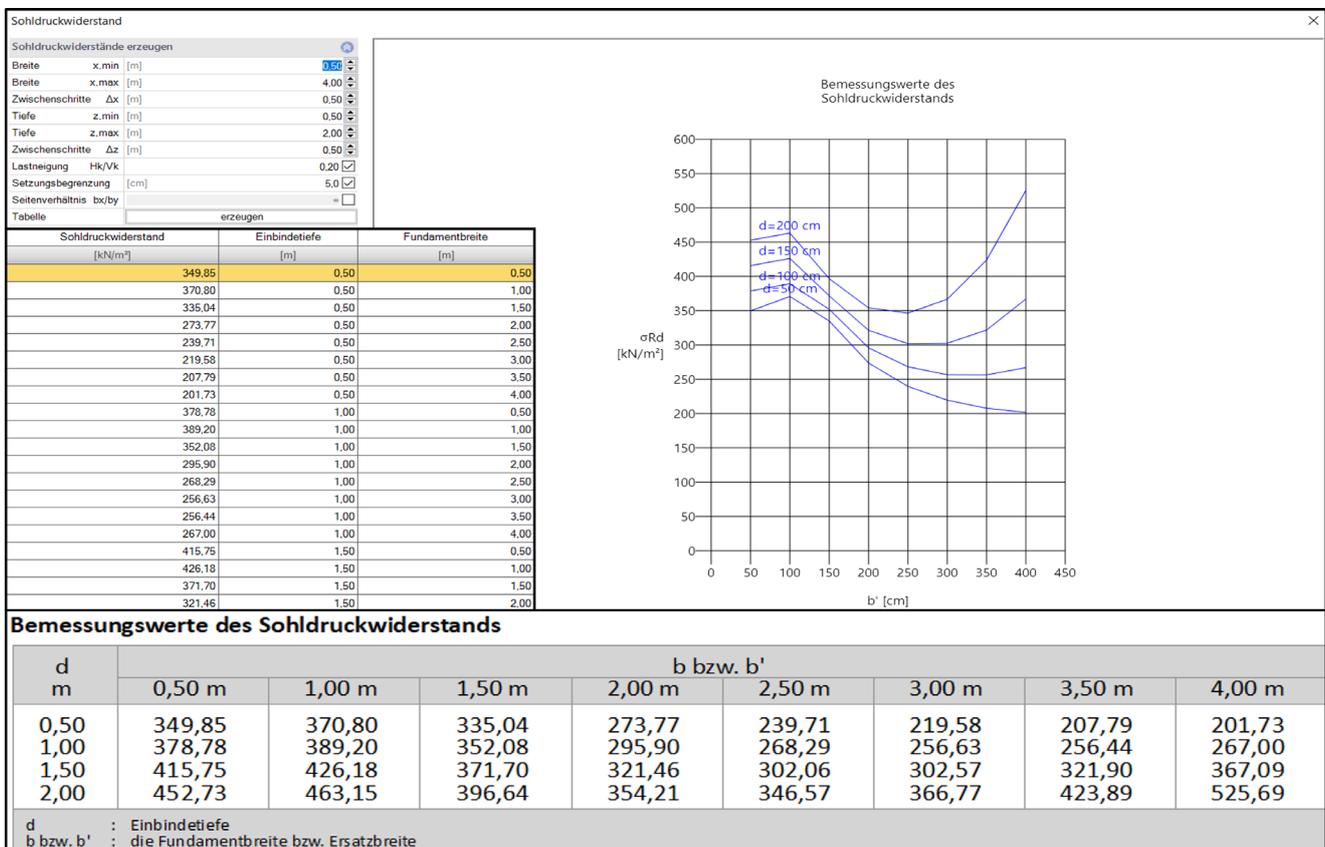


Abbildung 4: Benutzerdefinierte Sohldruckwiderstandstabelle

## VI. Benutzerdefinierte Sohlwiderstände auf Grundlage genauer Nachweise

Innerhalb der Grundparameter kann die Tragfähigkeitsberechnung aktiviert werden. Dies signalisiert dem Programm, dass ein Berechnungsmodus gewählt wurde, in welchem das Fundament nicht mehr bemessen wird. Stattdessen wird die Tragfähigkeit des Bodens in Form einer Tabelle mit Bemessungswerten des Sohldruckwiderstandes (Abb. 4), der aufnehmbaren Sohldrücke und der zulässigen Bodenpressungen für die ständige Bemessungssituation je nach gewählter Norm ausgegeben.

Dabei führt das Programm für verschiedene Fundamentabmessungen und Einbindetiefen Grundbruchnachweise, Gleitsicherheitsnachweise und optional auch Setzungsberechnungen durch. Welche Fundamentabmessungen dabei bis in welche Tiefe und in welchen Inkrement-Schritten untersucht werden, kann der Anwender in einem separaten Sohldruck-Dialog in den Grundparametern vorgeben.

Zunächst ermittelt das Programm den Reibungswinkel der Bodenschicht in der Fundamentsohle und setzt diesen samt Sicherheitsbeiwerten für die ständige Bemessungssituation in die Formel des Gleitsicherheitsnachweises ein. Diese wird so umgestellt, dass sich ein aufnehmbarer charakteristischer Lastneigungswinkel  $H_k/N_k$  ergibt. Mit diesem Winkel werden dann Grundbruchnachweise für verschiedene Fundamentabmessungen und Einbindetiefen geführt. Optional ist der Lastneigungswinkel auch vorgebar.

Zusätzlich werden Setzungsberechnungen unter Berücksichtigung der definierten Bodenschichten geführt. Dabei wird genau die vorgegebene Mächtigkeit der Bodenschichten berücksichtigt. Es wird keine Grenztiefe ermittelt. Durch die Vorgabe einer zulässigen Setzung wird bei der Setzungsberechnung die maximal aufnehmbare Spannung ermittelt und der aufnehmbaren Grundbruchspannung gegenübergestellt. Aus den maßgebenden Spannungen ergibt sich dann die Tragfähigkeit in Abhängigkeit der effektiven Fundamentbreite  $B'$  und der Einbindetiefe  $d$  in Tabellenform.

## VI. Grafische Darstellung von Schnittgrößen, Sohlspannungen und Setzungen

Unter der Rubrik „Ergebnisse“ kann in der Ribbon Bar nun ein grafischer Verlauf der Schnittgrößen (Momente und Querkräfte) entlang der beiden Hauptachsen ausgegeben werden. Wahlweise lässt sich der Schnittgrößenverlauf auch über die Stützenaufstandsfläche ausrunden (wenn z.B. die Bemessung ebenfalls mit ausgerundeten Schnittgrößen erfolgt). Es wird stets eine Einhüllende der Schnittgrößen über alle Bemessungskombinationen (BS-P, BS-T, BS-A oder BS-E je nach Anforderung) oder über die charakteristische Kombination ausgegeben werden. Im Eingabebereich der grafischen Oberfläche kann zudem auch ein lastfallweiser Schnittgrößenverlauf betrachtet werden. Die selbe Vorgehensweise wurde auch zur grafischen Darstellung des Sohlspannungsverlaufs und der Setzungen entlang der beiden Hauptachsen implementiert.

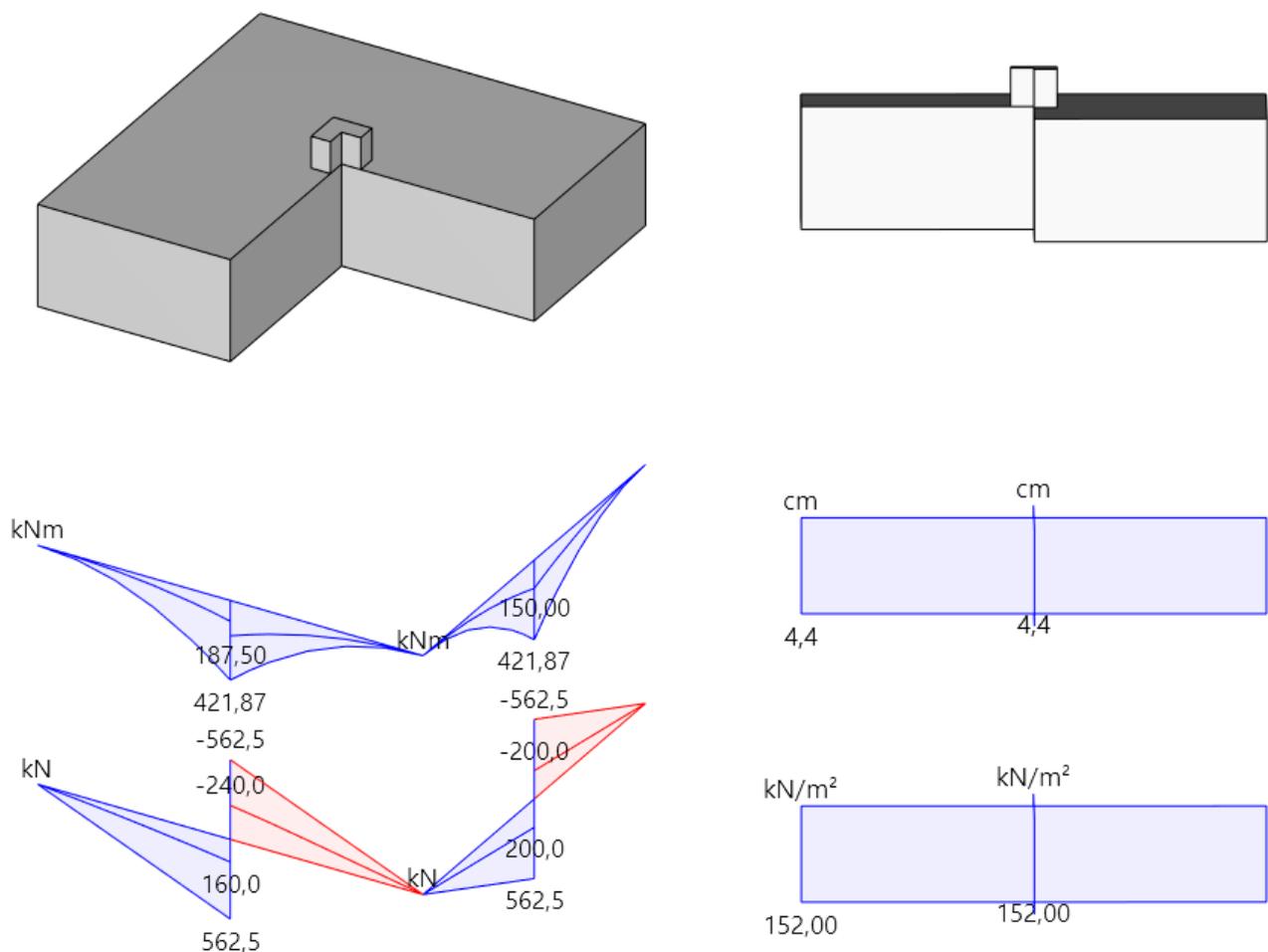


Abbildung 5: Grafische Ergebnisverläufe (Momente, Querkräfte, Bodenpressungen, Setzungen)

**FRILO**   
A NEMETSCHKE COMPANY

---

  
DC-SOFTWARE

FRILO Software GmbH  
Stuttgarter Straße 40  
70469 Stuttgart  
Tel: +49 711 81 00 20  
Fax: +49 711 81 00 230  
[www.frilo.eu](http://www.frilo.eu)  
[info@frilo.eu](mailto:info@frilo.eu)