

# Technischer Bericht

## Umgang mit Bermen in Grundbruchberechnungen

von

Marlene Steggewentz, B.Sc. und Prof. Dr.-Ing. Otfried Beilke

### 1. Einleitung

Der Nachweis „Sicherheit gegen Grundbruch“ ist in der Praxis eines Bauingenieurs häufig zu führen und bereitet in der Regel keine größeren Probleme. Sofern die Fundamente jedoch auf der Oberkante von Böschungen angeordnet sind und ggf. noch Bermen Berücksichtigung finden müssen, kommt es immer wieder zu unterschiedlichen Berechnungsergebnissen. Die Ergebnisse sind dabei abhängig von der jeweiligen Modellbildung. In üblichen Berechnungsprogrammen sind teilweise verschiedene Berechnungsmodelle für Fundamente an Böschungen auswählbar. Die Erfahrungen aus der Tätigkeit als Prüfsachverständiger für Geotechnik zeigen, dass ein grundlegendes Verständnis der Rechenmodelle und der theoretischen Hintergründe notwendig ist, um die Ergebnisse derartiger Berechnungen interpretieren zu können. In diesem Bericht erfolgt eine Darstellung der verschiedenen Rechenansätze anhand eines konkreten Problems aus der Praxis. Die Berechnungen werden mit den Programmen DC-Grundbruch und GGU-Footing durchgeführt und die Ergebnisse gegenübergestellt. In einem letzten Schritt werden zusätzlich zwei- und dreidimensionale numerische Berechnungen mit der Finite-Elemente-Software PLAXIS 2D und 3D durchgeführt vorgenommen und mit den analytischen Ergebnissen verglichen.

### 2. Rechenmodell

Das betrachtete System ergibt sich aus der Gründung eines Bohrpfahlgerätes, welches auf der Oberkante einer Böschung steht (s. Abb. 1). Das Fundament befindet sich direkt auf der Geländeoberfläche und weist eine Breite von 1 m sowie eine Länge von 5 m auf. Die Berme befindet sich links neben dem Fundament mit einer Breite von 2,85 m. Die Böschung bildet sich mit einem Winkel von  $35^\circ$  über eine Höhe von 3,5 m aus. Die Einwirkungen sind auf die Gründungssohle bezogen. In der Fundamentmitte wirken eine ständige Last von  $V_G = 650$  kN, eine vertikale Verkehrslast von  $V_Q = 100$  kN sowie eine ständige Momenteneinwirkung von  $M_{x,G} = 385$  kNm.

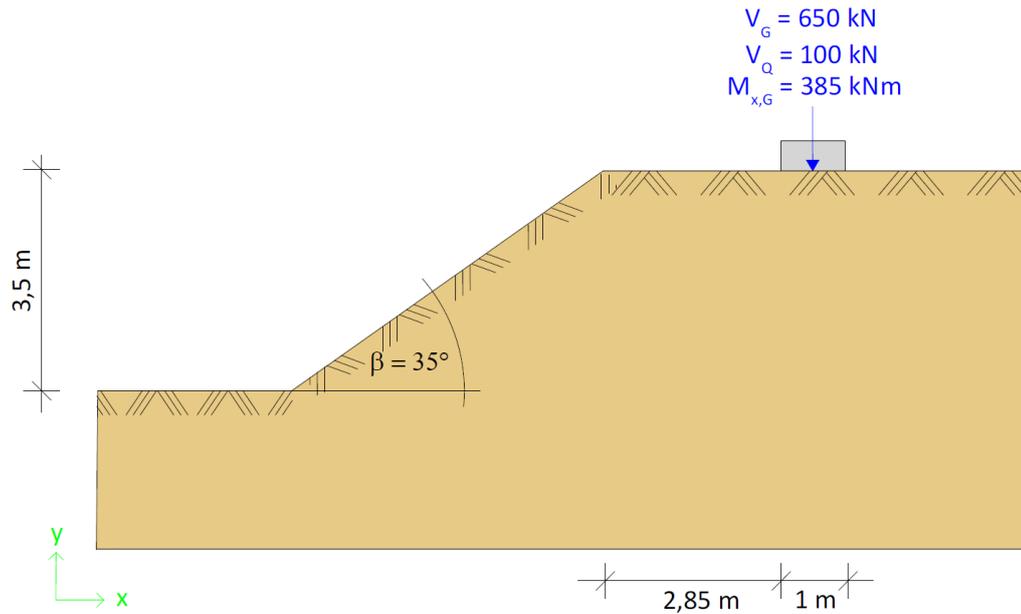


Abb. 1 Geometrie und Einwirkungen des betrachteten Systems

Der Baugrund besteht aus einem mitteldicht gelagerten Sand, dessen Kenngrößen in Tabelle 1 aufgeführt sind.

Tabelle 1 Bodenkennwerte des betrachteten Systems

Parameter	Wert	Einheit
$\gamma$	20	$\text{kN/m}^3$
$\gamma'$	10	$\text{kN/m}^3$
$\varphi$	35	$\text{in } ^\circ$
$c$	0	$\text{kN/m}^2$

### 3. Methode der fiktiven Einbindetiefe (nach DIN 4017)

In der DIN 4017 wird zur Berücksichtigung des Einflusses einer Berme auf die Grundbruchfigur und -sicherheit eine fiktive Einbindetiefe  $d'$  eingeführt (s. Abb. 2). Durch diese fiktive Einbindetiefe ergibt sich eine fiktive Böschung, die direkt an das Fundament anschließt. Die Differenz der fiktiven und der realen Einbindetiefe  $d$  beschreibt die Höhe dieser fiktiven Böschung.







## 5. Methode einer idealisierten Böschung $\beta_2$

Eine zweite Variante einer idealisierten Böschung ist in Abbildung 8 dargestellt.

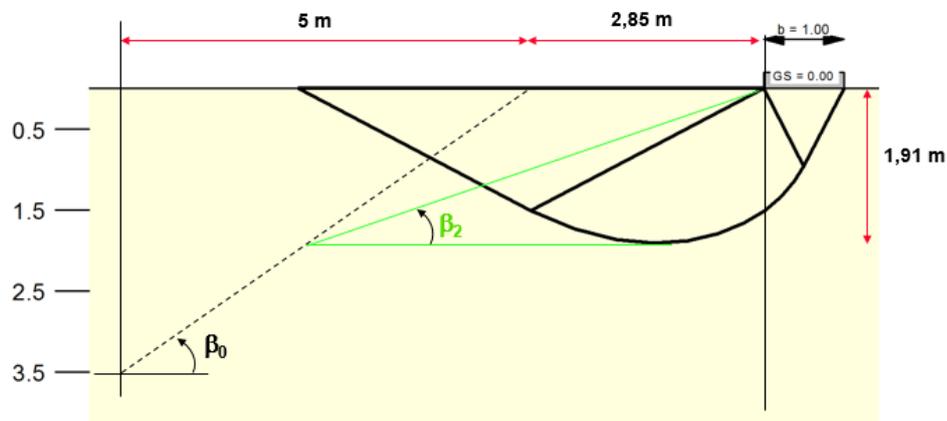


Abb. 8 Herleitung der idealisierten Böschung der Neigung  $\beta_2$

Bei diesem Modell wird angenommen, dass sich die Grundbruchfigur zunächst so ausbildet wie bei einer ebenerdigen Geländeoberfläche. Nach Erreichen des tiefsten Punktes der Gleitfuge läuft diese jedoch nicht nach oben, sondern horizontal. Aus dem Schnittpunkt dieser horizontalen Gleitfuge und der tatsächlichen Böschung mit der Neigung  $\beta_0$  ergibt sich die idealisierte Böschung mit der fiktiven Neigung  $\beta_2$ . In diesem Modell wirkt der Boden oberhalb der idealisierten Böschung ebenfalls als seitlich stützende Auflast. Analog zur „Methode einer idealisierten Böschung  $\beta_1$ “ kann dieses Rechenmodell in dem Programm GGU-Footing direkt ausgewählt werden. Die Berechnung mit DC-Grundbruch erfordert eine manuelle Ermittlung und Eingabe der idealisierten Böschung und der seitlich stützenden Auflast. Die Ergebnisse der Grundbruchberechnungen der beiden Programme sind in den Abbildungen 9 und 10 dargestellt.



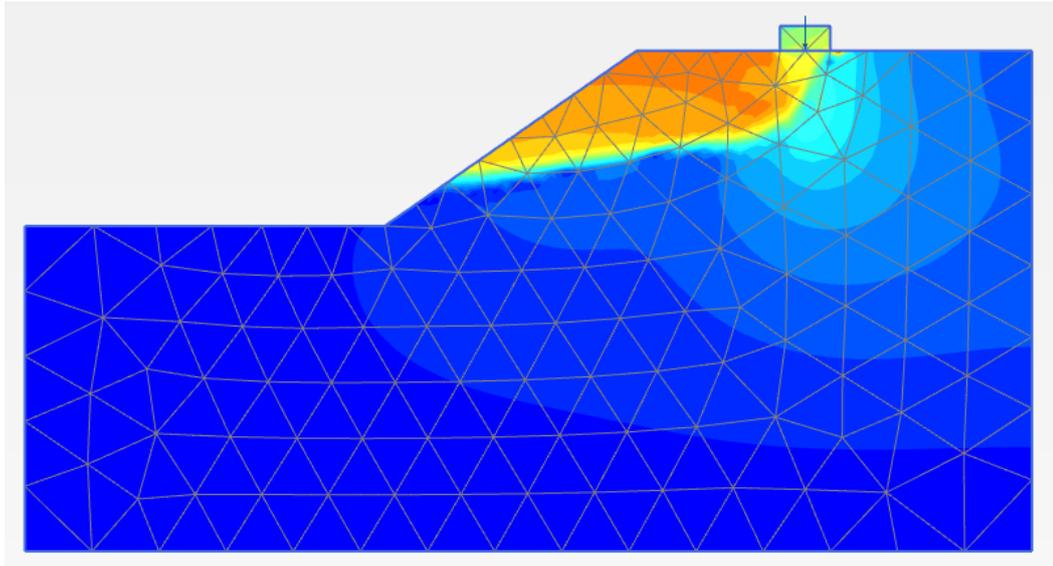


Abb. 11 Visualisierung der Grundbruchfigur in PLAXIS 2D

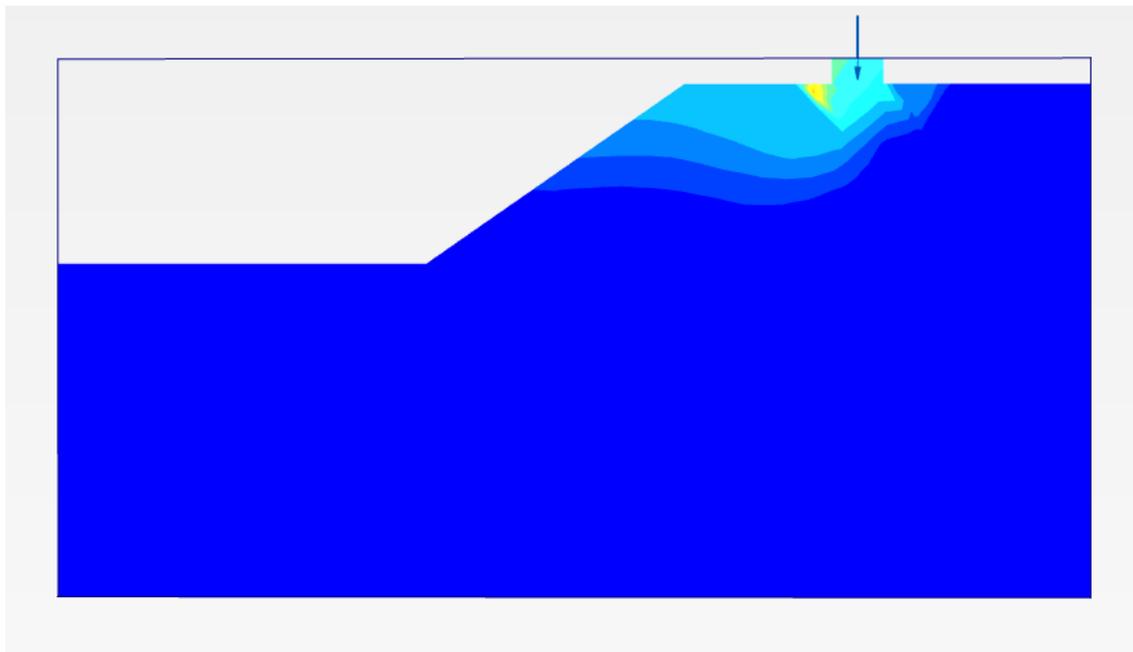


Abb. 12 Visualisierung der Grundbruchfigur in PLAXIS 3D  
– vertikaler Schnitt in Fundamentmitte

Es zeigt sich, dass sich die Grundbruchfigur unter dem Fundament ähnlich ausbildet, wie üblicherweise in Grundbruchberechnungen nach DIN 4017 angenommen. Neben dem Fundament verläuft die Bruchfigur jedoch eher direkt in Richtung der Böschung. Dies bestätigt die Annahmen von idealisierten Böschungsneigungen  $\mu$  und  $\beta_1$  und  $\beta_2$  nach den Berechnungen in den Abschnitten 4 und 5.

Ferner ergeben die numerischen Berechnungen geringere Ausnutzungen als die analytischen Berechnungen. Dies deutet darauf hin, dass die klassischen Berechnungen eher auf der sicheren Seite liegen.

## 7. Fazit

An den Ergebnissen wird ersichtlich, dass die Wahl des Rechenmodells einen wesentlichen Einfluss die rechnerische Sicherheit gegen Grundbruch haben kann. Das verwendete Rechenprogramm spielt grundsätzlich keine Rolle. In Tabelle 2 werden die Ergebnisse der Ausnutzungen aus den verschiedenen Berechnungen gegenübergestellt.

Tabelle 2 Ergebnisse der Ausnutzungen der Grundbruchrechnungen aus den Abschnitten 3 bis 5

	GGU-Footing	DC-Grundbruch
Methode der fiktiven Einbindetiefe $d'$	$\mu = 1,92$ ✖	$\mu = 1,92$ ✖
Methode der idealisierten Böschung $\beta_1$	$\mu = 0,829$ ✔	$\mu = 0,83$ ✔
Methode der idealisierten Böschung $\beta_2$	$\mu = 0,975$ ✔	$\mu = 0,98$ ✔

Wird die Berme über eine fiktive Einbindetiefe berücksichtigt (Ansatz nach DIN 4017), ergibt sich eine Ausnutzung  $\mu \gg 1$  und der Grundbruchnachweis ist rechnerisch nicht erfüllt. Mit einer Berücksichtigung der Berme über idealisierte Böschungen mit den Neigungen  $\beta_1$  bzw.  $\beta_2$  ergeben sich hingegen Ausnutzungen von  $\mu < 1$  und die rechnerischen Grundbruchnachweise sind erfüllt. Die geringste Ausnutzung  $\mu = 0,83$  ergibt sich aus der Berechnung mit der „Methode einer idealisierten Böschung  $\beta_1$ “. Eine Anwendung der „Methode einer idealisierten Böschung  $\beta_2$ “ führt zu einer 18 % höheren Ausnutzung von  $\mu = 0,98$  und einem nur knapp erfüllten Grundbruchnachweis.

Die Grundbruchfiguren der numerischen Berechnungen weisen für den untersuchten Fall eine ähnliche Form auf wie die Grundbruchfigur mit der „Methode einer idealisierten Böschung  $\beta_2$ “. Somit würde eine Berechnung nach der  $\beta_1$ -Methode auf der unsicheren Seite liegen.

Aus den Ergebnissen ergibt sich ferner, dass eine Berechnung nach DIN 4017 zu einem stark auf der sicheren Seite liegenden Ergebnis führen kann und die tatsächlichen Verhältnisse ggf. nur unzureichend abgebildet werden.

Bei einer Verwendung der  $\beta_1$ - bzw. der  $\beta_2$ -Methode kann nicht generell beurteilt werden, ob das Ergebnis auf der sicheren oder auf der unsicheren Seite liegt. Hierzu sind nähere Betrachtungen zum tatsächlichen Bruchmechanismus notwendig. Mit den Möglichkeiten der Methode der Finiten-Elemente ist dies problemlos möglich und unbedingt zu empfehlen. Mit Berechnungen nach der FE-Methode können die wahrscheinlichen Bruchmechanismen einfach visualisiert werden. Die durchgeführten FE-Berechnungen haben zusätzlich zu geringeren Ausnutzungen geführt.

Sofern Fundamente an der Oberkante von Böschungen angeordnet werden, sind zusätzliche Berechnungen mit den Modellen fiktiver Böschungsneigungen ( $\beta$ -Methoden) zweckmäßig, um die Sicherheit gegen Grundbruch möglichst zutreffend einschätzen zu können. Dies bedeutet auch, dass eine wirtschaftliche Dimensionierung nur mit zusätzlichen Betrachtungen möglich ist.

Aktuell werden weitere 3D-FEM-Untersuchungen mit dem Programmsystem PLAXIS 3D durchgeführt.

## 8. Literaturverzeichnis

DIN 4017	2006	Baugrund – Berechnung des Grundbruchwiderstandes von Flachgründungen; DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
M Gab	2014	Merkblatt über Stütz- und Lärmschutzkonstruktionen aus Betonelementen, Blockschichtungen oder Gabionen; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V.; Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau
BEILKE, O.	2021	Skript „Vorlesung Grundbau“, Jade Hochschule, Oldenburg, 2021
BW1 L 361 Frechen	2020	Neubau des Bauwerks 1 in Köln/Frechen (semiintegriertes Brückenbauwerk im Zuge der Landesstraße 361), interner geotechnischer Prüfbericht, ICG Ingenieure GmbH, 2020