

**Sicherheitsnachweise für den
Hydraulischen Grundbruch –
Erweiterung für den räumlichen Fall
und für geschichteten sowie aniso-
tropen Boden**

T 3274

T 3274

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2012

ISBN 978-3-8167-8708-2

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

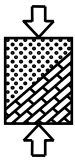
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de



Zeichen:
Au/Zie

Datum:
30.03.2012

Abschlussbericht

- Aktenkennzeichen: P 52-5- 11.73.1-1351/09
- Forschungsvorhaben: „Sicherheitsnachweise für den Hydraulischen Grundbruch
- Erweiterung für den räumlichen Fall und für
geschichteten sowie anisotropen Boden“
- Forschende Stelle: Lehrstuhl für Geotechnik im Bauwesen und
Institut für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und
Verkehrswasserbau der RWTH Aachen (GiB)
Mies-van-der-Rohe-Straße 1
52074 Aachen
- in Zusammenarbeit mit
- Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft
der RWTH Aachen (IWW)
Mies-van-der-Rohe-Straße 1
52074 Aachen
- Bearbeiter: Dipl.-Ing. Benjamin Aulbach (GiB)
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Ziegler (GiB)
Dipl.-Inform. Sarah Horsten (IWW)
Dr.-Ing. Nils Peter Huber (IWW)

Vorwort

Die Untersuchungen wurden vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) gefördert. Der vom DIBt zur Beratung der forschenden Stelle eingesetzten Betreuungsgruppe gehören

Frau Dipl.-Ing. Annette Gandyra von der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin, Oberste Bauaufsicht

und

Herr Dipl.-Ing. Wolfram Faller vom Deutschen Institut für Bautechnik

an. Dem Deutschen Institut für Bautechnik und den Mitgliedern der Betreuungsgruppe sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Ebenso gedankt sei

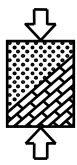
der HPA Hamburg Port Authority,

der Emschergenossenschaft,

der Wayss & Freytag Ingenieurbau AG und

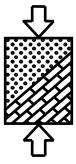
der ICG Düsseldorf GmbH & Co. KG,

die das Vorhaben finanziell unterstützten.



Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Veranlassung	1
1.2	Ziel des Forschungsvorhabens	1
2	Wissenschaftliche Ausgangsbasis und Stand der Kenntnis	2
2.1	Nachweisführung nach EC7 und DIN 1054	2
2.2	Bezeichnungen und Definitionen	4
2.3	Voruntersuchungen	5
2.4	Ergebnisse des vorherigen Forschungsvorhabens	6
3	Entwicklung des FEFLOW®-Moduls	8
3.1	Notwendigkeit	8
3.2	Das Programm FEFLOW®	9
3.3	Moduldetails und Berechnungsablauf	10
3.4	Modelle	16
3.5	Nachweis	20
3.5.1	Nachweis in der Mitte der Längsseite	22
3.5.2	Nachweis in der Mitte der Stirnseite	23
3.5.3	Nachweis in der Ecke	24
3.5.4	Interpolation zwischen den Knoten	25
4	Überprüfung des FEFLOW®-Moduls	26
5	Homogener und isotroper Baugrund – Erweiterung für den räumlichen Fall	29
5.1	Bemessungsdiagramme für homogenen, isotropen Baugrund	32
5.1.1	Günstiger Baugrund mit einer Wichte unter Auftrieb von $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$	33
5.1.2	Ungünstiger Baugrund mit einer Wichte unter Auftrieb von $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$	36
5.2	Interpolationsfunktion für verschiedenen Wichten	39
6	Anisotroper Baugrund	43
6.1	Untersuchungsergebnisse für anisotropen Baugrund	43
6.2	Bemessungshilfen und Empfehlungen für anisotropen Baugrund	45
7	Geschichteter Baugrund	48
7.1	Untersuchungsergebnisse für geschichteten Baugrund	49
7.2	Bemessungshilfen und Empfehlungen für geschichteten Baugrund	52
8	Baugruben mit abgetreppten Verbauwänden	55



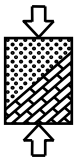
8.1	Abtreppung mit einer Stufe je Seite	57
8.2	Abtreppung mit zwei Stufen auf der Längs- und einer Stufe auf der Stirnseite	59
8.3	Abtreppung mit einer Stufe je Seite und erhöhter Einbindetiefe	61
9	Zusammenfassung.....	63

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Literaturverzeichnis

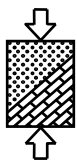
Anhang



Bezeichnungen und Begriffe

Große Lateinische Buchstaben

B	Breite der Baugrube	m
$G'_{stb,k}$	Charakteristische Eigenlast unter Auftrieb des durchströmten Bodenkörpers	kN
$G'_{stb,d}$	Bemessungswert der Eigenlast unter Auftrieb des durchströmten Bodenkörpers	kN
H	Wasserspiegeldifferenz zwischen außer- und innerhalb der Baugrube	m
L	Länge der Baugrube	m
R	Breite des rechten Berechnungsmodellausschnitts	m
S	Mächtigkeit der wasserführenden Schicht unterhalb der Baugrubensohle	m
$S'_{dst,k}$	Charakteristische Strömungskraft im durchströmten Bodenkörper	kN
$S'_{dst,d}$	Bemessungswert der Strömungskraft im durchströmten Bodenkörper	kN
T	Einbindetiefe	m
V	Volumen	m ³

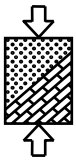


Kleine Lateinische Buchstaben

b	Breite des Boden-/Bruchkörpers	m
d	Dicke der Verbauwand	m
f	Maßstabsfaktor	-
f_s	Strömungskraft	kN/m^3
Δh	abzubauender Potentialunterschied	m
i	hydraulischer Gradient	-
Δl	durchströmte Länge	m
r_a	Lagefaktor für anisotrope Verhältnisse	-
r_s	Lagefaktor für geschichtete Verhältnisse	-

Griechische Buchstaben

$\gamma_{G, \text{stb}}$	Teilsicherheitsbeiwert für günstige ständige Einwirkungen im Grenzzustand GZ1A	-
γ_H	Teilsicherheitsbeiwert für die Strömungskraft bei günstigem bzw. ungünstigem Untergrund im Grenzzustand GZ1A	-
γ'	Wichte unter Auftrieb	kN/m^3
γ_w	Wichte des Wassers	kN/m^3
μ	Ausnutzungsgrad	-



1 Einführung

1.1 Veranlassung

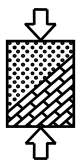
Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Sicherheitsnachweise für den Hydraulischen Grundbruch“ [21] wurden am Lehrstuhl für Geotechnik im Bauwesen (GiB) der RWTH Aachen bereits umfangreiche Untersuchungen zur Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch bei Baugruben angestellt. Diese erfassen für den ebenen Fall homogene, isotrope Verhältnisse für günstigen bzw. ungünstigen Baugrund mit verschiedenen Wichten. Weiterhin wurde für den räumlichen Fall günstiger Baugrund mit einer Wichte unter Auftrieb von $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$ betrachtet. Diese bisherigen Untersuchungen haben gezeigt, dass die Berücksichtigung räumlicher Anströmungsverhältnisse in vielen Fällen nicht vernachlässigt werden darf und gängige vereinfachte Berechnungsmethoden oftmals auf der unsicheren Seite liegen.

Diese Erkenntnis war Anlass dazu, die bisherigen Untersuchungen für den räumlichen Fall fortzusetzen und das im Rahmen dieses Abschlussberichts vorgestellte zweite Forschungsvorhaben zu initiieren. Wie auch beim vorherigen Forschungsvorhaben beruhen die vorgestellten Ergebnisse auf der Auswertung von Strömungsnetzen bzw. Potentialverteilungen, welche durch numerische Berechnungen erhalten wurden.

1.2 Ziel des Forschungsvorhabens

Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, auch für den räumlichen Fall für ungünstigen Baugrund und für verschiedene Wichten Untersuchungen anzustellen und daraus Bemessungshilfen abzuleiten. Mit diesen soll es auf einfache Weise möglich sein, die für die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch erforderliche Einbindetiefe für homogenen, isotropen Baugrund zu ermitteln. Analog zum ersten Forschungsvorhaben soll hierbei eine Differenzierung zwischen den Baugrubenseiten und -ecken erfolgen.

Weiterhin sollen im Rahmen des Forschungsvorhabens auch bezüglich der Durchlässigkeit anisotrope Baugrundverhältnisse sowie geschichteter Baugrund betrachtet werden. Da bei diesen Verhältnissen zusätzliche Variablen wie das Verhältnis der Durchlässigkeiten oder die Lage der Schichtgrenze berücksichtigt werden müssen, vervielfacht sich die Anzahl möglicher Situationen und es können hierfür nur exemplarische Berechnungen durchgeführt werden. Aus diesen Berechnungen sollen Empfehlungen abgeleitet werden, die dazu dienen, passende Eingangswerte für detailliertere Untersuchungen abzuleiten bzw. die Plausibilität genauerer Untersuchungen überprüfen zu können.



Darüber hinaus sollen Untersuchungen zu Verbauwänden mit abgetrepten Verläufen angestellt werden. Daraus sollen Empfehlungen abgeleitet werden, die nicht nur zu einer sicheren, sondern auch zu einer an die tatsächlichen Strömungsverhältnisse angepassten Lösung führen.

2 Wissenschaftliche Ausgangsbasis und Stand der Kenntnis

Die hier vorgestellten Untersuchungen und Erkenntnisse bauen auf dem vorherigen Forschungsvorhaben „Sicherheitsnachweise für den Hydraulischen Grundbruch“ auf. Mit den Ergebnissen dieses vorherigen Forschungsvorhabens ist bereits eine breite wissenschaftliche Ausgangsbasis vorhanden, die in dem dazugehörigen Abschlussbericht [21] ausführlich dokumentiert wurde. Daher werden im Rahmen dieses Abschlussberichts die Erkenntnisse aus dem ersten Forschungsvorhaben vorausgesetzt und nicht nochmals im Detail beleuchtet.

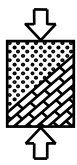
Insbesondere zu Untersuchungen, Näherungsverfahren und Empfehlungen anderer Wissenschaftler, Autoren und Gremien sei auf die umfangreiche Zusammenstellung in [21] verwiesen.

2.1 Nachweisführung nach EC7 und DIN 1054

Im Rahmen der Normenvereinheitlichung in Europa wurden in den letzten Jahren die sogenannten Eurocodes (EC) herausgegeben. Neben Eurocodes die sich mit den Grundsätzen (EC0) oder Einwirkungen (EC1) im Allgemeinen beschäftigen, gibt es auch fachspezifische Eurocodes. Für den Bereich der Geotechnik ist dies DIN EN 1997-1:2009-09 [1] (EC7-1) sowie DIN EN 1997-2:2010-10.

Innerhalb des Bearbeitungszeitraums des Forschungsvorhabens wurden Ende des Jahres 2010 weiterhin der Deutsche Nationale Anhang zum EC7-1 DIN EN 1997-1/NA:2010-12 [2] sowie die zugehörige deutsche Ergänzungsnorm DIN 1054:2010-12 [3] herausgegeben. Die bauaufsichtliche Einführung des EC7-1 und dieser beiden ergänzenden Dokumente ist für Juli 2012 geplant. Zeitgleich wird damit DIN 1054:2005-01 [4] ihre Gültigkeit verlieren. Die Nachweisführung der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch erfährt durch diese Umstellung allerdings keine Änderungen, die Auswirkungen auf die Anwendbarkeit der Ergebnisse des vorherigen und des hier behandelten Forschungsvorhabens hätten.

Die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch kann nach EC7-1 entweder über die Betrachtung der totalen Spannungen und des Porenwasserdrucks oder durch einen Vergleich des Auftriebsgewichts eines Bodenprismas und der in diesem Prisma wirkenden Strömungskraft geführt werden.



In Deutschland ist die Sicherheit nach DIN 1054:2010-12 durch eine Gegenüberstellung der Gewichtskraft unter Auftrieb G' und der Strömungskraft S nachzuweisen:

$$S_{dst;d} = S_{dst,k} \cdot \gamma_H \leq G'_{stb,k} \cdot \gamma_{G,stb} = G'_{stb;d} \quad (1)$$

mit γ_H Teilsicherheitsbeiwert für die Strömungskraft

$\gamma_{G,stb}$ Teilsicherheitsbeiwert für günstige ständige Einwirkungen

Die Teilsicherheitsbeiwerte ergeben sich nach DIN 1054:2010-12 [3], Tabelle A 2.1 in Abhängigkeit von der jeweiligen Bemessungssituation. Sie sind in folgender Tabelle zusammengestellt und unterscheiden sich nicht von denen nach DIN 1054:2005-01 [4].

Einwirkung bzw. Beanspruchung	Formelzeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A
HYD: Grenzzustand des Versagens durch hydraulischen Grundbruch				
Stabilisierende ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,stb}$	0,95	0,95	0,95
Strömungskraft bei günstigem Untergrund	γ_H	1,35	1,30	1,20
Strömungskraft bei ungünstigem Untergrund	γ_H	1,80	1,60	1,35

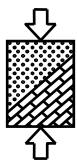
Tabelle 1: Teilsicherheitsbeiwerte nach Tabelle A 2.1 DIN 1054:2010-12 [3]

Für Baugruben ist in der Regel die Bemessungssituation BS-T anzuwenden, weshalb für alle Untersuchungen die Teilsicherheiten für diese Bemessungssituation angewendet wurden. Dies entspricht der Vorgehensweise in vorherigem Forschungsvorhaben für den Lastfall LF 2 nach alter DIN 1054:2005-01.

Darüber hinaus gilt sowohl nach alter DIN 1054 als auch nach EC7-1, dass die Ermittlung der Strömungskraft in der Regel durch Auswertung eines Strömungsnetzes erfolgen sollte. Weiterhin gilt nach wie vor, dass wenn der Boden vor dem Fuß einer Stützwand von unten nach oben durchströmt wird, die Strömungskraft in einem Bodenkörper zu betrachten ist, dessen Breite b in der Regel gleich der halben Einbindetiefe $T/2$ der Stützwand angenommen werden darf (sogenannter Terzaghi-Körper, vgl. Abbildung 1 links).

Auch verweist die neue DIN 1054:2010-12 weiterhin auf die Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“ (EAB) [5] und die Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ (EAU) [6].

Bezüglich Details zu den Bemessungssituationen, der Differenzierung zwischen günstigem und ungünstigem Baugrund und Unterschieden zwischen alter und neuer Normung sei an dieser Stelle auf die Normen selbst sowie insbesondere auf Ziegler „Geotechnische Nachweise nach EC7 und DIN 1054: Einführung in Beispielen“ [20] verwiesen.



2.2 Bezeichnungen und Definitionen

Die hier vorgestellten Untersuchungen knüpfen an das vorherige Forschungsvorhaben an, weshalb bereits definierte Bezeichnungen und Variablen übernommen werden. Die folgende Abbildung zeigt jeweils eine Systemskizze für den ebenen und für den räumlichen Fall und enthält die zur Beschreibung der Geometrie der Baugrube und des Baugrundes notwendigen Variablen bzw. Bezeichnungen. Hierbei sind H die Wasserspiegeldifferenz bzw. die außerhalb der Baugrube durchströmte Höhe oberhalb der Baugrubensohle, T die Einbindetiefe der Verbauwand und S die Mächtigkeit des Aquifers unterhalb der Baugrubensohle. Weiterhin wird die Breite der Baugrube mit B und für den räumlichen Fall die Länge der Baugrube mit L bezeichnet.

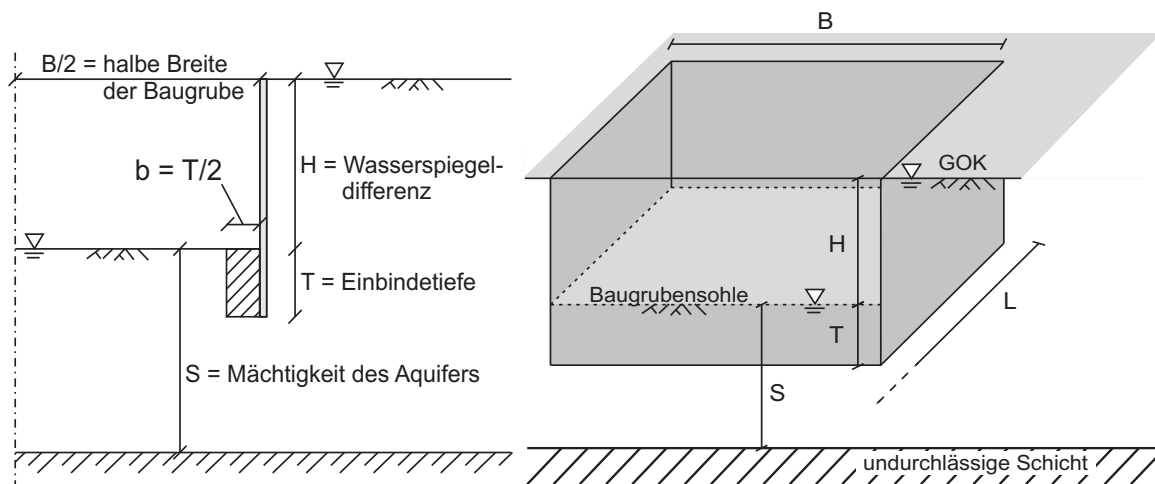
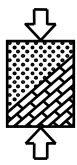


Abbildung 1: Systemskizze 2D und 3D nach [21]

Da eine Anwendung der Untersuchungsergebnisse auf beliebig große Baugruben möglich sein soll, erfolgt die Aufbereitung und Auswertung der Ergebnisse dimensionslos. Dies wird dadurch erreicht, dass die geometrischen Größen auf die Wasserspiegeldifferenz H bezogen werden (T/H , S/H , B/H). Ausnahme stellt die Baugrubenlänge L dar. Hier wurde das Verhältnis B/L gewählt, anhand dessen der Anwender im Gegensatz zu L/H direkt erkennt, ob es sich um eine quadratische ($B/L = 1,0$), rechteckige ($B/L = 0,5$) oder langgestreckte Baugrube ($B/L = 0,3$) handelt. Da die Breite der Baugrube jedoch in der Ergebnisdarstellung stets auf H bezogen wird, bleibt die Dimensionslosigkeit erhalten.



2.3 Voruntersuchungen

Im Rahmen des ersten Forschungsvorhabens wurden Voruntersuchungen zur erforderlichen Modellgröße angestellt. Diese hatten gezeigt, dass der Einfluss des Modelrands ab einem Verhältnis von $R/H \geq 5,0$ vernachlässigbar ist.

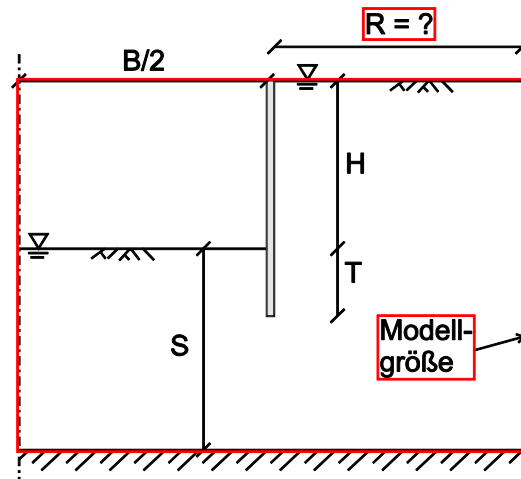


Abbildung 2: Systemskizze mit Modellrand [21]

Aus diesem Grund wurde die Größe der numerischen Modelle stets so gewählt, dass der Abstand zwischen Baugrube und Modellrand $R/H \approx 5,0$ betrug. Diese Vorgehensweise wurde auch für die Modellerstellung im Rahmen des aktuellen Forschungsvorhabens übernommen.

Darüber hinaus wurden im Rahmen des vorherigen Forschungsvorhabens Untersuchungen angestellt, um den Einfluss der Verbauwanddicke zu bestimmen. Diese hatten gezeigt, dass die Verbauwanddicke nur eine untergeordnete Rolle spielt und sich die Ergebnisse innerhalb des Bereichs üblicher Wanddicken kaum unterscheiden. Letztlich wurde die Wanddicke für die Berechnungen zu $d/H = 0,05$ angenommen, was bei einer Aushubtiefe von $H = 10$ m einer Wanddicke von $d = 0,5$ m entspricht. Da diese Wanddicke gut mit der in weiteren Voruntersuchungen ermittelten erforderlichen Netzfeinheit übereinstimmt, wurde sie auch bei den aktuellen Modellen übernommen.

Wie bereits in Abschnitt 2.1 erläutert ist beim Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch in der Regel der sogenannte Terzaghi-Körper zu betrachten, dessen Breite b gleich der halben Einbindetiefe T ist (vgl. Abbildung 1). Ohne den Ansatz von Reibung wäre jedoch immer ein infinitesimal schmaler Streifen maßgebend für das Versagen, da das abzubauen Potential direkt am Wandfuß am größten ist. Daher wurden im Rahmen des ersten Forschungsvorhabens umfangreiche Untersuchungen mit dem Ansatz von Reibung angestellt und für den dreidimensionalen Fall in der Baugrubenecke verschiedene Grundrissformen des Versagenskörpers betrachtet.

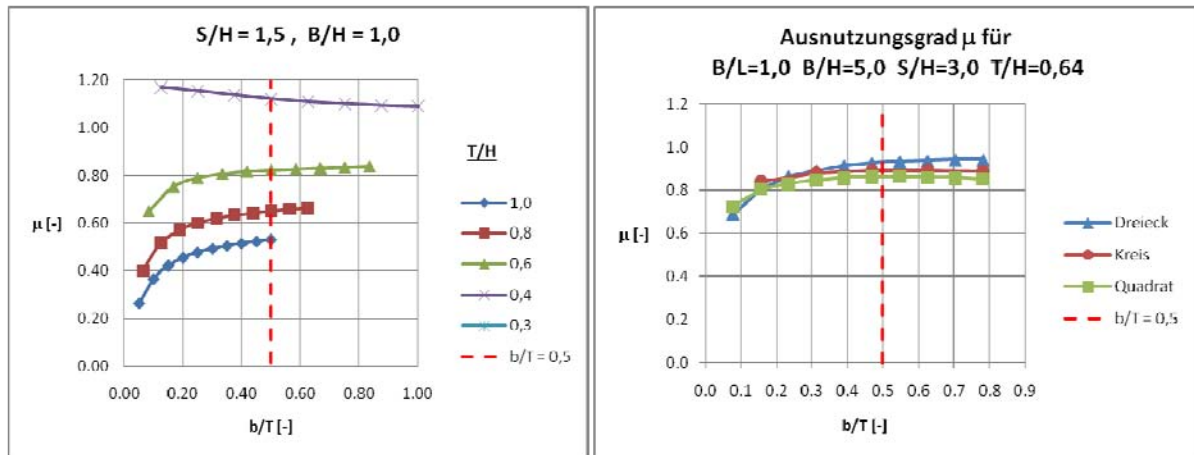
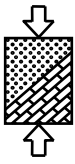


Abbildung 3: Ausnutzungsgrad für verschiedene Bruchkörper in 2D (links) und 3D (rechts) nach [21]

Abbildung 3 zeigt exemplarisch die Ergebnisse je einer Situation für den ebenen (links) und für den räumlichen Fall (rechts). Aufgetragen ist jeweils der Ausnutzungsgrad $\mu = S_{dst;d} / G'_{stb;d}$ über der Breite b/T des betrachteten Versagenskörpers. Die linke Abbildung für den ebenen Fall enthält Kurven für verschiedene Einbindetiefen T/H , wohingegen die rechte Abbildung Kurven für verschiedene Formen im Grundriss bei gleicher Einbindetiefe enthält.

In Summe haben die Voruntersuchungen gezeigt, dass die von Terzaghi aufgrund von Beobachtungen und Versuchen getroffene Annahme eine gute Näherung darstellt. Weiterhin haben die Untersuchungen für den räumlichen Fall ergeben, dass im Grundriss ein Dreieck mit einer Kathetenlänge von $b \approx T/2$ den ungünstigsten und damit den maßgebenden Fall darstellt.

Für die weiteren Untersuchungen des vorherigen und des aktuellen Forschungsvorhabens wurden daher für den ebenen Fall sowie für den räumlichen Fall an den Baugrubenseiten Körper mit einer Breite von $b = T/2$ verwendet. In den Ecken wurde für den räumlichen Fall eine dreieckige Grundrissform gewählt.

Details zu den Voruntersuchungen können dem Abschlussbericht des vorherigen Forschungsvorhabens [21] entnommen werden.

2.4 Ergebnisse des vorherigen Forschungsvorhabens

Wie eingangs erwähnt wurden im Rahmen des vorherigen Forschungsvorhabens umfangreiche Untersuchungen für den ebenen Fall angestellt und in Form von Bemessungsdiagrammen aufbereitet. Insgesamt entstanden so acht Diagramme für günstigen und ungünstigen Baugrund mit vier verschiedenen Wichten des Baugrundes. Mit Hilfe dieser Diagramme lässt sich die erforderliche Einbindetiefe auf einfache Weise ermitteln. Die nachfolgende Abbildung zeigt exemplarisch zwei der Diagramme für den ebenen Fall.

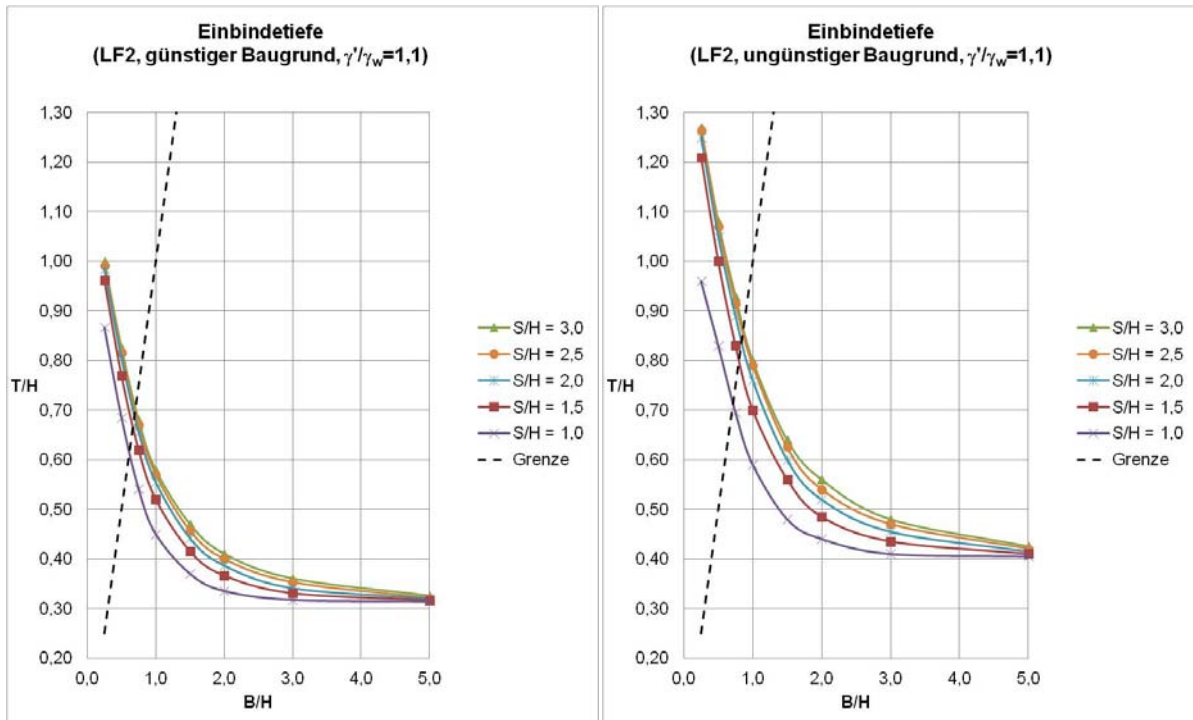
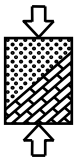
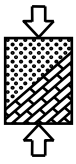


Abbildung 4: Dimensionslose Bemessungsdiagramme für den ebenen Fall nach [21]

Weiterhin wurden auch für den räumlichen Fall Untersuchungen angestellt, allerdings nur für günstigen Baugrund und eine Wichte unter Auftrieb von $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$. Bei diesen räumlichen Untersuchungen erfolgte eine Differenzierung zwischen der Längs- und der Stirnseite sowie der Ecke der Baugruben und außerdem zwischen quadratischen, rechteckigen und langgestreckten Baugruben. Die Ergebnisse wurden ebenfalls in Form von Diagrammen aufbereitet.

Im Wesentlichen haben die Ergebnisse der ebenen Untersuchungen gezeigt, dass vor allem die Breite einer Baugrube entscheidenden Einfluss auf die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch hat und die erforderliche Einbindetiefe bei schmalen Baugruben überproportional ansteigt (vgl. Abbildung 4). Weiterhin wurde dargelegt, dass auch die Mächtigkeit des Aquifers einen nicht unerheblichen Einfluss auf die Sicherheit hat. Gleiches haben auch die räumlichen Untersuchungen ergeben. Darüber hinaus haben diese aber auch gezeigt, dass gerade in den Ecken von Baugruben teils deutlich höhere Einbindetiefen als an den Seiten erforderlich sind, um eine ausreichende Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch zu gewährleisten. Außerdem haben die Untersuchungen gezeigt, dass in den meisten Fällen räumliche Betrachtungen eigentlich unerlässlich sind, was dazu geführt hat, die Untersuchungen im Rahmen des aktuellen Forschungsvorhabens fortzusetzen und zu vertiefen.

Alle Ergebnisse des vorherigen Forschungsvorhabens wurden in einem ausführlichen Abschlussbericht zusammengefasst [21] und in Auszügen auf Tagungen präsentiert sowie in Fachzeitschriften veröffentlicht (z.B. [7], [19]).



3 Entwicklung des FEFLOW®-Moduls

3.1 Notwendigkeit

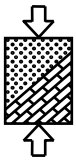
Bei der Ermittlung der erforderlichen Einbindetiefe auf Basis der Auswertung von Strömungsnetzen bzw. Potentialverteilungen handelt es sich um einen iterativen Prozess. Eine Änderung der Einbindetiefe zieht auch immer eine Veränderung der Strömung nach sich und erfordert eine Neuberechnung der Potentialverteilung. Daher muss in der Regel, nachdem für eine erste Einbindetiefe ein Modell aufgestellt, berechnet und ausgewertet wurde, das Modell so lange angepasst und neu berechnet werden, bis die tatsächlich erforderliche Einbindetiefe entsprechend einem Ausnutzungsgrad von $\mu \approx 1,0$ gefunden ist. Somit sind immer mehrere Rechengänge notwendig, um die Einbindetiefe für eine bestimmte Situation zu erhalten.

Bei Berechnungen für den räumlichen Fall kommt als weitere zu variierende Größe die Länge der Baugrube L bzw. das Verhältnis zwischen Breite und Länge der Baugrube B/L hinzu (vgl. Abbildung 1). Bei drei verschiedenen Werten für B/L und unter zusätzlicher Berücksichtigung, dass sich die Anstromverhältnisse an den Baugrubenseiten wesentlich von denen in den Ecken der Baugruben unterscheiden, erhöht sich die Anzahl der notwendigen Berechnungen für den räumlichen gegenüber dem ebenen Fall um den Faktor 8 (bei $B/L = 1$ entfällt eine Differenzierung zwischen Stirn- und Längsseite).

So ergeben sich alleine für die Untersuchungen für eine Wichte und günstigen oder ungünstigen Baugrund 280 verschiedene Modelle (vgl. Tabelle 2), für die jeweils wiederholte Berechnungen zur Anpassung der Einbindetiefe notwendig sind. Geht man davon aus, dass pro Modell etwa fünf Iterationen notwendig sind, ehe die erforderliche Einbindetiefe mit der gewünschten Genauigkeit ermittelt ist, sind bereits ca. 1400 Berechnungen notwendig.

B/L	0,3 / 0,5 / 1,0						
B/H S/H	0.25	0.50	1.00	1.50	2.00	3.00	5.00
1.0	x	x	x	x	x	x	x
1.5	x	x	x	x	x	x	x
2.0	x	x	x	x	x	x	x
2.5	x	x	x	x	x	x	x
3.0	x	x	x	x	x	x	x

Tabelle 2: Wertebereich für homogene, isotrope Baugrundverhältnisse



Für jeweils vier Wichten im günstigen und ungünstigen Fall sind somit in Summe ca. 11000 Berechnungen für homogenen und isotropen Baugrund notwendig. Hinzu kommen Berechnungen zu anisotropem und geschichtetem Baugrund sowie zu Baugruben mit abgetreppten Verbauwänden.

Mit der Vorgehensweise entsprechend dem vorherigen Forschungsvorhaben wäre daher eine Realisierung der angestrebten Untersuchungen innerhalb eines vertretbaren Zeitraums nicht möglich gewesen.

Daher wurde ein Modul für die Finite-Elemente-Software FEFLOW® entwickelt, welches die Modellanpassung bzw. iterative Ermittlung der erforderlichen Einbindetiefe automatisch vornehmen kann. Die Programmierung dieses FEFLOW®-Moduls erfolgte durch den Projektpartner „Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft“ der RWTH Aachen in enger Abstimmung mit dem Lehrstuhl für Geotechnik im Bauwesen. Das Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft verfügt über fundierte Erfahrungen im Umgang mit FEFLOW® (siehe z.B. [8], [12]).

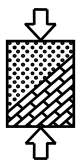
3.2 Das Programm FEFLOW®

Bei dem Programm FEFLOW® handelt es sich um eine Finite-Elemente-Software zur Beschreibung und Abbildung von Grundwasserströmungsproblemen. Die Bezeichnung FEFLOW® steht dabei für „Finite Element Subsurface Flow and Transport Simulation System“. Bezüglich Details zu den vielfältigen Funktionen, welche über die Anwendung im Rahmen des Forschungsvorhabens hinausgehen oder für diese von untergeordneter Rolle sind, sei auf die umfangreiche Programm-Dokumentation verwiesen ([10]).

FEFLOW® stellt dem Anwender eine Schnittstelle bereit - den sogenannten InterFace Manager (IFM). Mit diesem ist es möglich, während des Programmablaufs Modifikationen am Rechenmodell vorzunehmen. Dies ist die Grundlage dafür, dass eine teilweise Automatisierung des iterativen Berechnungsprozesses der erforderlichen Einbindetiefe überhaupt erfolgen kann.

Innerhalb des Programmablaufs werden von FEFLOW® an bestimmten Punkten sogenannte Callback-Funktionen ausgeführt, welche vom Anwender mit Code gefüllt werden können. Eine dynamische Programm-Bibliothek (DLL: Dynamic Link Library) mit solchen Callback-Funktionen heißt FEFLOW®-Modul.

Die Callback-Funktionen werden in drei Kategorien unterteilt ([10]). Zum einen existieren sogenannte Generic-Callback-Funktionen. Diese werden aufgerufen, wenn sich ein globaler Zustand geändert hat. Des Weiteren können sogenannte Regionalization-Callback-Funktionen verwendet werden, die nur bei der Ausführung von Aktionen auf der Benutzeroberfläche aufgerufen werden. Die letzte Art von Callback-Funktionen sind die sogenannten Simulation-Callback-Funktionen. Mit Hilfe der Simulation-Callback-Funktionen greift das FEFLOW®-Modul vor und nach der



Lösung des Strömungs-Gleichungssystems in den Programmablauf ein. Abbildung 5 zeigt die wichtigsten Simulation-Callback-Funktionen und den Zeitpunkt ihres Aufrufs während einer Strömungsberechnung.

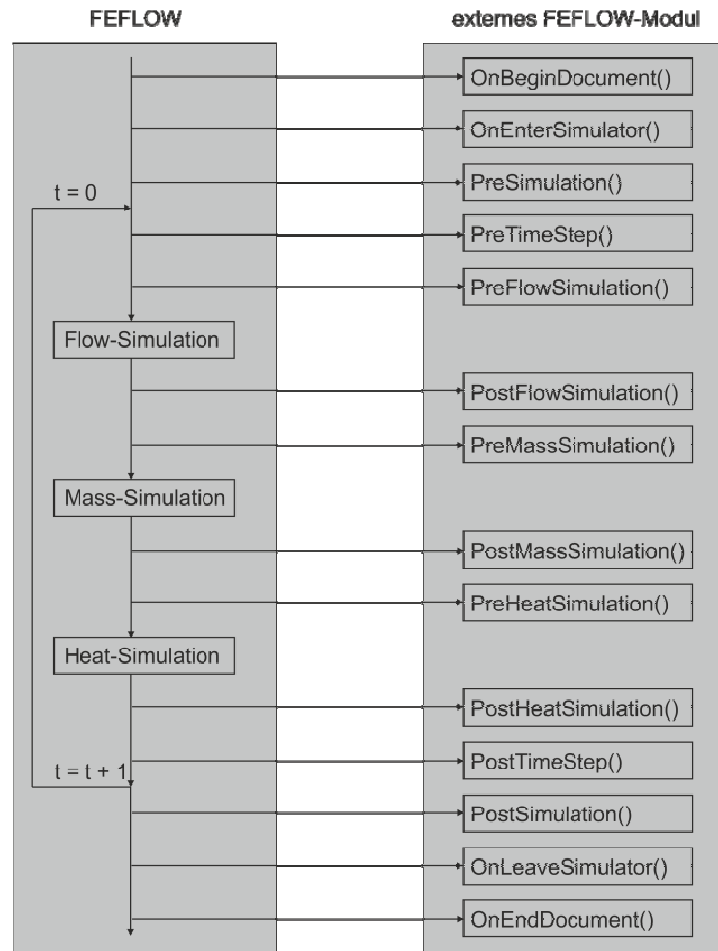


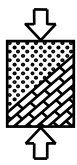
Abbildung 5: Simulation-Callback-Funktionen nach [10]

3.3 Moduldetails und Berechnungsablauf

Das im Rahmen des Forschungsvorhabens entwickelte FEFLOW®-Modul wurde „HydraulicHeave“ benannt. Es wurde für den Einsatz in einem dreidimensionalen Strömungssystem auf Basis dreieckiger finiter Elemente in der Programmiersprache C++ innerhalb der Programmierumgebung Microsoft Visual Studio 2010 Version 10.0 (32 Bit) entwickelt. Die Entwicklung erfolgte für das Betriebssystem Windows 7 (64 Bit) und die FEFLOW® Version 6.004 (64 Bit).

Ab der FEFLOW® Version 6.000 wird die Bezeichnung Plug-in anstatt Modul verwendet. Da die Entwicklung des Moduls jedoch in der FEFLOW® Version 5.412 begonnen wurde, wurde die Benennung FEFLOW®-Modul beibehalten. Der Quelltext des aufwärtskompatiblen Moduls umfasst in Summe etwa 55.000 Zeilen.

Für die Anwendung des Moduls ist vom Anwender vorab eine Input-Datei zu erstellen, welche alle wesentlichen Informationen über die Geometrie und die



Baugrundeigenschaften sowie die zu verwendenden Teilsicherheiten enthält. Eine Input-Datei kann dabei Informationen zu mehreren Baugruben enthalten, die im weiteren Programmablauf nacheinander abgearbeitet werden sollen. Details zum Format und den innerhalb der Input-Datei zu definierenden Variablen können dem Anhang I entnommen werden. An dieser Stelle ist anzumerken, dass es zwei Arten von Input-Dateien mit unterschiedlichen Informationen bzw. Variablen gibt, je nachdem ob Baugruben mit konstanten Einbindetiefen oder mit abgetreppten Verbauwänden berechnet werden sollen. Im Hinblick auf den Dateinamen unterscheiden sich die Dateien für abgetreppte Verbauwände von denen mit konstanter Einbindetiefe um den Zusatz „stepped“.

Unabhängig von der Art der Input-Datei ist nach dem Start des Programms FEFLOW® zunächst eine Modelldatei zu laden. Die Modelldateien sind universal für alle Arten von Berechnungen verwendbar und müssen lediglich bezüglich der Modellgröße die jeweiligen Anforderungen aus der Input-Datei erfüllen. Details zu den verwendeten Modellen werden in Abschnitt 3.4 behandelt.

Nach dem Laden des Modells und dem Simulationsstart, bei dem auch das Modul gestartet wird, wird in einem ersten Schritt durch das Modul überprüft, ob die Voraussetzungen zur Anwendung desselben gegeben sind, welche Input-Dateien vorliegen, welche Baugrubenvarianten gerechnet werden sollen und ob das vorhandene Modell dafür geeignet ist. Sind alle Voraussetzungen erfüllt, wird durch das Modul entsprechend den Informationen in der Input-Datei die erste zu berechnende Baugrubenvariante erstellt. Hierzu wird das vorhandene Modell durch Veränderung der Durchlässigkeit einzelner Elemente, durch Verschiebung von Knoten (vgl. Abbildung 6) und durch die Definition von Randbedingungen angepasst.

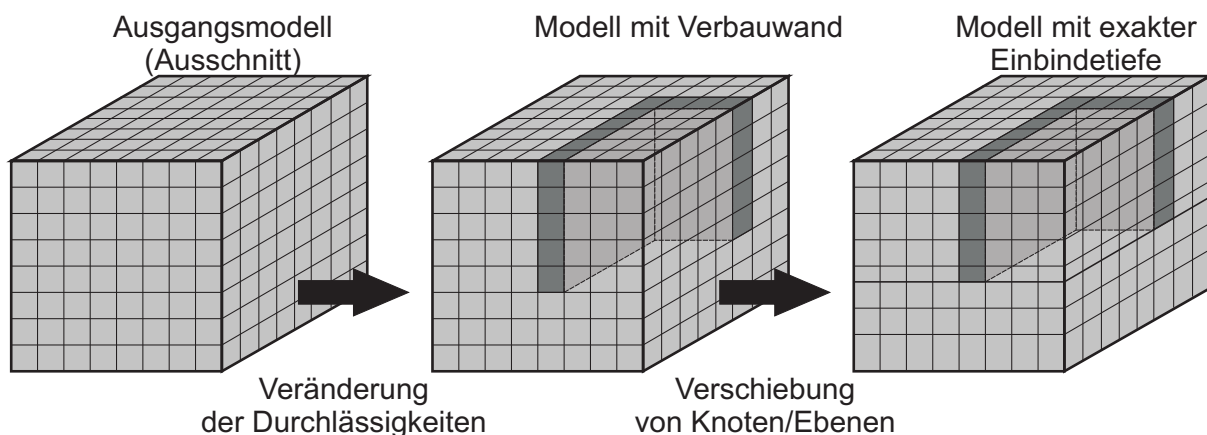
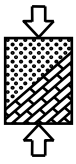


Abbildung 6: Skizze zur Modellanpassung

Die hierfür notwendigen Modifikationen werden mit sogenannten IFM-API-Funktionen (API: application programming interface) vorgenommen. So existieren z.B. IFM-API-Funktionen zur Identifikation der Verbauwandelemente und der Knoten, die mit Randbedingungen belegt werden müssen, zur Veränderung von Knoten-Koordinaten oder auch für die Veränderung der Durchlässigkeitseigenschaften von Elementen.



Sollen Systeme mit konstanter Einbindetiefe berechnet werden, wird zunächst die für die Längsseite erforderliche Einbindetiefe bestimmt. Hierzu wird das Modell so angepasst, dass die Einbindetiefe der in der Input-Datei angegebenen Schätztiefe für die Längsseite entspricht und anschließend die Strömungsberechnung durchgeführt. Nach erfolgter Berechnung werden in der Mitte der Längsseite Potentiale ausgelesen und die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch anhand des Ausnutzungsgrades überprüft. Details zur Überprüfung der Sicherheit bzw. zur Nachweisführung durch die implementierte „proof_of_safety()“-Funktion werden in Abschnitt 3.5 behandelt. Sofern der Ausnutzungsgrad von $\mu \approx 1,0$ abweicht, wird die Einbindetiefe im Modell angepasst und eine neue Berechnung durchgeführt. Dies geschieht so oft bis mit der erforderlichen Genauigkeit ein Ausnutzungsgrad von $\mu = 1,0$ erreicht wird. Nach Abspeicherung der erhaltenen Einbindetiefe wird anschließend in gleicher Weise für die Stirnseite und schließlich für die Ecke verfahren.

Die einzelnen Schritte sind grafisch in der folgenden Abbildung zusammengefasst.

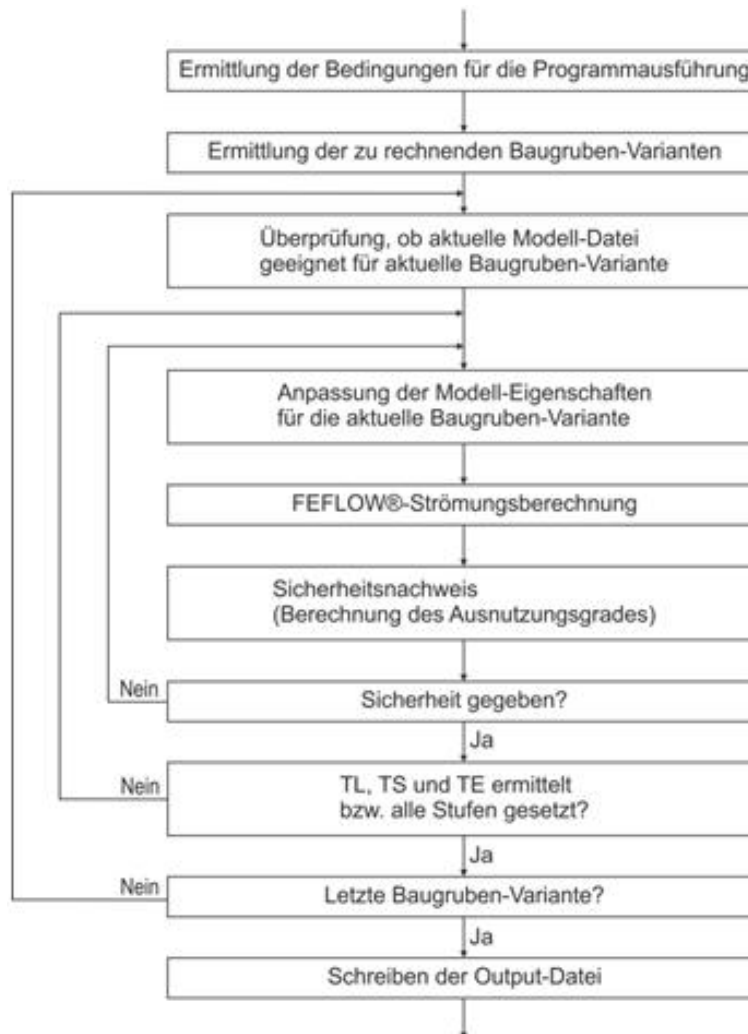
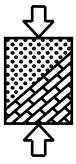


Abbildung 7: Schritte bei der Programmausführung



Die FEFLOW®-Strömungsberechnung (Flow-Simulation in Abbildung 5) ist eine bereits in FEFLOW® vorhandene Funktionalität, wohingegen die weiteren Funktionalitäten durch das Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft in den folgenden Simulation-Callback-Funktionen implementiert wurden:

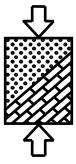
- OnBeginDocument()
- OnEnterSimulator()
- PreFlowSimulation()
- PostFlowSimulation()
- OnLeaveSimulator()
- OnEndDocument()

Da wie bereits erwähnt auch mehrere Baugrubenvarianten innerhalb einer Input-Datei definiert sein können, werden bei der Ausführung des Moduls die Callback-Funktionen „PreFlowSimulation()“ und „PostFlowSimulation()“ so lange im Wechsel aufgerufen, bis alle in der Input-Datei definierten Baugrubenvarianten berechnet sind. Desweiteren muss die Callback-Funktion „PreFlowSimulation()“ auch immer dann aufgerufen werden, wenn die Sicherheit nicht gegeben ist. In der Callback-Funktion „PreFlowSimulation()“ wird dann die Anpassung der Modelleigenschaften ausgeführt bevor eine erneute Strömungsberechnung die Ergebnisse für den Sicherheitsnachweis in der Callback-Funktion „PostFlowSimulation()“ liefert.

Nach Berechnung der letzten Baugrubenvariante werden die Ergebnisse in Form einer Output-Datei ausgegeben. Diese enthält neben den ermittelten Einbindetiefen z.B. auch die für den Nachweis verwendeten Potentiale und den Ausnutzungsgrad. Details zu den Output-Dateien sind im Anhang I enthalten.

Darüber hinaus wird durch das Modul eine sogenannte Logdatei erzeugt, in die Informationen zum Programmablauf sowie mögliche Fehlermeldungen geschrieben werden und mit Hilfe derer die Ursache für etwaige Simulationsabbrüche gefunden werden kann. Gerade auch in der Entwicklungsphase des Moduls war die Logdatei ein hilfreiches Instrument um in Ergänzung zu den Kontrollrechnungen mit GGU-SSFlow Fehler aufzudecken.

Außerdem kann der Anwender über die Input-Datei steuern, ob auch die zu den ermittelten Einbindetiefen gehörigen Modelle bzw. FEM-Dateien abgespeichert werden sollen. Diese Funktion wurde eingefügt, da die FEM-Dateien teils sehr viel Speicherplatz benötigen, tatsächlich neben den Kontrollrechnungen mit GGU aber nur ergänzend und stichprobenartig zur visuellen Plausibilitätskontrolle benötigt wurden.



Sollen im Gegensatz zu den vorherigen Beschreibungen Modelle mit abgetreppten Verbauwänden berechnet werden, müssen feste Einbindetiefen vorgegeben werden. Wie in der folgenden Abbildung zu sehen ist, können insgesamt zusätzlich zu der Einbindetiefe an der Ecke T_E auf der Längsseite bis zu fünf verschiedene Einbindetiefen T_{L0} bis T_{L4} und auf der Stirnseite bis zu vier Einbindetiefen T_{S0} bis T_{S3} definiert werden.

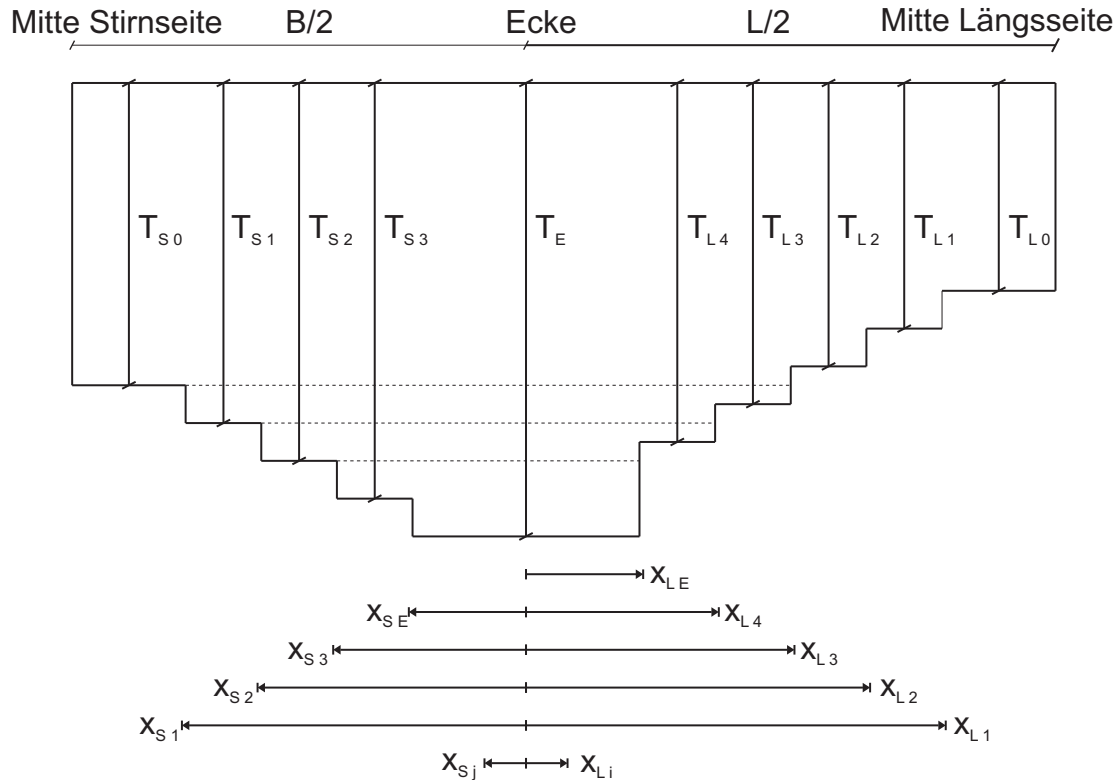
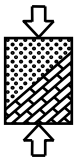


Abbildung 8: Staffelung der Einbindetiefe entlang der Verbauwand

Im Weiteren ist danach zu unterscheiden, ob auch die Lage der einzelnen Stufen x_{Lj} bzw. x_{Sj} vorgegeben ist oder diese iterativ ermittelt werden sollen.

Für den ersten Fall ist keine iterative Anpassung des Modells notwendig, da alle Randbedingungen fest vorgegeben sind. Nach der Erzeugung des Systems erfolgen die Strömungsberechnung und anschließend die Ermittlung des Ausnutzungsgrades in Schnitten entlang der Verbauwand sowie an einem räumlichen Bruchkörper in der Baugrubenecke. Details zur Ermittlung des Ausnutzungsgrades werden in Abschnitt 3.5 behandelt.

Soll die Lage der Stufen hingegen erst ermittelt werden, erfolgt unabhängig von der Anzahl der definierten Einbindetiefen zunächst die Berechnung eines Ausgangssystems mit den drei Einbindetiefen T_E , T_{S0} und T_{L0} , wobei die Stufen zwischen T_E und T_{L0} bzw. T_E und T_{S0} bei $x_{LE} = T/2 = x_{SE}$ angeordnet sind. Anschließend wird die Sicherheit dieses Ausgangssystems ermittelt. Falls der Ausnutzungsgrad an der Ecke oder an den Seitenmitten größer als die in der Input-



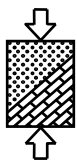
Bei definierten Grenzwerten $\mu_{E,soll}$, $\mu_{S,soll}$ und $\mu_{L,soll}$ ist, wird eine Fehlermeldung ausgegeben und die Simulation abgebrochen.

Werden die Grenzwerte eingehalten, wird zunächst entlang der Längsseite in 0,5 m Schritten der Ausnutzungsgrad in Schnitten bestimmt und mit einem definierten Grenzwert μ_{Stufe} abgeglichen. Wird dieser Grenzwert erreicht, wird an dieser Stelle die nächste Stufe mit T_{L1} eingefügt, indem entsprechend den vorherigen Beschreibungen eine Modellanpassung vorgenommen wird. Da sich das Einfügen einer neuen Stufe auf die Strömungsverhältnisse auswirkt, wird auch vor der Stufe mit T_{L0} eine erneute Überprüfung der Sicherheit vorgenommen. Sollte diese nicht gegeben sein, wird die Stufe so lange um jeweils einen Knoten zurück in Richtung Seitenmitte verschoben, bis ausreichende Sicherheit gegeben ist.

Anschließend wird analog dazu auch auf der Stirnseite die erste Stufe gesucht. Ist diese gefunden wird wieder auf die Längsseite gewechselt. Dies geschieht so lange bis alle Stufen gesetzt sind oder vorher die letzte Stufe vor der Ecke auf T_E erreicht wird. Bleibt der Ausnutzungsgrad bis zum Erreichen dieser Stufe unter dem Wert von μ_{Stufe} wird keine weitere Stufe mehr gesetzt, auch wenn in der Input-Datei noch eine weitere definiert sein sollte.

Tritt der Fall ein, dass bereits alle Stufen gesetzt sind, der Ausnutzungsgrad vor der letzten Stufe auf T_E aber größer als μ_{Stufe} wird, so wird die letzte Stufe so lange verschoben bzw. x_{LE} oder x_{SE} vergrößert, bis ausreichende Sicherheit gegeben ist.

Da wie bereits erwähnt durch das Einfügen von Stufen immer zu beiden Seiten auch eine Veränderung der Strömungsverhältnisse bewirkt wird, erfolgt zum Schluss eine erneute Überprüfung des Ausnutzungsgrades und, sofern ausreichende Sicherheit gegeben ist, wie zuvor eine Ausgabe der Ergebnisse in Form einer Output-Datei. Details zu den Output-Dateien sind im Anhang I enthalten.



3.4 Modelle

Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, muss vor der Ausführung des HydraulicHeave-Moduls in FEFLOW® bereits ein „Ausgangsmodell“ vorhanden sein, welches durch das Modul entsprechend der Informationen in der Input-Datei angepasst werden kann. Insgesamt wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens im Hinblick auf die Geometrie und die Aquifermächtigkeit 280 verschiedene Baugruben untersucht (vgl. Tabelle 2). Das HydraulicHeave-Modul wurde daher so konzipiert, dass nicht nur eine Anpassung der Einbindetiefe sondern auch eine Anpassung der Lage der Verbauwand im Grundriss vorgenommen werden kann. Weiterhin wurde die Möglichkeit geschaffen, im unteren Bereich des Modells einen Grundwasserstauer zu definieren, um damit indirekt die Aquifermächtigkeit steuern zu können.

Aufgrund dieser Möglichkeiten, hätte ein großes „Universalmodell“ ausgereicht, in das die größte Baugrube mit der größten Aquifermächtigkeit passt, um alle Baugruben berechnen zu können. Da jedoch mit zunehmender Modellgröße die Berechnungsdauer sehr stark ansteigt, hätte dies zur Folge gehabt, dass auch für kleine Baugruben unnötigerweise sehr lange Rechenzeiten entstanden wären. Daher wurden in einem Kompromiss zwischen möglichst geringer Rechenzeit und der Möglichkeit, verschiedene Baugruben in einem Rechengang zusammenzufassen, insgesamt sechs verschiedene Modelle erstellt, nachdem in Testrechnungen die Laufzeiten der einzelnen Modelle mit jeweils 30, 40, 50, 60 und 70 Layern ermittelt wurden

Modell	Modell-Breite	Modell-Länge	B/H	S/H	Knoten	Elemente	Layer
1 (klein)	136 m	112 m	$B/H \leq 1,0$	S/H = 1,0 S/H = 1,5 S/H = 2,0 S/H = 2,5 S/H = 3,0	421.243	826.350	70
2 (mittel, gering mächtig)	180 m	132 m	$B/H = 1,5$ $B/H = 2,0$	S/H = 1,0 S/H = 1,5 S/H = 2,0	618.987	1.210.750	50
3 (mittel, mächtig)	180 m	132 m	$B/H = 1,5$ $B/H = 2,0$	S/H = 2,5 S/H = 3,0	861.727	1.695.050	70
4 (groß, gering mächtig)	270 m	152 m	$B/H \geq 3,0$	S/H = 1,0 S/H = 1,5 S/H = 2,0	2.200.548	4.311.050	50
5 (groß, mächtig)	270 m	152 m	$B/H \geq 3,0$	S/H = 2,5	2.632.028	5.173.260	60
6 (groß, sehr mächtig)	270 m	152 m	$B/H \geq 3,0$	S/H = 3,0	3.063.508	6.035.470	70

Tabelle 3: Verwendete Modelle

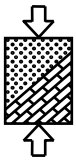


Tabelle 3 zeigt die Abmessungen der verwendeten Modelle im Grundriss, den Wertebereich der Baugrubenbreite und der Aquifermächtigkeit, der mit dem jeweiligen Modell abgedeckt werden soll, sowie die Anzahl der Knoten, Elemente und Layer. Die Wasserspiegeldifferenz wurde in den Modellen mit $H = 10$ m festgelegt. Für kleine Baugruben mit $B/H \leq 1,0$ wurde nur ein Modell erstellt, da hierfür die Elementanzahl generell weniger als $n < 1$ Million beträgt. Für die großen Baugruben mit $B/H \geq 3,0$ wurden hingegen drei Modelle erstellt, da bereits ein Unterschied in der Aquifermächtigkeit von gerade $\Delta S/H = 0,5$ eine Erhöhung der Elementanzahl von fast $\Delta n \approx 1$ Million nach sich zieht.

Die Knoten- und Elementanzahlen sind auch der Grund für die Verwendung eines triangulären Netzes anstatt eines quadrangulären Netzes. Aufgrund der regelmäßigen Anordnung der Elemente und der Tatsache, dass die Netzdiskretisierung in FEFLOW® konstant sein muss, ist die Knotenanzahl in einem Modell, das auf einem quadrangulären Netz basiert, bis zu zehn Mal größer als im korrespondierenden Modell, das auf einem triangulären Netz basiert. Die Elementanzahl ist entsprechend um bis zu fünf Mal größer. Dies kann die Laufzeit um den Faktor neun verlängern, wie Testrechnungen gezeigt haben. Überschreiten die Knoten- und Elementanzahlen einen gewissen Schwellenwert, wird es zudem erforderlich, eine 64 Bit FEFLOW® Version zu verwenden, was wiederum den Einsatz von Windows 7 64 Bit bedingt.

Die Größe der Modelle im Grundriss wurde dabei so gewählt, dass immer mindestens ein Rand von $R = 50$ m an allen Seiten der Baugruben vorhanden ist. Mit einer Verbauwanddicke von $d = 0,5$ m ergibt sich beispielsweise für die größte Baugrube mit $B/H = 5,0$ und $B/L = 0,3$ in Modell 6 ein Rand von $R = (152\text{m} - 50\text{m} - 2 \cdot 0,5\text{m})/2 = 50,5\text{m}$ bzw. $R = (270\text{m} - 167\text{m} - 2 \cdot 0,5\text{m})/2 = 51\text{m}$.

Abbildung 9 zeigt das trianguläre Netz eines der Modelle. Das Netz ist im Randbereich unregelmäßig und im Zentrum regelmäßig aufgebaut. Der regelmäßige Aufbau ist notwendig, um die geradlinigen Verbauwände der verschiedenen Baugruben mit einer konstanten Dicke von $d = 0,5$ m abbilden zu können. Wie anhand des vergrößerten Ausschnitts zu sehen ist, bilden in diesem Bereich des Netzes jeweils zwei Dreiecke ein Viereck, in dem die Knoten horizontal und vertikal $0,5$ m voneinander entfernt sind.

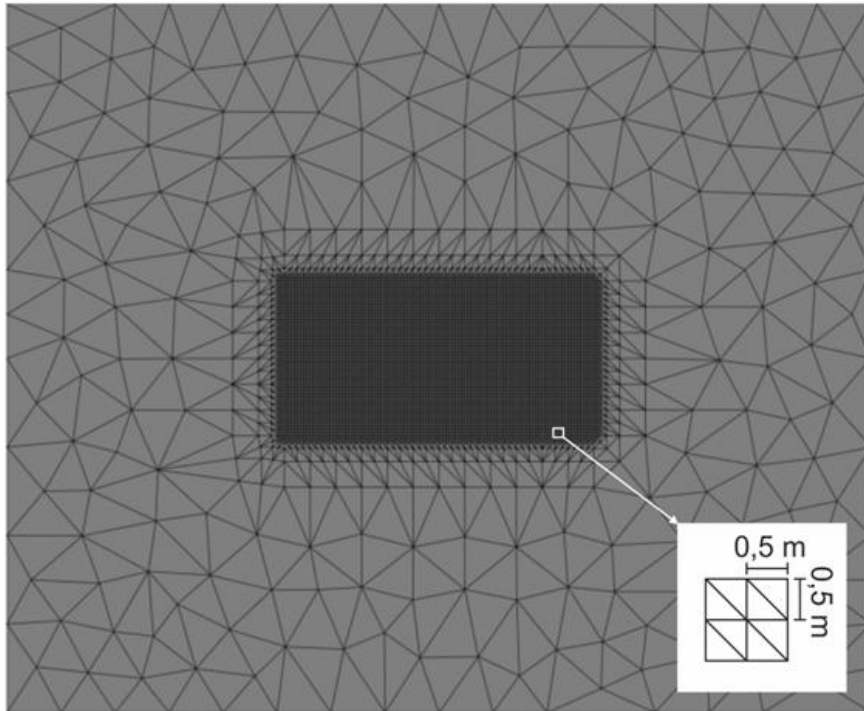
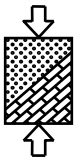


Abbildung 9: Trianguläres Netz

Die folgende Abbildung zeigt den Ausschnitt eines Modells im Grundriss, bei dem bereits eine Baugrube definiert wurde. Wie bereits erläutert geschieht die Erstellung der Baugruben im Grundriss durch die Zuweisung unterschiedlicher Durchlässigkeiten.

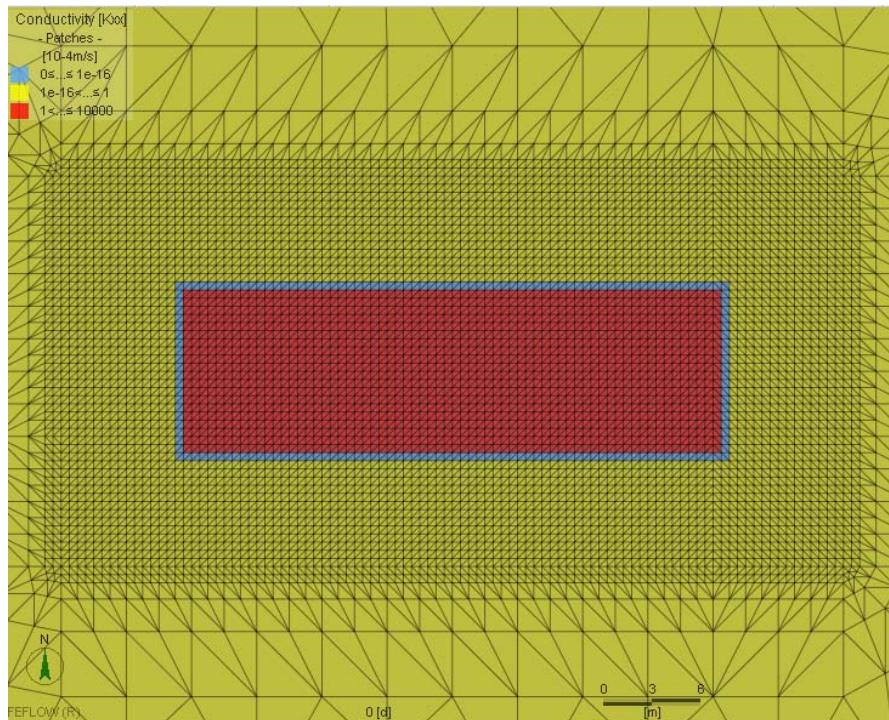
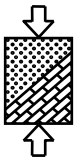


Abbildung 10: Modellausschnitt mit verschiedenen Durchlässigkeiten K_{xx}

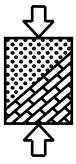


In der abgebildeten Draufsicht ist der Baugrund mit einer Durchlässigkeit von $k = 1 \cdot 10^{-4}$ m/s in gelber und die „undurchlässige“ Verbauwand mit $k = 1 \cdot 10^{-20}$ m/s in blauer Farbe dargestellt. Das von der Strömungsberechnung nicht betroffene Baugrubeninnere oberhalb der Baugrubensohle hat eine Durchlässigkeit von $k = 1$ m/s und ist in roter Farbe abgebildet.

Wie bereits anhand von Tabelle 3 zu sehen war, bestehen die Modelle in vertikaler Richtung aus verschiedenen Schichten, welche als Layer bezeichnet werden. Jede dieser Schichten wird durch zwei als Slices bezeichnete Ebenen begrenzt. In der folgenden Abbildung ist die vertikale Unterteilung inklusive der Höhenlagen für ein Modell mit 70 Schichten dargestellt.

Slice 1		10 m
Slice 2	Layer 1	9 m
Slice 3	Layer 2	8 m
Slice 4	Layer 3	7 m
Slice 5	Layer 4	6 m
Slice 6	Layer 5	5 m
Slice 7	Layer 6	4 m
Slice 8	Layer 7	3 m
Slice 9	Layer 8	2 m
Slice 10	Layer 9	1 m
Slice 11	Layer 10	0 m
Slice 12	Layer 11	-0,5 m
Slice 13	Layer 12	-1 m
Slice 14	Layer 13	-1,5 m
Slice 15	Layer 14	-2 m
Slice 16	Layer 15	-2,5 m
Slice 17	Layer 16	-3 m
Slice 18	Layer 17	-3,5 m
Slice 19	Layer 18	-4 m
Slice 20	Layer 19	-4,5 m
Slice 21	Layer 20	-5 m
Slice 22	Layer 21	-5,5 m
Slice 23	Layer 22	-6 m
Slice 24	Layer 23	-6,5 m
Slice 25	Layer 24	-7 m
Slice 26	Layer 25	-7,5 m
Slice 27	Layer 26	-8 m
Slice 28	Layer 27	-8,5 m
Slice 29	Layer 28	-9 m
Slice 30	Layer 29	-9,5 m
Slice 31	Layer 30	-10 m
Slice 69	...	
Slice 70	Layer 69	-29,5 m
Slice 71	Layer 70	-30 m

Abbildung 11: Vertikale Unterteilung der Modelle



Wie zu sehen ist beträgt die Schichtdicke $d_{\text{Layer}} = 1 \text{ m}$ oberhalb der Baugrubensohle, die durch Slice 11 bei $z = 0 \text{ m}$ definiert ist. Unterhalb der Baugrubensohle beträgt sie im Ausgangszustand $d_{\text{Layer}} = 0,5 \text{ m}$. Da für jeden Layer unterschiedliche Durchlässigkeiten definiert werden können, kann darüber auch die Lage der Schichtgrenze bei Berechnungen mit geschichtetem Baugrund oder die bereits erwähnte Verringerung der Aquifermächtigkeit durch Definition eines Grundwasserstauers in den unteren Layern gesteuert werden. Weiterhin kann auch die Einbindetiefe T zentimetergenau modelliert werden, da auch die Höhenlage der einzelnen Slices geändert werden kann. Für eine Einbindetiefe von beispielsweise $T = 5,3 \text{ m}$ werden durch das Modul die Slices 22 bis 70 um $0,2 \text{ m}$ angehoben und die Baugrube durch Zuordnung der entsprechenden Durchlässigkeit in den Layern 1 bis 21 erzeugt. Dadurch wird die vertikale Feinheit beibehalten und lediglich der unterste Layer weist eine größere Dicke von $d_{\text{Layer}} = 0,7 \text{ m}$ auf.

3.5 Nachweis

Wie bereits erwähnt ist innerhalb des FEFLOW®-Moduls während der iterativen Ermittlung der erforderlichen Eindringtiefe der Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch zu führen bzw. der Ausnutzungsgrad μ zu bestimmen. Je nachdem ob der Ausnutzungsgrad mit $\mu = 1,0$ „optimal“ ist oder nicht, wird die Berechnung beendet bzw. zur nächsten Baugrube gewechselt oder die Einbindetiefe wird angepasst und es erfolgt eine erneute Berechnung.

Zur Überprüfung der Sicherheit sind je nach Lage (Ecke, Stirnseite, Längsseite) und je nachdem ob es sich um eine sehr schmale Baugrube ($B < T$) handelt unterschiedliche Nachweise zu führen. Wie anhand der folgenden Abbildung zu sehen ist, erfolgt der Nachweis an den Seiten im Schnitt, also zweidimensional bzw. an einem Streifen mit einer Dicke von $d = 1 \text{ m}$. In der Ecke erfolgt der Nachweis an einem im Grundriss dreieckförmigen Bruchkörper.

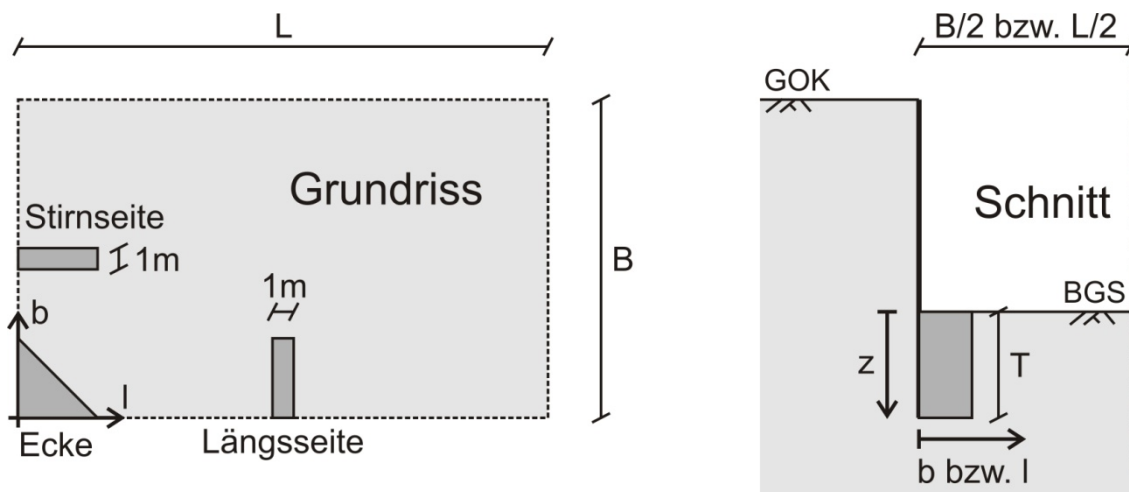
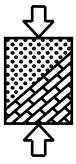
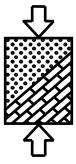


Abbildung 12: Skizze der Bruchkörper für die Nachweisführung



Die Größe der Bruchkörper (Schnittlänge bzw. Kathetenlänge) ist in der Regel durch die halbe Einbindetiefe $T/2$ vorgegeben. Bei schmalen Baugruben wird sie hingegen auf $B/2$ begrenzt und in der Ecke erfolgt der Nachweis dann an einem im Grundriss quadratischen Bruchkörper.

Im Folgenden werden die Nachweisformate getrennt nach der Längs- und der Stirnseite sowie der Ecke und einer Unterscheidung zwischen „normalen“ ($T \leq B$) und „schmalen“ ($T > B$) Baugruben stichpunktartig aufgelistet. Zusätzliche Erläuterungen zu den Gründen für die Unterscheidung des Nachweisformats bei „normalen“ und „schmalen“ Baugruben finden sich im Abschlussbericht des vorherigen Forschungsvorhabens [21].



3.5.1 Nachweis in der Mitte der Längsseite

Fall a) „normale“ Baugrube mit $T \leq B$

$$z = T$$

$$l = \frac{L}{2}$$

$$\Delta h = \frac{\Delta h(b = 0) + \Delta h(b = T/2)}{2}$$

$$S'_k = \frac{\Delta h}{T} \cdot \gamma_w \cdot T \cdot \frac{T}{2} \text{ [kN/m]}$$

$$G'_k = \gamma' \cdot T \cdot \frac{T}{2} \text{ [kN/m]}$$

$$\mu = \frac{S'_k \cdot \gamma_H}{G'_k \cdot \gamma_{G, stb}}$$

Fall b) „schmale“ Baugrube mit $T > B$

Der Terzaghi-Körper ist breiter als die halbe Baugrubenbreite. Daher wird der Nachweis ersatzweise an einem Körper der Breite $b = B/2$ geführt.

$$z = T$$

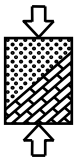
$$l = \frac{L}{2}$$

$$\Delta h = \frac{\Delta h(b = 0) + \Delta h(b = B/2)}{2}$$

$$S'_k = \frac{\Delta h}{T} \cdot \gamma_w \cdot T \cdot \frac{B}{2} \text{ [kN/m]}$$

$$G'_k = \gamma' \cdot T \cdot \frac{B}{2} \text{ [kN/m]}$$

$$\mu = \frac{S'_k \cdot \gamma_H}{G'_k \cdot \gamma_{G, stb}}$$



3.5.2 Nachweis in der Mitte der Stirnseite

Fall a) „normale“ Baugrube mit $T \leq B$

$$z = T$$

$$b = \frac{B}{2}$$

$$\Delta h = \frac{\Delta h(l = 0) + \Delta h(l = T/2)}{2}$$

$$S'_k = \frac{\Delta h}{T} \cdot \gamma_w \cdot T \cdot \frac{T}{2} \text{ [kN/m]}$$

$$G'_k = \gamma' \cdot T \cdot \frac{T}{2} \text{ [kN/m]}$$

$$\mu = \frac{S'_k \cdot \gamma_H}{G'_k \cdot \gamma_{G, stb}}$$

Fall b) „schmale“ Baugrube mit $T > B$

Der Terzaghi-Körper ist breiter als die halbe Baugrubenbreite. Daher wird der Nachweis ersatzweise an einem Körper der Breite $l = B/2$ geführt.

$$z = T$$

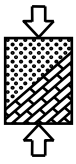
$$b = \frac{B}{2}$$

$$\Delta h = \frac{\Delta h(l = 0) + \Delta h(l = B/2)}{2}$$

$$S'_k = \frac{\Delta h}{T} \cdot \gamma_w \cdot T \cdot \frac{B}{2} \text{ [kN/m]}$$

$$G'_k = \gamma' \cdot T \cdot \frac{B}{2} \text{ [kN/m]}$$

$$\mu = \frac{S'_k \cdot \gamma_H}{G'_k \cdot \gamma_{G, stb}}$$



3.5.3 Nachweis in der Ecke

Fall a) „normale“ Baugrube $T \leq B$

$$z = T$$

$$\Delta h = \frac{\Delta h(b = l = 0) + \Delta h(b = 0 \text{ und } l = T/2) + \Delta h\left(b = \frac{T}{2} \text{ und } l = 0\right)}{3}$$

$$S'_k = \frac{\Delta h}{T} \cdot \gamma_w \cdot T \cdot \left(\frac{T}{2}\right)^2 \cdot \frac{1}{2} \text{ [kN]}$$

$$G'_k = \gamma' \cdot T \cdot \left(\frac{T}{2}\right)^2 \cdot \frac{1}{2} \text{ [kN]}$$

$$\mu = \frac{S'_k \cdot \gamma_H}{G'_k \cdot \gamma_{G, stb}}$$

Fall b) „schmale“ Baugrube mit $T > B$

Der Terzaghi-Körper ist breiter als die halbe Baugrubenbreite. Daher wird der Nachweis ersatzweise an einem im Grundriss quadratischen Bruchkörper mit der Seitenlänge $B/2$ geführt.

$$z = T$$

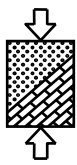
$$\Delta h$$

$$= \frac{\Delta h(b = l = 0) + 2 \cdot \Delta h\left(b = 0 \text{ und } l = \frac{B}{2}\right) + 2 \cdot \Delta h\left(b = \frac{B}{2} \text{ und } l = 0\right) + \Delta h\left(b = \frac{B}{2} \text{ und } l = \frac{B}{2}\right)}{6}$$

$$S'_k = \frac{\Delta h}{T} \cdot \gamma_w \cdot T \cdot \left(\frac{B}{2}\right)^2 \text{ [kN]}$$

$$G'_k = \gamma' \cdot T \cdot \left(\frac{B}{2}\right)^2 \text{ [kN]}$$

$$\mu = \frac{S'_k \cdot \gamma_H}{G'_k \cdot \gamma_{G, stb}}$$



3.5.4 Interpolation zwischen den Knoten

Die Stellen in den zuvor beschriebenen Abschnitten 3.5.1 bis 3.5.3, an denen das Potential für den Nachweis zu ermitteln ist, fallen nicht zwingend mit Knoten des FE-Netzes zusammen. Da mit dem FEFLOW®-Modul aber nur Potentiale an Knoten ausgelesen werden können, war es notwendig für solche Fälle eine Interpolation zu implementieren. Die folgende Abbildung zeigt zwei Fälle für die Längsseite, bei denen eine Interpolation vorzunehmen ist.

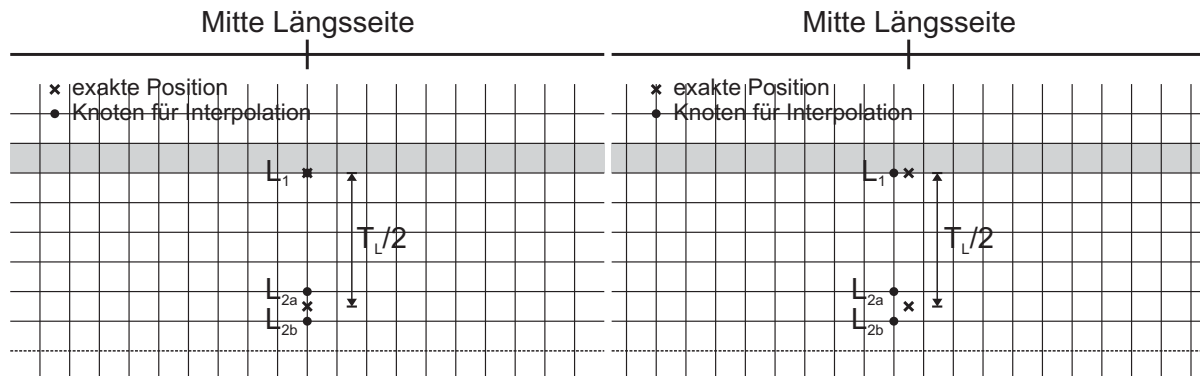
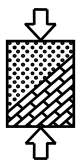


Abbildung 13: Interpolation zwischen den Knoten an der Längsseite

In beiden Fällen ist die halbe Einbindetiefe $T/2$ kein Vielfaches des Knotenrasters, so dass lediglich das Potential L_1 mit $\Delta h = 0$ (vgl. Abbildung 12) an der Verbauwand direkt ermittelt werden kann. Für das Potential L_2 mit $\Delta h = T/2$ ist hingegen eine Interpolation zwischen den Werten für die benachbarten Knoten L_{2a} und L_{2b} vorzunehmen. Für den Fall auf der rechten Seite der Abbildung fällt zusätzlich auch nicht die Seitenmitte mit einer Knotenreihe zusammen. Wenn dies der Fall ist, kann die Mitte aber nur genau zwischen zwei Knotenreihen liegen. Aus Gründen der Symmetrie für diese beiden Knotenreihen können nur dieselben Ergebnisse vorliegen, so dass sich eine Interpolation parallel zur Verbauwand erübrigt.

Analog zu der beschriebenen Vorgehensweise für die Mitte der Längsseite wurden auch entsprechende Interpolationen für die Stirnseite und die Ecke sowie bei abgetreppten Verbauwänden implementiert. Weitere Details hierzu können dem Anhang J entnommen werden.

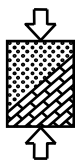


4 Überprüfung des FEFLOW®-Moduls

Während der Entwicklung und stetigen Erweiterung des zuvor beschriebenen FEFLOW®-Moduls wurden zeitgleich Kontrollrechnungen durchgeführt, um mögliche Fehler innerhalb des Programmablaufs frühzeitig identifizieren und beseitigen zu können. Neben diesen Kontrollrechnungen wurden nach der Fertigstellung des „Basis-Moduls“, welches alle Funktionen besitzt, um die Berechnungen für nicht abgetreppte Verbauwände in homogenem, isotropem Baugrund durchzuführen, umfangreiche Testrechnungen mit FEFLOW® bzw. dem Modul angestellt und mit den Ergebnissen des ersten Forschungsvorhabens für günstigen Baugrund und $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$ verglichen. Die folgende Abbildung zeigt die Abweichung der mit dem Modul erhaltenen Einbindetiefen T/H (vgl. Abschnitt 5.1.1) von denen des ersten Forschungsvorhabens in Prozent.

B/L	Ecke					Stirnseite					Längsseite							
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	0,25		1,4	1,1	2,2	1,9	0,25						0,25					
	0,50		1,7	1,1	1,9	1,6	0,50						0,50					
	1,00		0,4	0,2	-0,8	-0,5	1,00		0,2	-0,9	-0,1	0,9	1,00		0,2	-0,9	-0,1	0,9
	1,50	-1,4	-0,1	-0,3	-0,3	-0,8	1,50	-0,7	-1,0	-2,3	-2,0	-0,3	1,50	-0,7	-1,0	-2,3	-2,0	-0,3
	2,00	0,6	0,8	-0,5	0,8	-0,6	2,00	-1,4	-0,2	0,8	-0,2	0,5	2,00	0,0	-0,2	0,8	-0,2	0,5
	3,00	1,7	0,7	0,8	0,1	1,0	3,00	0,8	-0,9	-1,2	0,0	0,8	3,00	0,8	-0,9	-1,2	0,0	0,8
	5,00	1,6	0,7	0,3	1,3	0,8	5,00	0,0	0,8	0,0	-2,5	1,0	5,00	0,0	0,8	0,0	-2,5	1,0
0,5	0,25		2,2	1,8	0,5	0,4	0,25						0,25		1,7	1,1	0,8	0,7
	0,50		1,3	1,8	1,0	1,9	0,50						0,50		0,0	1,4	1,1	2,0
	1,00	0,5	-0,1	0,4	0,0	-0,1	1,00	-0,5	0,7	1,1	-1,1	-1,6	1,00	1,0	0,7	0,8	0,3	0,8
	1,50	0,8	0,0	0,4	0,9	1,3	1,50	-0,2	0,2	-0,6	-0,1	0,1	1,50	0,0	0,6	-1,5	0,3	0,8
	2,00	1,4	1,2	-1,0	0,2	1,2	2,00	1,3	-0,4	-1,4	-0,4	0,3	2,00	2,2	1,6	1,3	1,4	1,1
	3,00	1,9	1,1	-0,8	0,2	1,2	3,00	0,0	0,0	-0,4	-0,6	0,0	3,00	0,0	0,6	-0,5	-0,7	0,7
	5,00	2,1	1,0	0,9	0,6	0,3	5,00	-1,5	-0,8	-0,5	-1,0	-0,5	5,00	0,6	-0,9	-1,8	-2,0	-2,0
0,3	0,25		2,2	1,1	1,3	2,2	0,25						0,25		1,3	1,6	2,2	2,1
	0,50		1,6	1,8	3,0	2,9	0,50						0,50		1,9	0,8	1,5	1,9
	1,00	-0,5	-1,4	-2,2	0,0	0,2	1,00	-1,4	-1,6	0,0	-0,5	-0,8	1,00	-1,4	1,1	-0,9	0,3	-1,4
	1,50	-0,3	-1,3	0,2	-1,2	0,0	1,50	-0,4	-1,9	-1,4	-1,8	-0,6	1,50	-1,3	1,1	0,6	0,8	-0,5
	2,00	1,9	-0,1	0,0	-0,8	-0,4	2,00	-1,3	0,0	-0,5	-1,3	-1,2	2,00	-1,4	-0,5	0,0	-1,8	0,2
	3,00	1,3	1,0	1,0	0,1	0,3	3,00	0,0	-0,7	-0,4	-1,9	-1,0	3,00	0,6	-0,9	-1,7	0,3	-0,3
	5,00	2,5	1,6	0,9	-0,3	-0,1	5,00	-0,6	0,3	-1,3	-1,0	-2,2	5,00	0,6	-0,6	-0,6	-2,7	-2,7

Abbildung 14: Prozentuale Abweichung der Einbindetiefe T/H vom vorherigen Forschungsvorhaben

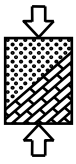


Man erkennt, dass die Abweichungen sehr gering sind und im Mittel nur etwa 1% betragen. Dieser Vergleich mit den Ergebnissen, welche aus händisch erzeugten Modellen in GGU-SSFlow [11] und Sofistik-Hydra [13] erhalten wurden, zeigt, dass die durch das FEFLOW®-Modul automatisch vorgenommene Modellanpassung bzw. iterative Ermittlung der erforderlichen Einbindetiefe fehlerfrei funktioniert und richtige Ergebnisse liefert.

Die im Rahmen beider Forschungsvorhaben verwendeten Softwareprogramme GGU-SSFlow, Sofistik-Hydra und FEFLOW® basieren alle drei auf der Finite-Elemente-Methode und der Potentialtheorie, so dass eventuelle Abweichungen nur aus den verwendeten bzw. erstellten Modellen, der Anforderung an die Genauigkeit des Ausnutzungsgrades $\mu = 1,0$ beim Nachweis und dem Iterationsprozess an sich, egal ob „händisch“ oder unter Verwendung des FEFLOW®-Moduls, entstehen können.

B/L	Ecke					Stirnseite					Längsseite							
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	0,25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	1,50	-0,4	0,6	0,0	0,0	-0,1	1,50	0,0	0,0	2,2	0,0	-1,4	1,50	0,0	0,0	2,2	0,0	-1,4
	2,00	-0,3	-0,2	1,3	0,3	0,8	2,00	1,4	0,3	0,2	0,5	-0,6	2,00	0,0	0,3	0,2	0,5	-0,6
	3,00	0,0	0,0	-0,3	0,0	0,0	3,00	-1,3	2,2	2,3	0,0	0,0	3,00	-1,3	2,2	2,3	0,0	0,0
	5,00	-0,4	-0,3	0,7	0,0	0,0	5,00	0,3	-1,4	-0,5	0,0	0,0	5,00	0,3	-1,4	-0,5	0,0	0,0
0,5	0,25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	1,50	0,3	-0,2	0,4	-0,7	-0,3	1,50	-0,9	-0,8	0,0	-0,1	0,1	1,50	-0,7	0,2	0,0	-2,8	0,2
	2,00	-0,6	0,3	0,5	1,0	-0,7	2,00	-1,1	0,2	1,9	1,0	-2,8	2,00	-1,8	-2,5	0,0	-0,2	-2,1
	3,00	-1,6	-0,3	0,4	0,0	0,0	3,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,00	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0
	5,00	-0,9	0,0	-0,8	0,0	0,0	5,00	0,0	-0,3	0,3	0,0	0,0	5,00	-1,3	1,3	0,6	0,0	0,0
0,3	0,25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	1,50	0,4	0,9	-0,5	-0,4	-0,1	1,50	0,0	1,2	0,3	-0,9	-0,6	1,50	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0
	2,00	-1,3	0,8	-0,4	0,5	1,2	2,00	-0,2	-0,8	-0,9	-0,3	-0,2	2,00	0,0	1,0	0,0	1,4	0,0
	3,00	-0,3	0,7	0,4	0,0	0,0	3,00	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	3,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	5,00	-0,1	0,0	-0,8	0,0	0,0	5,00	0,3	-0,3	1,6	0,0	0,0	5,00	-1,3	1,3	0,0	0,0	0,0

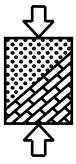
Abbildung 15: Prozentuale Abweichung der Einbindetiefe T/H zwischen Version 175 und 194



Bei der Verwendung des Moduls sind in der Eingabedatei Schätzwerte für die Einbindetiefe anzugeben. Um den Einfluss der Wahl der Schätzwerte zu überprüfen, wurden daher nach einer Erweiterung des Moduls ein Teil der Modelle mit identischen und ein Teil der Modelle mit abweichenden Schätzwerten neu berechnet. In Abbildung 15 ist die prozentuale Abweichung der Einbindetiefe T/H zwischen den beiden verschiedenen Modulversionen aufgeführt. Dabei wurden bei den gelb hinterlegten Modellen für beide Versionen dieselben und bei den übrigen Modellen abweichende Schätzwerte verwendet. Wie man sieht, werden bei selben Schätzwerten auch exakt dieselben Ergebnisse erhalten. Dies zeigt zunächst, dass die Modulerweiterung von Version 175 auf Version 194 keine Fehler beinhaltet. Weiterhin ist aber auch zu sehen, dass die Wahl des Schätzwertes nur sehr geringen Einfluss auf das Endergebnis hat und somit der Iterationsprozess bzw. die darin enthaltenen Sicherheitsbedingungen hinreichend genau definiert wurden.

Auch bei den weiteren Modulerweiterungen bzw. bei neuen Versionen wurden Vergleichsrechnungen durchgeführt, um Fehler auszuschließen.

Unabhängig davon wurden alle neuen Ergebnisse stichprobenhaft mit dem Programm GGU überprüft (siehe Abschnitt 5).



5 Homogener und isotroper Baugrund – Erweiterung für den räumlichen Fall

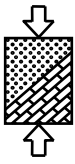
Im Rahmen des vorherigen Forschungsvorhabens wurden bereits für günstigen Baugrund und eine Wichte unter Auftrieb von $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$ umfangreiche Berechnungen angestellt und in Form von Bemessungsdiagrammen aufbereitet (vgl. [21]). Mit Hilfe des neu entwickelten FEFLOW®-Moduls und der damit einhergehenden Verringerung des Arbeitsaufwands konnten nun auch für ungünstigen Baugrund und verschiedene Wichten unter Auftrieb Untersuchungen für den räumlichen Fall angestellt werden. Der abgedeckte Wertebereich bezüglich des Baugrunds entspricht den vorherigen Untersuchungen für den ebenen Fall und kann folgender Tabelle entnommen werden.

Wichtenverhältnis: γ'/γ_w	0,9	1,0	1,1	1,2
$\gamma_H = 1,30$ (günstig)	x	x	x	x
$\gamma_H = 1,60$ (ungünstig)	x	x	x	x

Tabelle 4: Wertebereich des untersuchten Baugrunds

Der Wertebereich der untersuchten geometrischen Verhältnisse kann Tabelle 2 entnommen werden und erstreckt sich von schmalen ($B/H = 0,25$) bis hin zu breiten Baugruben ($B/H = 5,0$), von quadratischen ($B/L = 1,0$) bis hin zu langgestreckten Baugruben ($B/L = 0,3$) sowie von geringmächtigen ($S/H = 1,0$) bis hin zu mächtigen Grundwasserleitern ($S/H = 3,0$). Weiterhin wurde analog zu den vorherigen Untersuchungen eine Unterscheidung zwischen dem Eckbereich und der Stirn- bzw. der Längsseite vorgenommen.

Unabhängig von den bereits beschriebenen Kontrollberechnungen zur Überprüfung des Moduls (vgl. Kapitel 4) wurden alle neu erhaltenen Ergebnisse stichprobenartig durch Vergleichsrechnungen mit GGU-SSFlow überprüft. Hierzu wurde mit GGU-SSFlow keine iterative Ermittlung der Einbindetiefe durchgeführt, sondern die mittels FEFLOW® erhaltenen Einbindetiefen übernommen und der jeweilige Ausnutzungsgrad ermittelt. Die folgende Abbildung zeigt, für welche der Modelle eine Überprüfung durchgeführt wurde.



Mit GGU-SSFlow berechnete Modell											
günstig, $\gamma' = 9 \text{ kN/m}^3$						ungünstig, $\gamma' = 9 \text{ kN/m}^3$					
S/H	1	1,5	2	2,5	3	S/H	1	1,5	2	2,5	3
B/H						B/H					
0,25		X			X	0,25					X
0,5	X		X	X		0,5					
1,0		X			X	1,0	X			X	
1,5	X		X	X		1,5			X		
2,0		X			X	2,0		X			
3,0	X		X	X		3,0					
5,0		X			X	5,0	X				X
günstig, $\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$						ungünstig, $\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$					
S/H	1	1,5	2	2,5	3	S/H	1	1,5	2	2,5	3
B/H						B/H					
0,25					X	0,25					X
0,5						0,5					
1,0	X			X		1,0	X			X	
1,5			X			1,5			X		
2,0		X				2,0		X			
3,0						3,0					
5,0	X				X	5,0	X				X
günstig, $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$						ungünstig, $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$					
S/H	1	1,5	2	2,5	3	S/H	1	1,5	2	2,5	3
B/H						B/H					
0,25	¹⁾	X	X	X	X	0,25					X
0,5	¹⁾	X	X	X	X	0,5					
1,0	X	X	X	X	X	1,0	X			X	
1,5	X	X	X	X	X	1,5			X		
2,0	X	X	X	X	X	2,0		X			
3,0	X	X	X	X	X	3,0					
5,0	X	X	X	X	X	5,0	X				X
1) Nicht berechnet, da $T/H \approx S/H \approx 1,0$											
günstig, $\gamma' = 12 \text{ kN/m}^3$						ungünstig, $\gamma' = 12 \text{ kN/m}^3$					
S/H	1	1,5	2	2,5	3	S/H	1	1,5	2	2,5	3
B/H						B/H					
0,25					X	0,25					X
0,5						0,5					
1,0	X			X		1,0	X			X	
1,5			X			1,5			X		
2,0		X				2,0		X			
3,0						3,0					
5,0	X				X	5,0	X				X

Abbildung 16: Mittels GGU-SSFlow berechnete Modelle

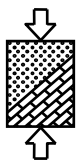
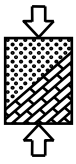


Abbildung 17 zeigt beispielhaft die Ausnutzungsgrade, welche auf Basis der Kontrollrechnungen mit GGU-SSFlow für günstigen Baugrund und eine Wichte unter Auftrieb von $\gamma' = 9 \text{ kN/m}^3$ ermittelt wurden.

B/L	Ecke					Stirnseite					Längsseite							
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	0,25		1,012			1,008	0,25		1,000			0,998	0,25		1,000			0,998
	0,50	1,013		1,005	1,009		0,50	1,013		1,002	1,007		0,50	1,013		1,002	1,007	
	1,00		1,016			1,013	1,00		1,005			1,011	1,00		1,005			1,011
	1,50	1,015		1,002	1,006		1,50	1,019		1,005	0,997		1,50	1,019		1,007	0,998	
	2,00		1,020			1,012	2,00		1,012			1,015	2,00		1,012			1,013
	3,00	1,007		1,014	0,995		3,00	1,019		1,012	1,011		3,00	1,017		1,015	1,013	
	5,00		0,977			0,980	5,00		0,994			0,983	5,00		0,998			0,980
0,5	0,25		0,992			1,007	0,25		1,005			0,997	0,25		0,998			1,015
	0,50	1,018		1,004	0,995		0,50	1,013		1,011	1,002		0,50	1,010		1,002	1,006	
	1,00		1,010			1,013	1,00		1,006			1,009	1,00		1,015			1,019
	1,50	1,022		1,016	1,005		1,50	1,020		1,009	0,998		1,50	1,017		1,014	1,005	
	2,00		1,007			1,004	2,00		1,016			1,016	2,00		1,020			1,017
	3,00	0,957		0,975	0,984		3,00	0,979		0,991	0,986		3,00	0,930		0,981	0,973	
	5,00		0,983			0,988	5,00		0,983			1,001	5,00		0,952			0,968
0,3	0,25		0,995			1,008	0,25		1,000			0,997	0,25		1,007			1,006
	0,50	0,999		1,003	1,011		0,50	1,010		0,996	1,010		0,50	1,017		1,010	1,014	
	1,00		1,030			1,008	1,00		1,012			1,013	1,00		1,000			1,016
	1,50	1,015		1,013	1,000		1,50	1,017		1,023	1,011		1,50	1,022		1,022	1,008	
	2,00		1,014			0,998	2,00		1,012			1,005	2,00		1,008			1,009
	3,00	0,939		0,996	0,978		3,00	0,974		0,985	0,982		3,00	0,966		0,976	0,990	
	5,00		0,978			0,993	5,00		0,989			1,009	5,00		0,993			0,978

Abbildung 17: Ausnutzungsgrade aus Nachrechnung mit GGU-SSFlow für günstigen Baugrund und $\gamma' = 9 \text{ kN/m}^3$

Man erkennt, dass die Ausnutzungsgrade alle etwa $\mu \approx 1,0$ betragen und die Abweichungen vom Sollwert in der Regel sehr gering sind. Einzig bei einigen wenigen breiten Baugruben ($B/H \geq 3,0$) treten Abweichungen von $\Delta\mu > 3\%$ auf (rot hinterlegte Felder). Allerdings sind die hier erhaltenen Ausnutzungsgrade stets $\mu < 1,0$, so dass die mit FEFLOW® erhaltenen Einbindetiefen auf der sicheren Seite liegen. Zustande kommen die Abweichungen dadurch, dass bei den Kontrollrechnungen mit GGU-SSFlow und hierbei insbesondere bei großen bzw. breiten Baugruben auf eine ebenso feine Diskretisierung des Netzes wie bei den FEFLOW®-Berechnungen verzichtet wurde, um den Aufwand und den benötigten Speicher- bzw. Zeitbedarf zu reduzieren. Alle weiteren Ausnutzungsgrade für andere Wichten und ungünstigen Baugrund können dem Anhang B entnommen werden.



5.1 Bemessungsdiagramme für homogenen, isotropen Baugrund

Die Ergebnisse der Berechnungen für den räumlichen Fall und für homogenen, isotropen Baugrund in Form von Zahlenwerten können den Tabellen im Anhang A entnommen werden. Von den aus diesen Ergebnissen entwickelten dimensionslosen Bemessungsdiagramme sind in den folgenden beiden Abschnitten exemplarisch diejenigen für eine Wichte unter Auftrieb von $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$ abgebildet. Die übrigen Bemessungsdiagramme können ebenfalls Anhang A entnommen werden.

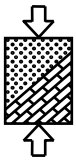
Anhand der Bemessungsdiagramme ist deutlich der Einfluss der Baugrubenbreite zu erkennen. Je geringer die Breite einer Baugrube ist, desto größer ist auch die erforderliche Einbindetiefe. Für kleine Baugruben mit $B/H \leq 2,0$ nimmt die erforderlichen Einbindetiefe sehr stark zu, da hier durch die starke Querschnittsverengung der größte Teil des Potentials im Inneren der Baugrube abgebaut wird.

Weiterhin ist der Einfluss der Aquifermächtigkeit zu erkennen. Da bei geringmächtigen Aquiferen unterhalb des Verbauwandfusses nur ein begrenzter Durchflussquerschnitt zur Verfügung steht, findet auf dem horizontalen Fließweg ein größerer Potentialabbau statt. Dies führt wiederum dazu, dass bei geringmächtigen Aquiferen geringere Einbindetiefen als bei sehr mächtigen Aquiferen erforderlich sind.

Vor allem zeigen die Diagramme aber, dass aufgrund der räumlichen Zuströmung in den Ecken von Baugruben teils wesentlich größere Einbindetiefen als an den Seiten erforderlich sind. Weiterhin ist die erforderliche Einbindetiefe an der schmälere Seite stets größer als an der Längsseite. Mit abnehmender Baugrubenbreite werden diese Unterschiede jedoch immer geringer, da bei kleinen Baugruben ohnehin der größte Teil des Potentialabbaus im Baugrubeninneren stattfindet.

Einige der Kurven, insbesondere in den Diagrammen für die Ecken mit geringer Wichte oder ungünstigem Baugrund (vgl. z.B. Abbildung 21), weisen einen nicht ganz stetigen Verlauf auf. Diese Unstetigkeiten treten dann auf, wenn die Einbindetiefe größer als die Baugrubenbreite wird, was in den Bemessungsdiagrammen durch eine gestrichelte Linie mit der Eigenschaft $T/H = B/H$ gekennzeichnet ist. Ursache hierfür ist, dass die Breite des zugrundegelegten Versagenskörpers dann nicht mehr $T/2$ sondern nur noch $B/2$ beträgt und in der Ecke die Grundrissform vom Dreieck zum Quadrat wechselt (vgl. Abschnitt 3.5).

Weiterhin fällt auf, dass sich die Kurven für mächtige Aquifere mit $S/H \geq 2,5$ teilweise überlagern (vgl. z.B. Abbildung 18, oben). Dies liegt daran, dass der Einfluss der Aquifermächtigkeit mit zunehmender Größe desselben immer mehr abnimmt und sich die erforderlichen Einbindetiefen immer mehr annähern. Infolge der zulässigen Toleranzen hinsichtlich der Genauigkeit bei der Nachweisführung kann es dann in wenigen Fällen zu diesen Überlagerungen kommen.



5.1.1 Günstiger Baugrund mit einer Wichte unter Auftrieb von $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$

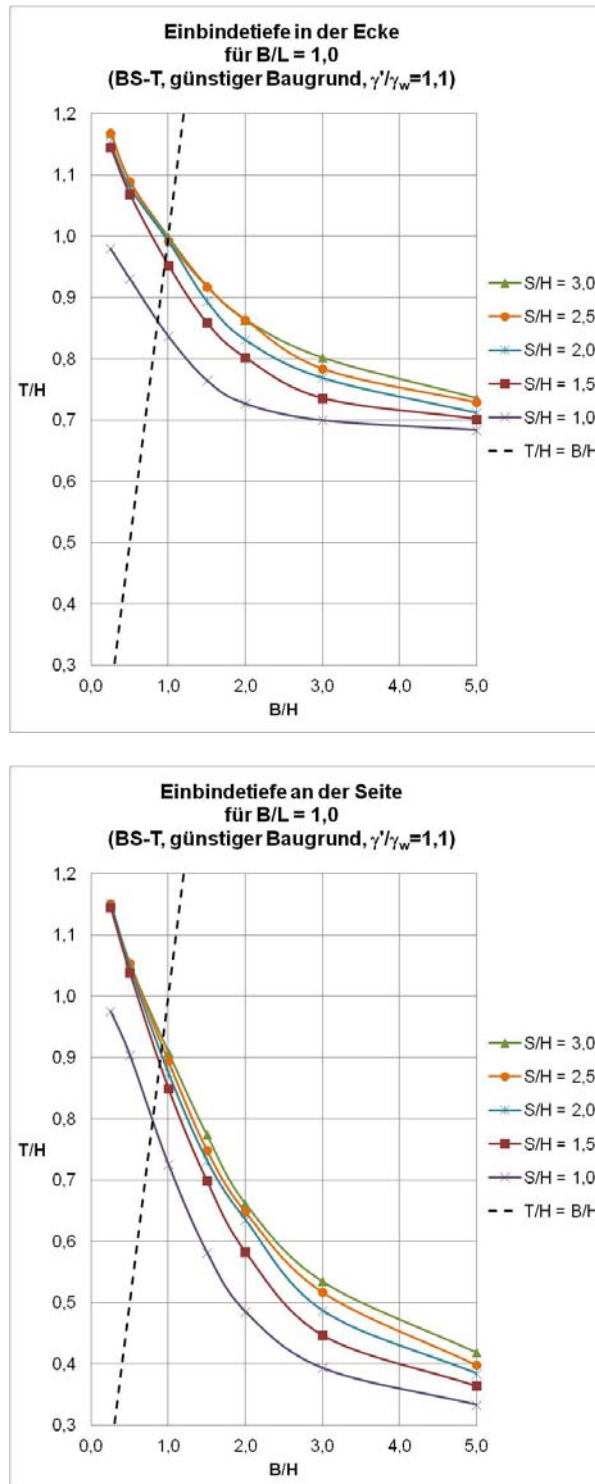


Abbildung 18: Bemessungsdiagramme für quadratische Baugruben in günstigem Baugrund mit $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$

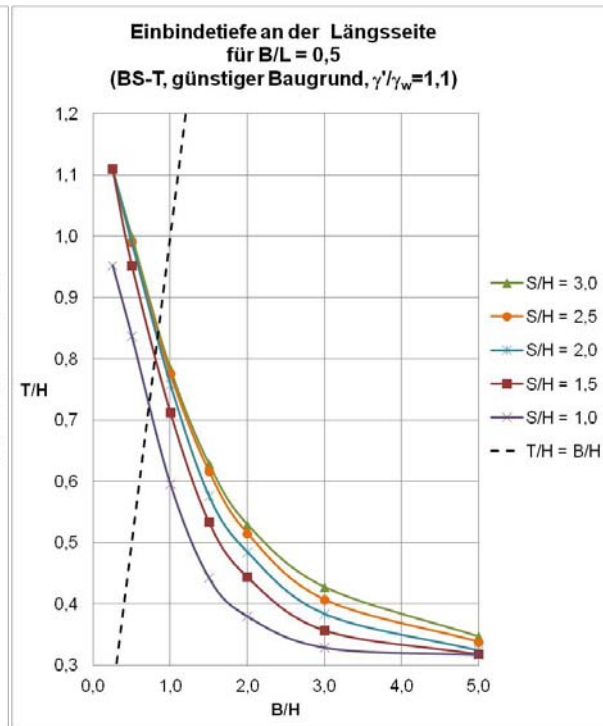
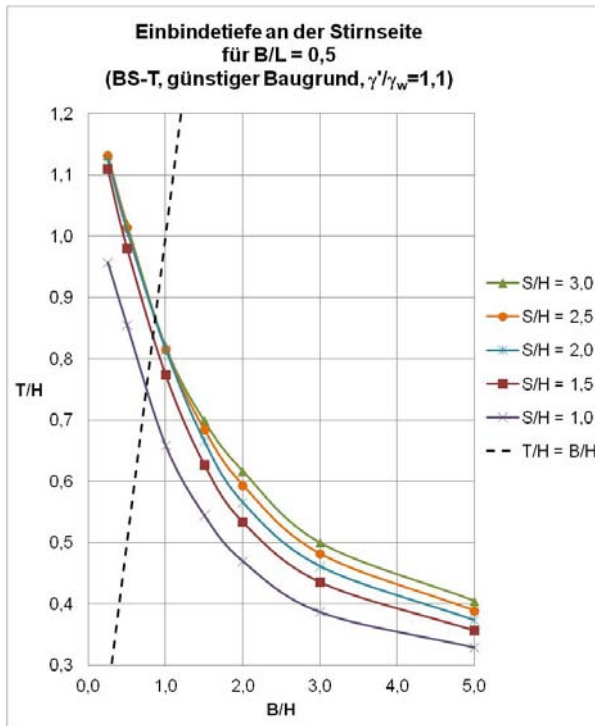
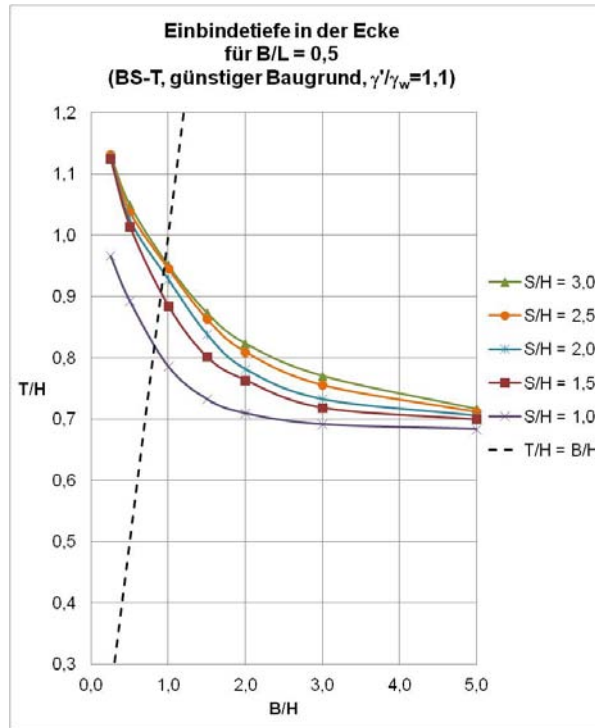
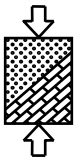


Abbildung 19: Bemessungsdiagramme für rechteckige Baugruben in günstigem Baugrund mit $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$

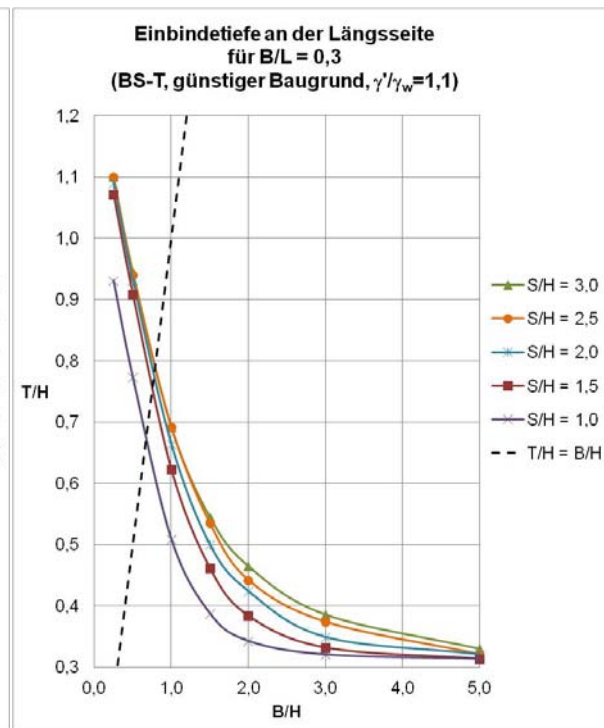
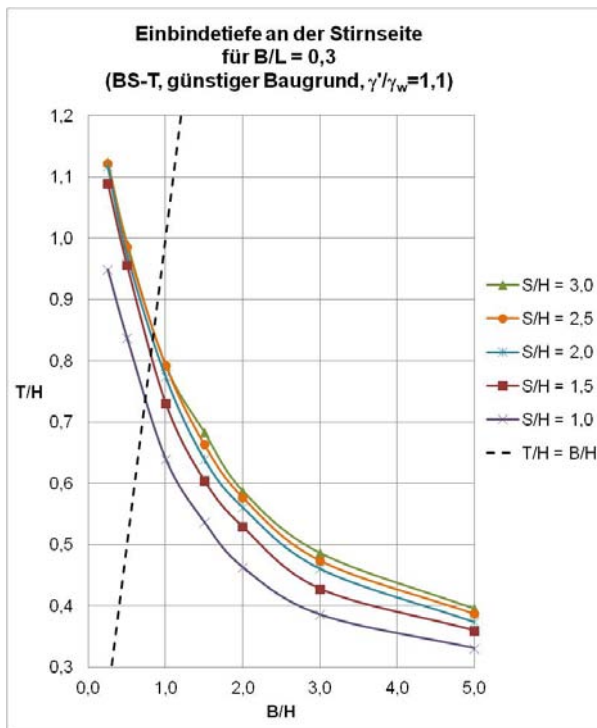
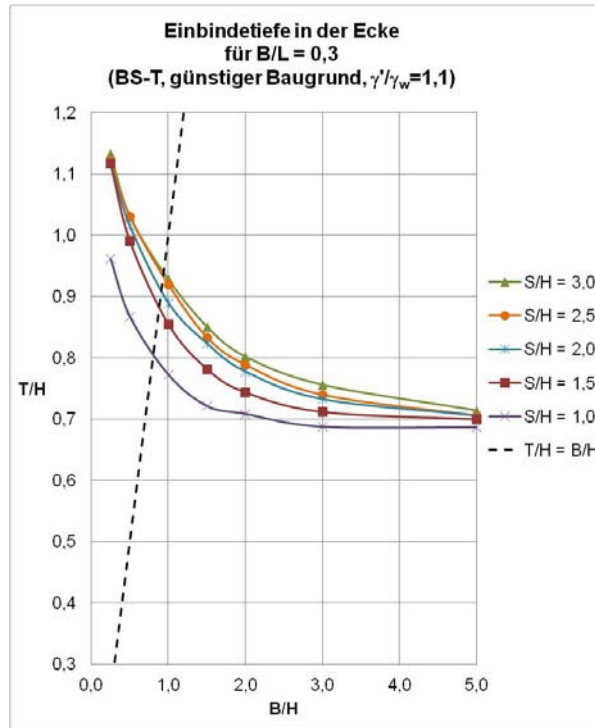
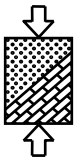
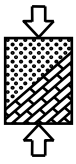


Abbildung 20: Bemessungsdiagramme für langgestreckte Baugruben in günstigem Baugrund mit $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$



5.1.2 Ungünstiger Baugrund mit einer Wichte unter Auftrieb von $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$

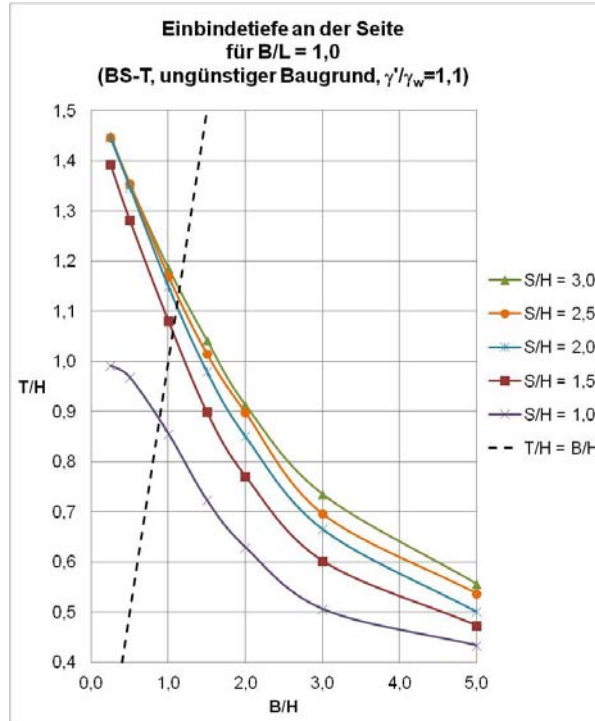
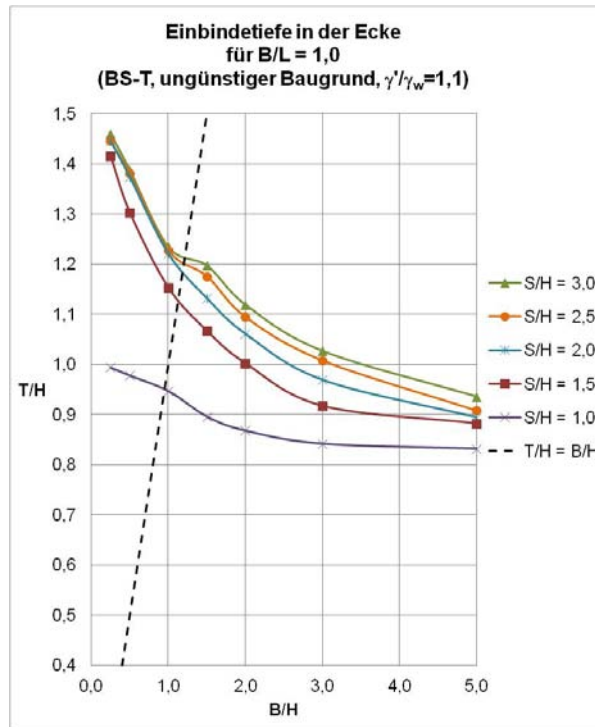


Abbildung 21: Bemessungsdiagramme für quadratische Baugruben in ungünstigem Baugrund mit $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$

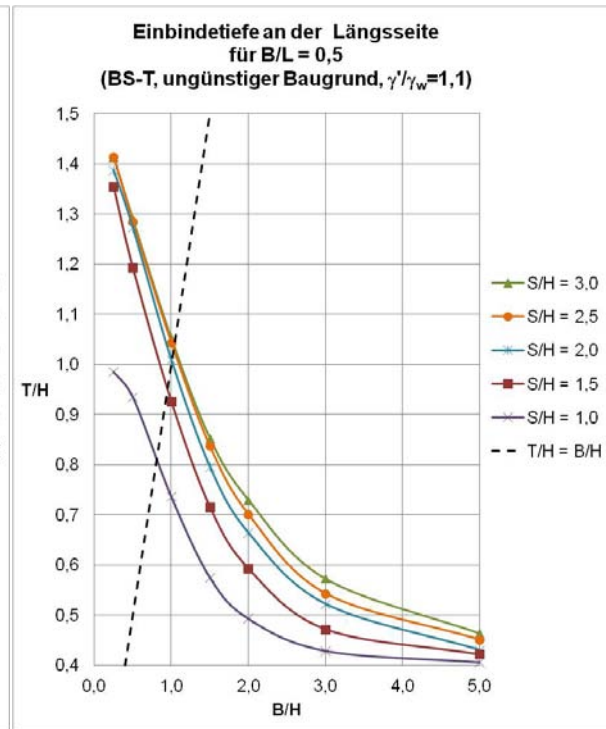
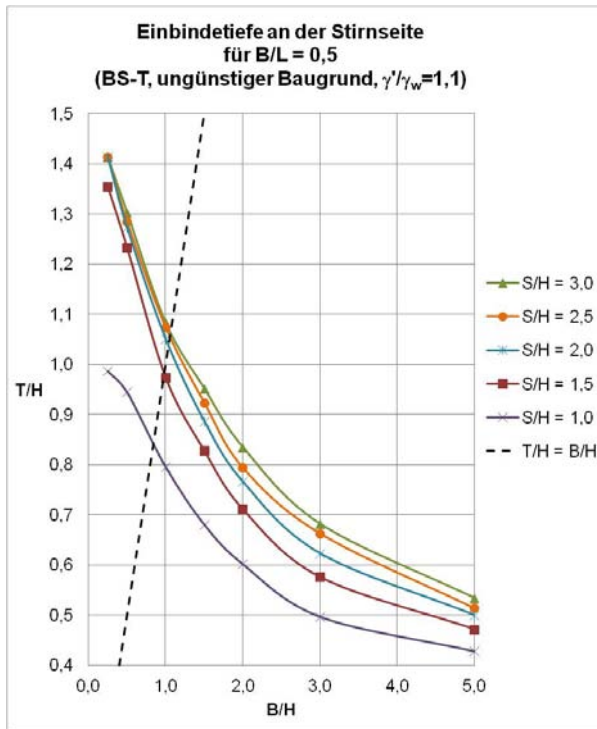
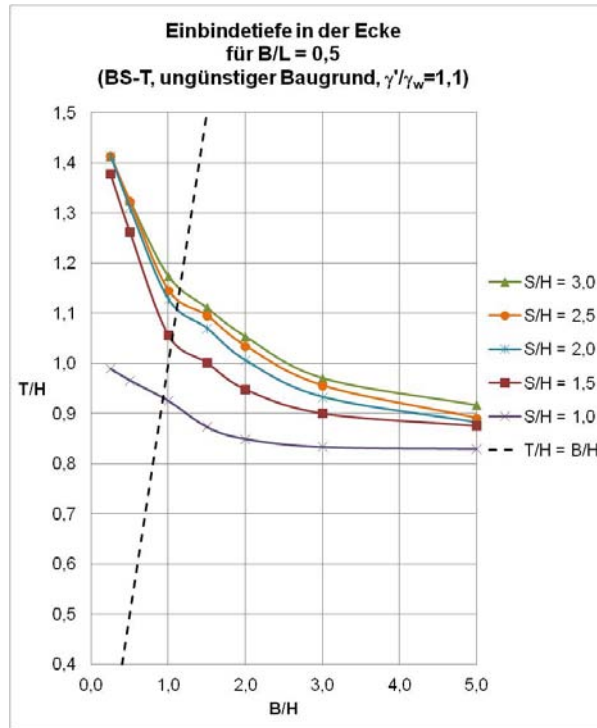
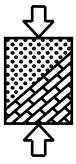


Abbildung 22: Bemessungsdiagramme für rechteckige Baugruben in ungünstigem Baugrund mit $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$

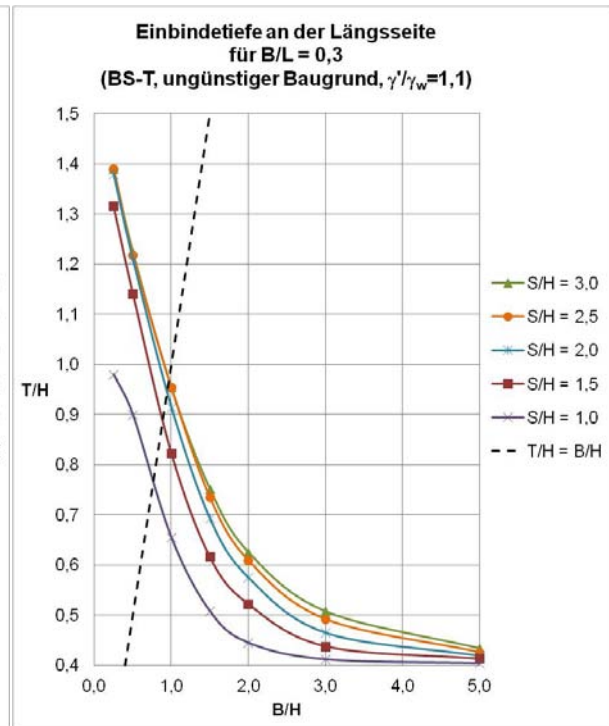
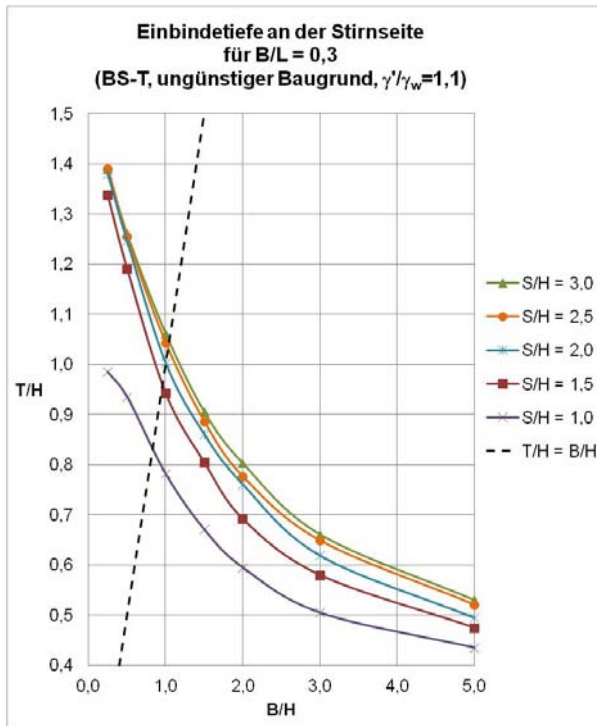
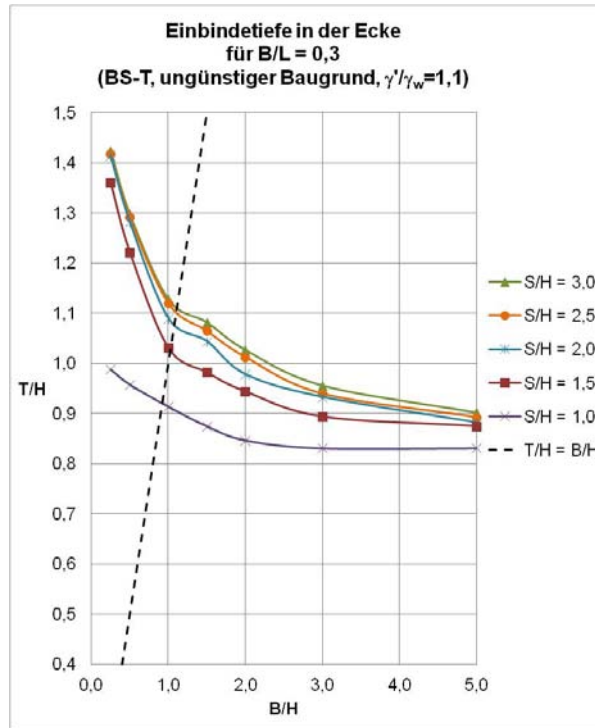
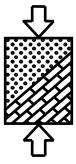
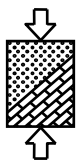


Abbildung 23: Bemessungsdiagramme für langgestreckte Baugruben in ungünstigem Baugrund mit $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$



5.2 Interpolationsfunktion für verschieden Wichten

Im vorangegangenen Abschnitt wurden die aus den Ergebnissen entwickelten Bemessungsdiagramme für eine Wichte unter Auftrieb von $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$ exemplarisch vorgestellt. Dass die Wichte einen entscheidenden Einfluss auf die erforderliche Einbindetiefe hat und nicht vernachlässigt werden kann, zeigt die folgende Abbildung.

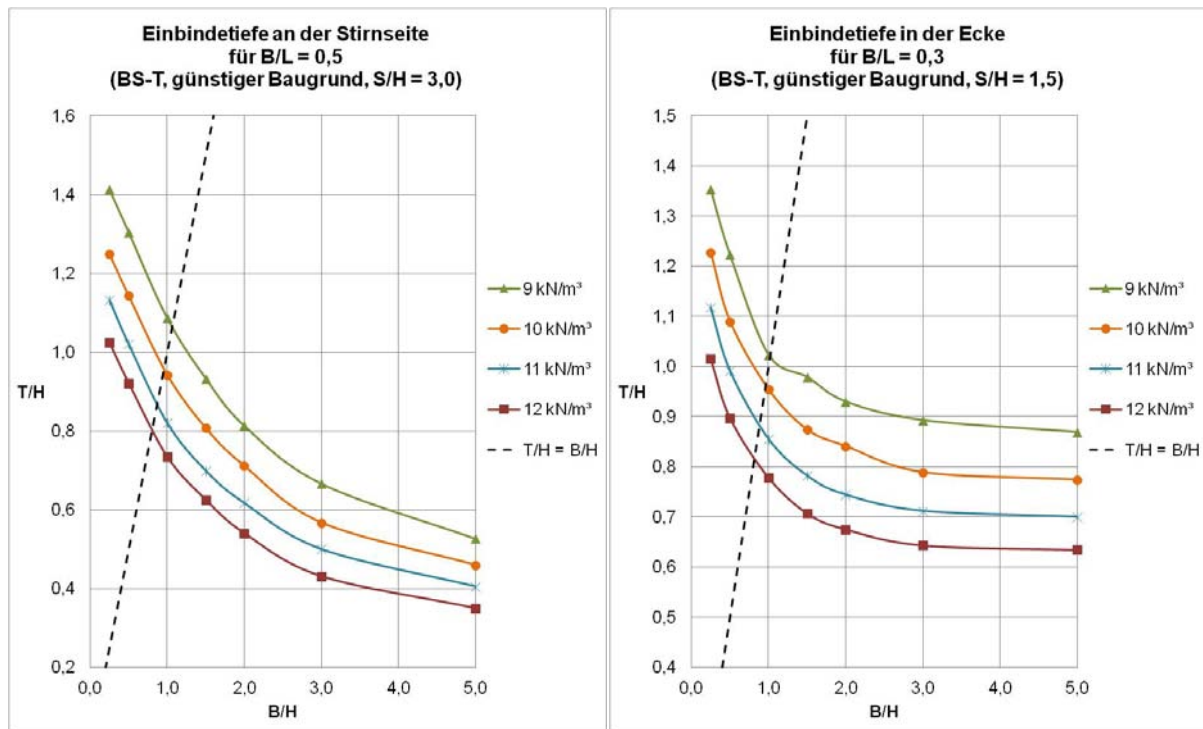
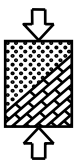


Abbildung 24: Vergleich der erforderlichen Einbindetiefe für verschiedene Wichten

Anhand von Abbildung 24 ist zu sehen, dass die erforderliche Einbindetiefe mit abnehmender Wichte deutlich zunimmt. Daher wurden für vier verschiedenen Wichten Berechnungen durchgeführt und daraus die im Anhang A enthaltenen 64 Diagramme für homogenen, isotropen Baugrund erstellt.

Um die Vielzahl der Diagramme für den Anwender zu reduzieren, wurde schließlich eine Interpolationsfunktion getestet, welche im Rahmen des vorherigen Forschungsvorhabens entwickelt wurde. Diese ermöglicht es, für beliebige Wichten unter Auftrieb γ' die erforderliche Einbindetiefe auf der Basis der Ergebnisse für die Referenzwichte $\gamma'_{\text{ref}} = 11 \text{ kN/m}^3$ zu ermitteln.



Hierzu ist lediglich die für die Referenzwichte erforderliche Einbindetiefe aus dem zugehörigen Diagramm abzulesen und entsprechend der folgenden Gleichung mit einem Faktor zu multiplizieren, der die vorhandene Wichte enthält.

$$\frac{T}{H}(Y') = \frac{T}{H}(Y'_{\text{ref}}) \cdot \left(\frac{Y'_{\text{ref}}}{Y'}\right)^{\sqrt{2}} \quad (2)$$

mit γ' Wichte unter Auftrieb des vorhandenen Baugrunds

$$\gamma'_{\text{ref}} = 11 \text{ kN/m}^3 \text{ (Referenzwichte)}$$

Bei Anwendung dieser Interpolationsfunktion ist zwischen günstigem und ungünstigem Baugrund zu unterscheiden und jeweils die entsprechende Einbindetiefe $T/H(\gamma'_{\text{ref}})$ zu verwenden.

Dass die Interpolationsfunktion für ebene Verhältnisse sehr gute Ergebnisse liefert, wurde im Abschlussbericht des vorherigen Forschungsvorhabens [21] bereits ausführlich beschrieben und dargelegt.

Auch für den räumlichen Fall liefert die Interpolationsfunktion mit wenigen Einschränkungen sehr gute Ergebnisse. Die folgende Abbildung vergleicht beispielhaft die Einbindetiefen T/H , welche durch die Berechnungen mit FEFLOW® erhalten wurden, mit denen, welche durch Anwendung der Interpolationsfunktion erhalten wurden.

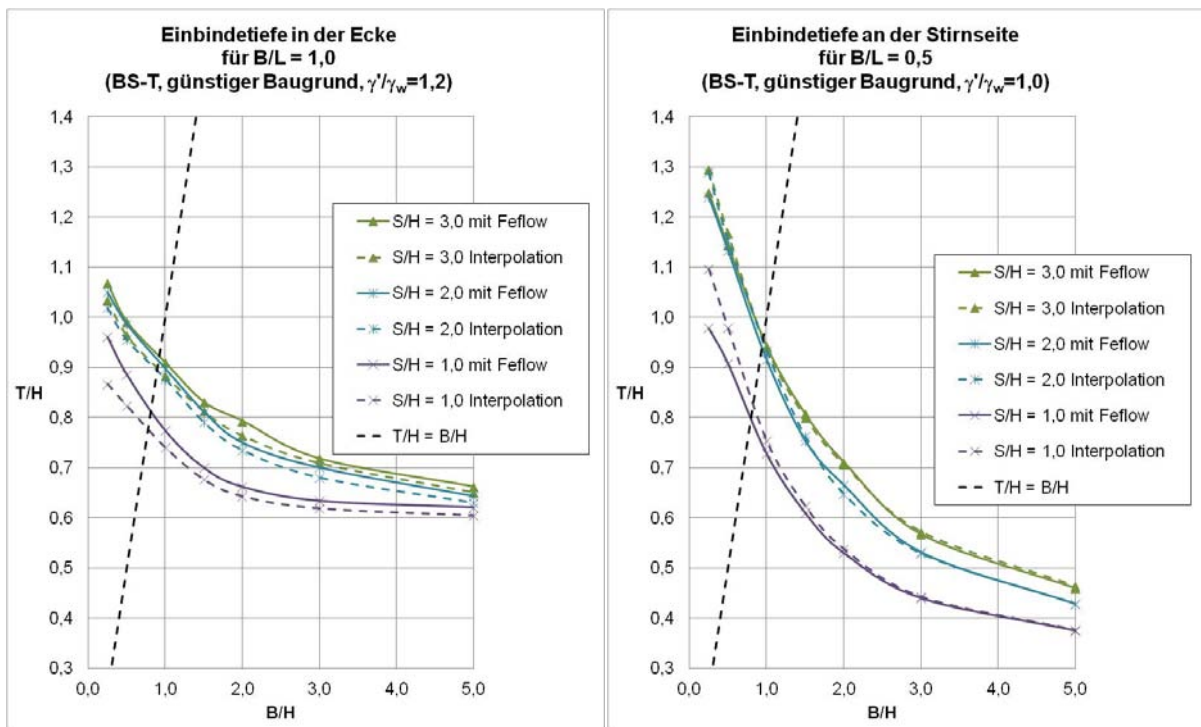
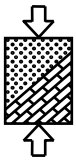


Abbildung 25: Gegenüberstellung der Einbindetiefen aus FEFLOW® und mittels Interpolationsfunktion mit $\gamma'/\gamma_w = 1,2$ (links) und $\gamma'/\gamma_w = 1,0$ (rechts)



Man erkennt, dass die Kurven über weite Strecken sehr gut übereinstimmen. Dies zeigt auch die folgende Abbildung, welche die Differenzen zwischen den Einbindetiefen enthält. Hellgrün hinterlegte Zellen deuten auf eine sehr gute Übereinstimmung mit $-0,02 \leq T/H(\text{Interpolation}) - T/H(\text{FEFLOW}®) \leq 0,05$ hin. Dunkelgrün hinterlegte Bereiche signalisieren stark auf der sicheren und dunkelrote Bereiche auf der unsicheren Seite liegende Ergebnisse ($-0,11 \leq \Delta T/H < -0,05$). Orange Bereiche liegen zwar auch auf der unsicheren Seite, allerdings nur gering.

S/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
0,25	-0,09	-0,03	-0,03	-0,02	-0,03
0,50	-0,06	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03
1,00	-0,03	-0,02	-0,02	-0,03	-0,03
1,50	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02
2,00	-0,02	-0,02	-0,02	-0,01	-0,03
3,00	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,01
5,00	-0,02	-0,02	-0,01	-0,01	-0,01

S/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
0,25	0,12	0,05	0,05	0,05	0,05
0,50	0,07	0,03	0,02	0,02	0,02
1,00	0,03	0,02	0,02	0,00	0,00
1,50	0,01	0,01	0,01	-0,01	-0,01
2,00	0,01	-0,01	-0,02	-0,01	0,00
3,00	0,00	0,01	0,00	-0,01	0,01
5,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00

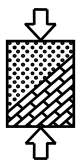
Abbildung 26: Differenz der Einbindetiefen T/H aus FEFLOW® und mittels Interpolation zu Abbildung 25 mit $\gamma'/\gamma_w = 1,2$ (links) und $\gamma'/\gamma_w = 1,0$ (rechts)

Die Abweichungen aller Einbindetiefen können dem Anhang C entnommen werden. In Summe kann festgehalten werden, dass die Ergebnisse der Interpolationsfunktion für $\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$ und $\gamma' = 12 \text{ kN/m}^3$ sehr gut mit den Ergebnissen der numerischen Berechnung übereinstimmen. Für $\gamma' = 9 \text{ kN/m}^3$ ergeben sich teils etwas größere Abweichungen, die jedoch alle auf der sicheren Seite liegen (vgl. Anhang C).

Aufgrund der Ergebnisse kann festgehalten werden, dass die Abweichungen für die Baugrubenecken größer als für die Seiten sind und die Abweichungen überall mit abnehmender Baugrubenbreite und mit abnehmender Aquifermächtigkeit zunehmen. Durch Auswertung der im Anhang enthaltenen Differenzen lässt sich jedoch ein Bereich definieren, innerhalb dessen die Anwendung der Interpolationsfunktion ohne Einschränkungen möglich ist. Dieser ist in der folgenden Abbildung grün hinterlegt.

B/L	0,3 / 0,5 / 1,0				
S/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
0,25	teils große Abweichungen		Anwendungsbereich ohne Einschränkungen		
0,50					
1,00					
1,50	Anwendungsbereich ohne Einschränkungen		Anwendungsbereich ohne Einschränkungen		
2,00					
3,00					
5,00					

Abbildung 27: Anwendungsbereich der Interpolationsfunktion

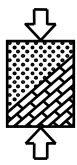


Innerhalb des durch die grüne Fläche begrenzten Wertebereichs treten maximal Abweichungen der Einbindetiefe von $-0,04 \leq \Delta T/H \leq 0,15$ auf. Bei einer angenommenen Wasserspiegeldifferenz von $H = 10$ m entspricht dies einer maximalen Unterschätzung der Einbindetiefe von $\Delta T/H = 40$ cm bzw. einer auf der sicheren Seite liegenden maximalen Überschätzung von $\Delta T/H = 1,5$ m.

Für den orange eingefärbten Übergangsbereich liegen die maximalen Abweichungen zwischen $-0,05 \leq \Delta T/H \leq 0,22$, so dass auch für diese Fälle das Sicherheitsniveau nicht maßgeblich überschritten wird, wohl aber eine deutliche Überdimensionierung möglich ist.

Die Anwendung der Interpolationsfunktion für den rot markierten Wertebereich hat teilweise sehr große Abweichungen von den Ergebnissen der numerischen Berechnungen von $-0,11 \leq \Delta T/H \leq 0,39$ zur Folge. Allerdings liegen innerhalb dieses Bereichs geringe Baugrubenbreiten in Kombination mit geringen Aquifermächtigkeiten vor. In diesen Fällen sollten die Verbauwände jedoch ohnehin ausreichend tief in den Grundwasserstauer einbinden, wodurch die Gefahr eines hydraulischen Grundbruchs ausgeschlossen werden kann und die Anwendung der Diagramme bzw. der Interpolationsfunktion hinfällig wird.

Letztlich kann festgehalten werden, dass sich die Anzahl der benötigten Bemessungsdiagramme durch die Interpolationsfunktion erheblich verringert, da innerhalb des angegebenen Wertebereichs von den Ergebnissen für $\gamma' = 11$ kN/m³ auf die erforderliche Einbindetiefe für beliebige Wichten geschlossen werden kann.



6 Anisotroper Baugrund

Infolge von Ablagerungsprozessen weisen Böden oftmals aufgrund der Orientierung der einzelnen Bodenpartikel eine in horizontaler Richtung gegenüber der vertikalen Richtung vergrößerte Durchlässigkeit auf. Deutlich tritt dieser Effekt hauptsächlich bei bindigen Böden mit plattigen Teilchen auf, kann jedoch in abgeschwächter Form auch bei nichtbindigen Böden vorhanden sein. Bei Sedimenten liegt das Verhältnis der vertikalen zur horizontalen Durchlässigkeit meist zwischen $k_v/k_h = 1/2 \div 1/10$ (vgl. [16]). Eine Vernachlässigung dieser Eigenschaft kann dazu führen, dass die Sicherheit überschätzt bzw. die erforderliche Einbindetiefe nicht ausreichend groß gewählt wird. Dies liegt daran, dass im Falle einer größeren horizontalen Durchlässigkeit $k_h > k_v$ auf dem horizontalen Fließweg weniger Potential als auf dem vertikalen Fließweg abgebaut wird. Zu sehen ist dies anhand der folgenden Abbildung, in der Ausschnitte zweier Potentialverteilungen für isotropen und anisotropen Baugrund dargestellt sind.

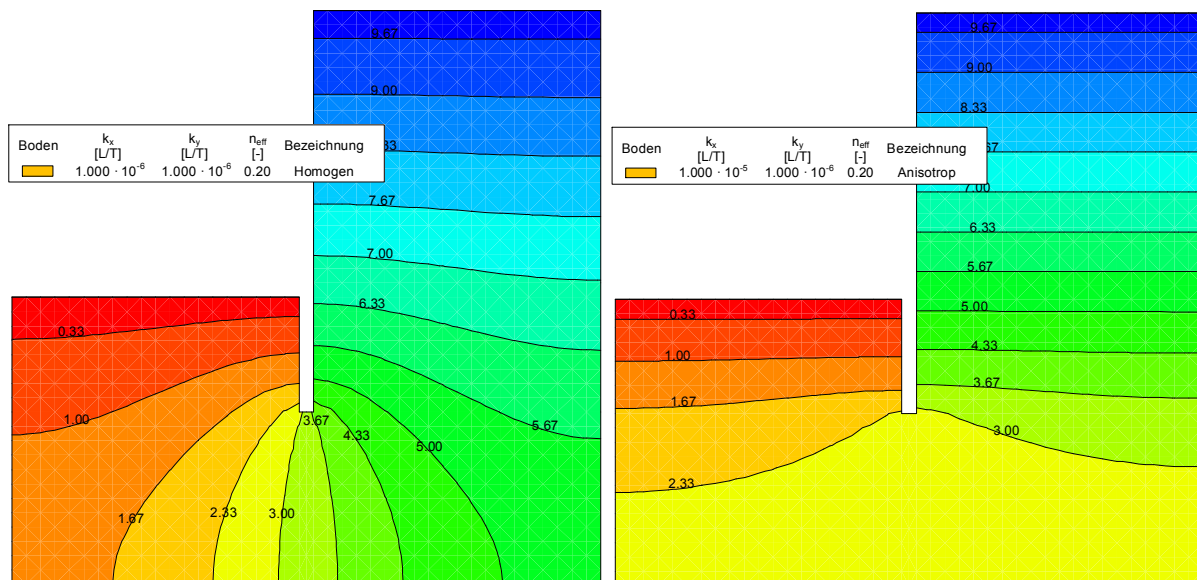
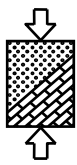


Abbildung 28: Potentialverteilung für isotropen (links) und anisotropen Boden (rechts)

Man erkennt deutlich, dass im Fall des anisotropen Baugrunds (rechts) unterhalb des Verbauwandfußes so gut wie kein Potential, im Gegenzug im Baugrubeninneren aber mehr Potential gegenüber dem isotropen Baugrund (links) abgebaut wird. Dies hat zur Folge, dass sich die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch bei gleicher Einbindetiefe verringert.

6.1 Untersuchungsergebnisse für anisotropen Baugrund

Aus vorab genanntem Grund wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens auch Untersuchungen für anisotrope Baugrundverhältnisse angestellt. Da sich die Anzahl möglicher Baugrundsituationen durch das zusätzlich zu variierende Verhältnis der



Durchlässigkeiten k_v/k_h erheblich erhöht, wurden hierbei nur günstiger Baugrund mit einer Wichte unter Auftrieb von $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$ untersucht.

Untersucht wurden insgesamt drei verschiedene Verhältnisse der Durchlässigkeiten $k_v/k_h = 1/2$, $1/5$ und $1/10$. Der Wertebereich der Braugrubenbreite B und der Aquifermächtigkeit S entspricht den Untersuchungen für isotropen Baugrund (vgl. Tabelle 2).

Die folgende Abbildung vergleicht beispielhaft die erforderliche Einbindetiefe für isotropen Baugrund mit verschiedenen anisotropen Verhältnissen.

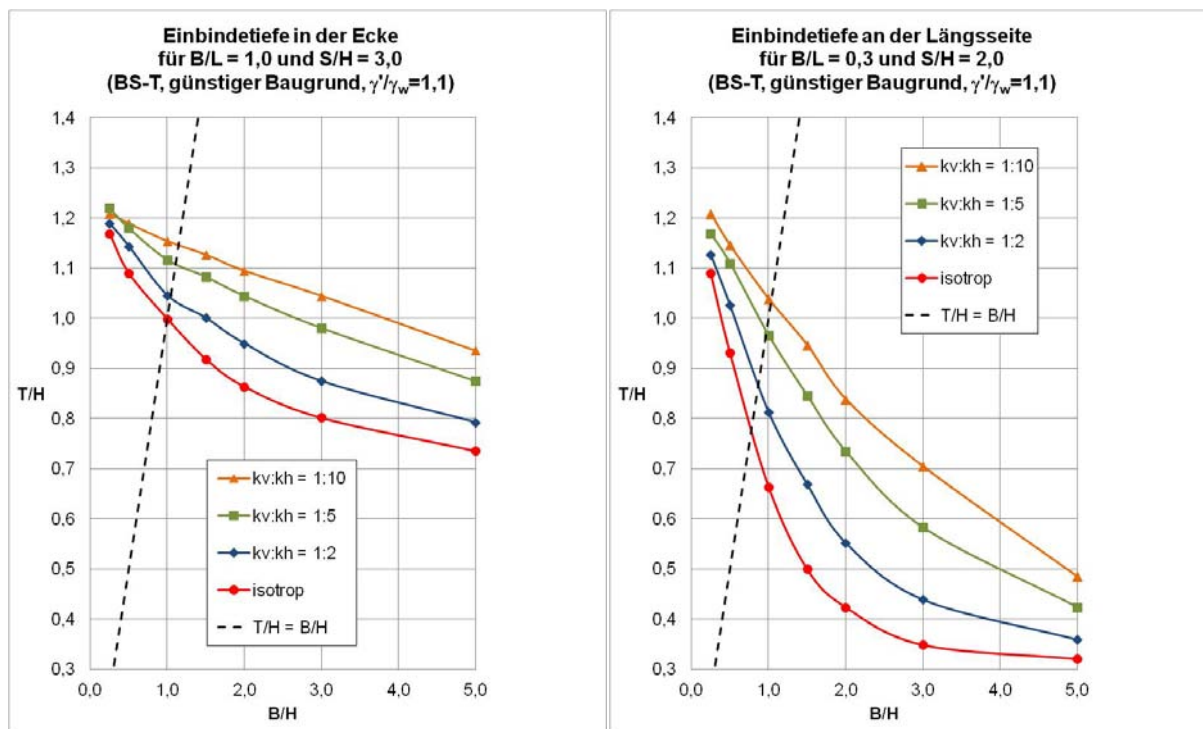
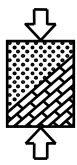


Abbildung 29: Vergleich der Einbindetiefe T/H für isotrope und anisotrope Verhältnisse

Anhand der Gegenüberstellung ist zu sehen, dass die erforderliche Einbindetiefe zunimmt, je kleiner das Verhältnis k_v/k_h wird. Weiterhin sieht man aber auch, dass dieser Einfluss mit abnehmender Braugrubenbreite minimal wird. Dies liegt daran, dass sich in diesem Fall der Potentialabbau ohnehin auf den verringerten Durchflussquerschnitt im Braugrubeninneren konzentriert. Weiterhin ist erkennbar, dass die Zunahme der Einbindetiefe nicht direkt proportional zur Zunahme der horizontalen Durchlässigkeit ist, sondern stagniert. Daher wurden nicht noch kleinere Verhältnisse k_v/k_h als in Abbildung 29 enthalten untersucht. Ohnehin ist das Vorkommen solch extrem anisotroper Verhältnisse in situ äußerst unwahrscheinlich, so dass $k_v/k_h = 1/10$ gewissermaßen eine obere Grenze darstellt.

Die Ergebnisse aller untersuchten Fälle sind in Form der ermittelten Einbindetiefen im Anhang D enthalten.



6.2 Bemessungshilfen und Empfehlungen für anisotropen Baugrund

Bei Betrachtung der Ergebnisse stellt man fest, dass der Verlauf der Einbindetiefe aufgetragen über der Baugrubenbreite für gering anisotrope Verhältnisse ($k_v/k_h = 1/2$) dem Verlauf für isotrope Verhältnisse sehr ähnlich ist (vgl. Abbildung 29). Durch eine genaue Auswertung der Ergebnisse wurde schließlich herausgefunden, dass sich die für gering anisotrope Verhältnisse erforderliche Einbindetiefe T/H durch Erhöhung der Werte für isotrope Verhältnisse in sehr guter Näherung ergibt, wenn dies entsprechend der folgenden Abbildung umgesetzt wird.

B/L		0,3 / 0,5 / 1,0				
S/H		1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
B/H						
0,25		Erhöhung in der Ecke für gering anisotrope Verhältnisse + 10 %				
0,50						
1,00						
1,50						
2,00						
3,00						
5,00						

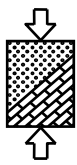
B/L		0,3 / 0,5 / 1,0				
S/H		1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
B/H						
0,25		+ 10 %				
0,50						
1,00		Erhöhung an den Seiten für gering anisotrope Verhältnisse + 25 %				
1,50						
2,00						
3,00						
5,00						

Abbildung 30: Erhöhung der Einbindetiefe T/H für gering anisotrope Baugrundverhältnisse

Für die Ecken aller Baugruben sowie für schmale Baugruben mit $B/H < 1,0$ reicht es aus, die Einbindetiefe für isotrope Verhältnisse um $\Delta T/H = 10\%$ zu erhöhen. Für die Seiten „normaler“ und breiter Baugruben ist hingegen eine Erhöhung von $\Delta T/H = 25\%$ erforderlich.

Die prozentuale Abweichung der so erhaltenen Einbindetiefe zu den aus den numerischen Berechnungen für $k_v/k_h = 1/2$ erhaltenen Einbindetiefen beträgt in der Regel deutlich weniger als $\Delta T/H = \pm 10\%$. Nur für wenige Fälle wird die Einbindetiefe durch diese Erhöhung deutlich über- oder unterschätzt. Die maximale Abweichung auf der unsicheren Seite mit $\Delta T/H_{\min} = -6,6\%$ entspricht bei der für diesen Fall erforderlichen Einbindetiefe von $T/H \approx 0,67$ bei einer angenommenen Wasserspiegeldifferenz von beispielsweise $H = 10\text{ m}$ einer maximalen Unterschätzung der Einbindetiefe von gerade einmal $\Delta T = 44\text{ cm}$.

Die Abweichungen für alle im Einzelnen untersuchten Situationen können dem Anhang E entnommen werden.



Für deutlich anisotrope Verhältnisse etwa mit $k_v/k_h = 1/10$ zeigt sich, dass der Verlauf der erforderlichen Einbindetiefe aufgetragen über der Baugrubenbreite keineswegs mehr dem Verlauf für isotrope Verhältnisse gleicht (vgl. Abbildung 29). Stattdessen hängt die Einbindetiefe mehr oder weniger direkt proportional von der Baugrubenbreite ab und lässt sich durch eine Gerade annähern. Auf Basis dieser Erkenntnis wurde durch intensive Auswertung der Ergebnisse folgende Formel gefunden, mit der sich die erforderliche Einbindetiefe in guter Näherung bestimmen lässt:

$$\left(\frac{T}{H}\right)_{\text{aniso.}} = 1,22 - \left(\frac{B}{H} - 0,25\right) \cdot \left(r_a + 0,05 \cdot \left(1 - \frac{B}{L}\right)\right) \quad (3)$$

mit r_a Lagefaktor für anisotrope Verhältnisse

Der Lagefaktor berücksichtigt, ob die Ecke oder eine der Baugrubenseiten betrachtet wird und kann der folgenden Tabelle entnommen werden.

Lage	Ecke	Stirnseite	Längsseite
r_a	0,06	0,09	0,11

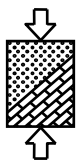
Tabelle 5: Lagefaktor für anisotrope Verhältnisse

Abgesehen von geringmächtigen Aquiferen liefert diese Näherungsformel sehr gute Ergebnisse. Dies zeigt die folgende Abbildung, in der beispielhaft für quadratische Baugruben die prozentualen Abweichungen zu den Ergebnissen aus den numerischen Berechnungen enthalten sind.

B/L	Ecke						Stirnseite					
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	0,25	22,12	0,91	0,91	0,91	0,91	0,25	22,12	0,91	0,91	0,91	0,91
	0,50	20,98	1,35	1,35	1,35	1,35	0,50	20,35	0,71	0,71	0,71	0,71
	1,00	19,17	2,26	1,82	1,82	1,82	1,00	18,81	2,81	1,81	1,81	1,81
	1,50	18,53	2,78	1,87	1,60	1,60	1,50	18,45	4,88	3,89	3,60	3,60
	2,00	18,24	4,21	3,62	1,83	1,83	2,00	20,46	5,51	5,20	4,78	4,78
	3,00	16,96	5,29	2,83	1,93	0,96	3,00	23,10	7,34	4,35	3,90	3,35
	5,00	12,52	4,59	1,85	1,85	-0,11	5,00	24,41	9,92	4,83	2,92	2,39

Abbildung 31: Prozentuale Abweichung der mittels Formel ermittelten und aus FEM erhaltenen Einbindetiefe

Für $S/H = 1,0$ ist der Durchflussquerschnitt unterhalb des Verbauwandfußes soweit verengt, dass hier im Gegensatz zu mächtigeren Aquiferen trotz Anisotropie auch auf dem horizontalen Fließweg Potential abgebaut wird. Dadurch verringert sich die erforderliche Einbindetiefe und es kommt zu den in Abbildung 31 dargestellten größeren Abweichungen.



Allerdings liegen die Abweichungen stets auf der sicheren Seite und darüber hinaus sollten, wie bereits in Abschnitt 5.2 erwähnt, bei geringmächtigen Aquiferen die Verbauwände meist ohnehin vollständig in den Grundwasserstauer eingebunden werden.

Die prozentualen Abweichungen aller untersuchten Fälle können dem Anhang E entnommen werden.

Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft einen Vergleich der mittels numerischer Berechnungen und mittels Erhöhung bzw. Formel erhaltenen Einbindetiefen. Dabei wurde bewusst die Ecke für $B/L = 1,0$, bei der mit die beste Übereinstimmung erzielt wird, und die Längsseite für $B/L = 0,3$, bei der die Abweichungen mit am größten sind, ausgewählt.

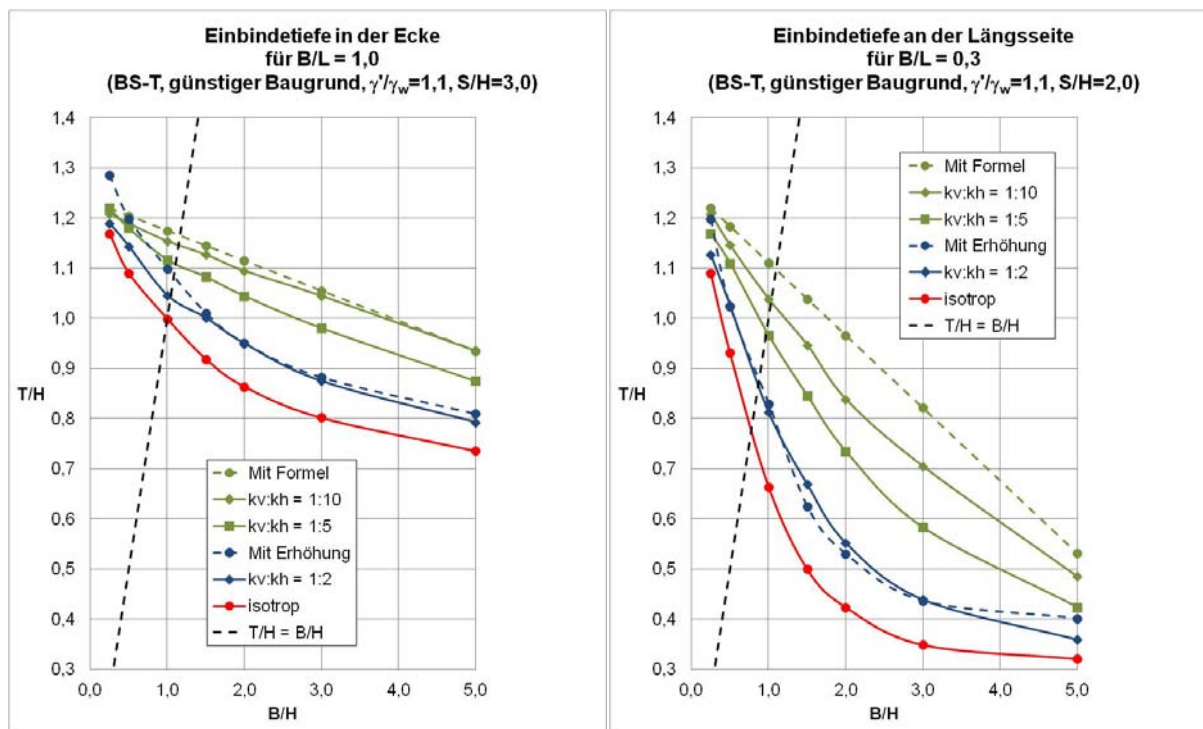
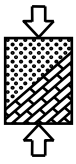


Abbildung 32: Vergleich der mittels FEM und mittels Näherung erhaltenen Einbindetiefen T/H

Anhand von Abbildung 32 erkennt man, dass sich die erforderliche Einbindetiefe für gering ($k_v/k_h = 1/2$) und stark ($k_v/k_h = 1/10$) anisotrope Verhältnisse mithilfe der beiden Näherungen recht gut abschätzen lässt. Lediglich in Ausnahmefällen liegen die Näherungen geringfügig auf der unsicheren Seite oder überschätzen die Einbindetiefe deutlich (vgl. auch Anhang). Einzig für geringmächtige Aquifere wird die Einbindetiefe teilweise systematisch deutlich überschätzt (vgl. Abbildung 31).

Für den Bereich zwischen gering und stark ausgeprägter Anisotropie mit bspw. $k_v/k_h = 1/5$ kann entweder auf der sicheren Seite die Formel für stark anisotrope Verhältnisse verwendet oder zwischen beiden Ansätzen interpoliert werden.



7 Geschichteter Baugrund

Tiefe Baugruben im Grundwasser, insbesondere die sogenannten Tertiärbaugruben, lassen sich oftmals nur dadurch herstellen, dass die wasserdichten Wände unten in eine relativ undurchlässige Schicht einbinden. Für diesen Fall sind genauere Untersuchungen notwendig, um die erforderliche Einbindetiefe für die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch zu ermitteln. Gerade dann, wenn wie in der folgenden Abbildung dargestellt, eine weniger durchlässige Schicht von einer wesentlich durchlässigeren Schicht überlagert wird, erhöht sich die erforderliche Einbindetiefe.

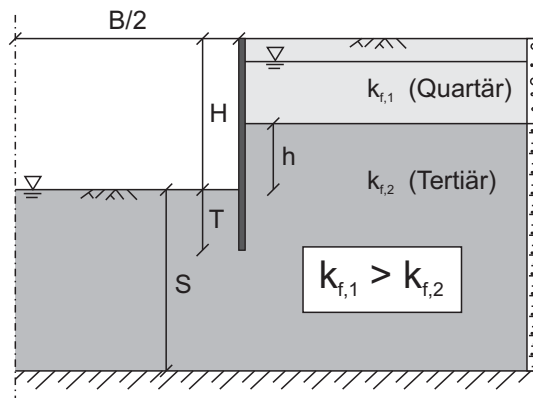


Abbildung 33: Systemskizze für geschichteten Baugrund

Dies liegt daran, dass gegenüber homogenen Verhältnissen auf gleicher Strecke innerhalb der Baugrube mehr Potential abgebaut werden muss, was anhand der folgenden Darstellung verschiedener Potentialverteilungen deutlich zu sehen ist.

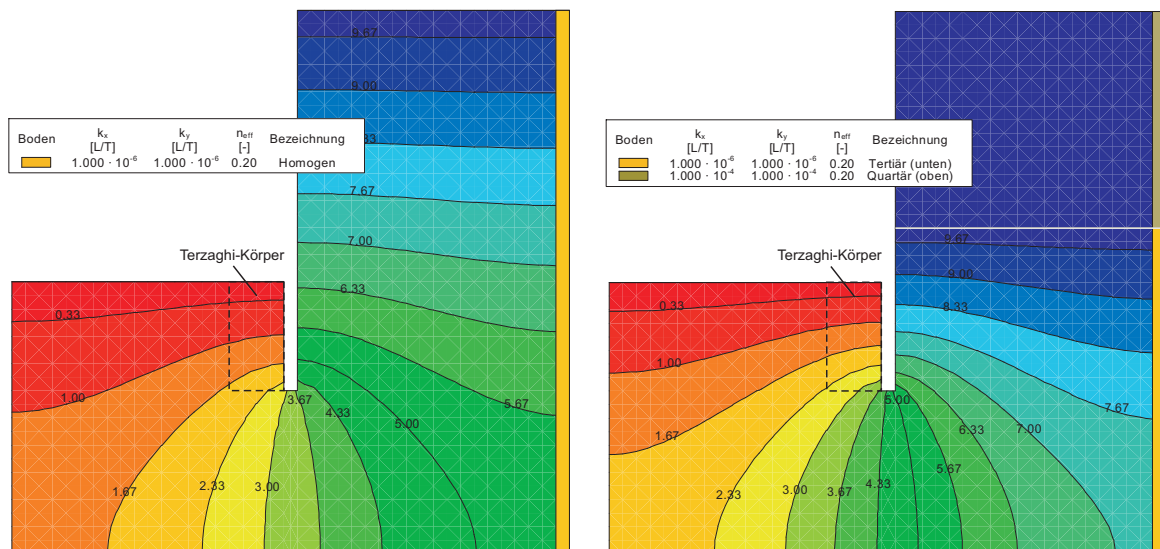
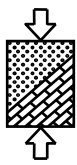


Abbildung 34: Potentialverteilung für homogenen (links) und geschichteten Boden (rechts)



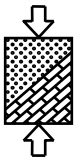
7.1 Untersuchungsergebnisse für geschichteten Baugrund

Da sich wie bereits erwähnt die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch für geschichteten Baugrund gegenüber homogenem Baugrund reduzieren kann, wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens auch hierfür umfangreiche Berechnungen und Untersuchungen angestellt. Als zusätzliche zu variierende Parameter kommen dabei die Lage der Schichtgrenze, definiert durch die Höhe h über der Baugrubensohle, sowie das Verhältnis der Durchlässigkeiten der verschiedenen Schichten $k_{f,1}/k_{f,2}$ hinzu. Aus diesem Grund wurde analog zu den Untersuchungen für anisotropen Baugrund nur günstiger Baugrund mit einer Wichte unter Auftrieb von $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$ untersucht. Auch wurde der Wertebereich bezüglich der Baugrubenbreite und der Mächtigkeit des Aquifers bzw. hier der unteren Schicht entsprechend Tabelle 2 beibehalten.

Wenn die Schichtgrenze zwischen oberer durchlässigeren und unterer weniger durchlässigen Schicht unterhalb der Baugrubensohle liegt, ist die Gefahr eines hydraulischen Grundbruchs in der Regel geringer als für homogene Verhältnisse. Sofern die Schichten filterstabil sind, wirkt die obere Schicht im Baugrubeninneren ähnlich positiv wie künstlicher Auflastfilter. Daher wurden nur Fälle betrachtet, bei denen die Schichtgrenze mit der Baugrubensohle zusammenfällt oder höher liegt. Der dann ungünstigste Fall stellt sich ein, wenn Baugrubensohle und Schichtgrenze auf einer Höhe liegen, also $h = 0$ ist. Für diesen Fall wurde zusätzlich eine Variation des Verhältnisses der Durchlässigkeiten $k_{f,1}/k_{f,2}$ durchgeführt. Der Untersuchungsbereich im Hinblick auf die beiden Parameter h und $k_{f,1}/k_{f,2}$ ist in folgender Tabelle zusammengefasst.

$k_{f,1}/k_{f,2}$	10	5	2
h/H			
0,5	x		
0,25	x		
0	x	x	x

Tabelle 6: Untersuchungsbereich für geschichteten Baugrund



Im Folgenden werden zunächst die Fälle miteinander verglichen, bei denen das Verhältnis der Durchlässigkeiten $k_{f,1}/k_{f,2} = \text{konst.} = 10$ ist, die Lage der Schichtgrenze aber zwischen $h = 0$ und $h \geq H$ (homogen) variiert. Beispielhaft sind in der folgenden Abbildung die Ergebnisse für zwei verschiedene geometrische Situationen dargestellt.

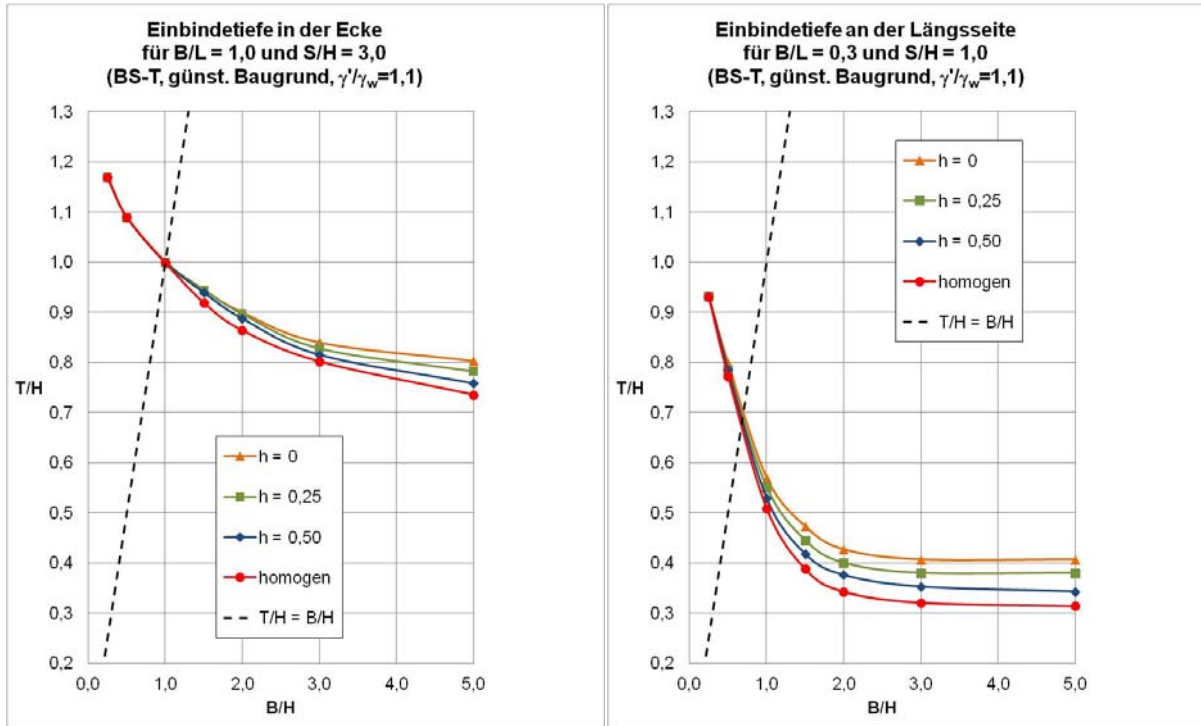
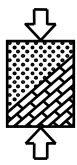


Abbildung 35: Vergleich der Einbindetiefe T/H für homogenen und geschichteten Baugrund

Wie bereits angedeutet zeigen die Ergebnisse, dass die erforderliche Einbindetiefe mit zunehmender Tiefe der Schichtgrenze bzw. abnehmendem h ansteigt. Analog zu anisotropen Verhältnissen wird dieser Einfluss mit abnehmender Baugrubenbreite aufgrund der Konzentration des Potentialabbaus im Baugrubeninneren jedoch geringer. Bei geschichtetem Baugrund verschwindet dieser Einfluss für Verhältnisse von $B/H < 1,0$ sogar nahezu komplett. Weiterhin ist auch zu erkennen, dass sich der Einfluss der Baugrundsichtung in der Ecke geringer als an den Seiten bemerkbar macht. Dies liegt ebenfalls daran, dass sich der Potentialabbau alleine durch die Querschnittsverengung aufgrund der Geometrie an den Ecken noch mehr ins Baugrubeninnere als an den Seiten verlagert.

Des Weiteren wurden auch Vergleichsrechnungen angestellt, bei denen die Schichtgrenze mit $h = \text{konst.} = 0$ in Höhe der Baugrubensohle liegt, der Unterschied in den Durchlässigkeiten $k_{f,1}/k_{f,2}$ allerdings variiert.



Die folgende Abbildung zeigt hierzu beispielhaft die Ergebnisse für die gleichen geometrischen Verhältnisse wie zuvor. Aus den gewählten Randbedingungen folgt, dass die roten Kurven für homogenen Baugrund sowie die orangenen Kurven für $h = 0$ bzw. $k_{f,1}/k_{f,2} = 10$ in Abbildung 35 und in Abbildung 36 identisch sind.

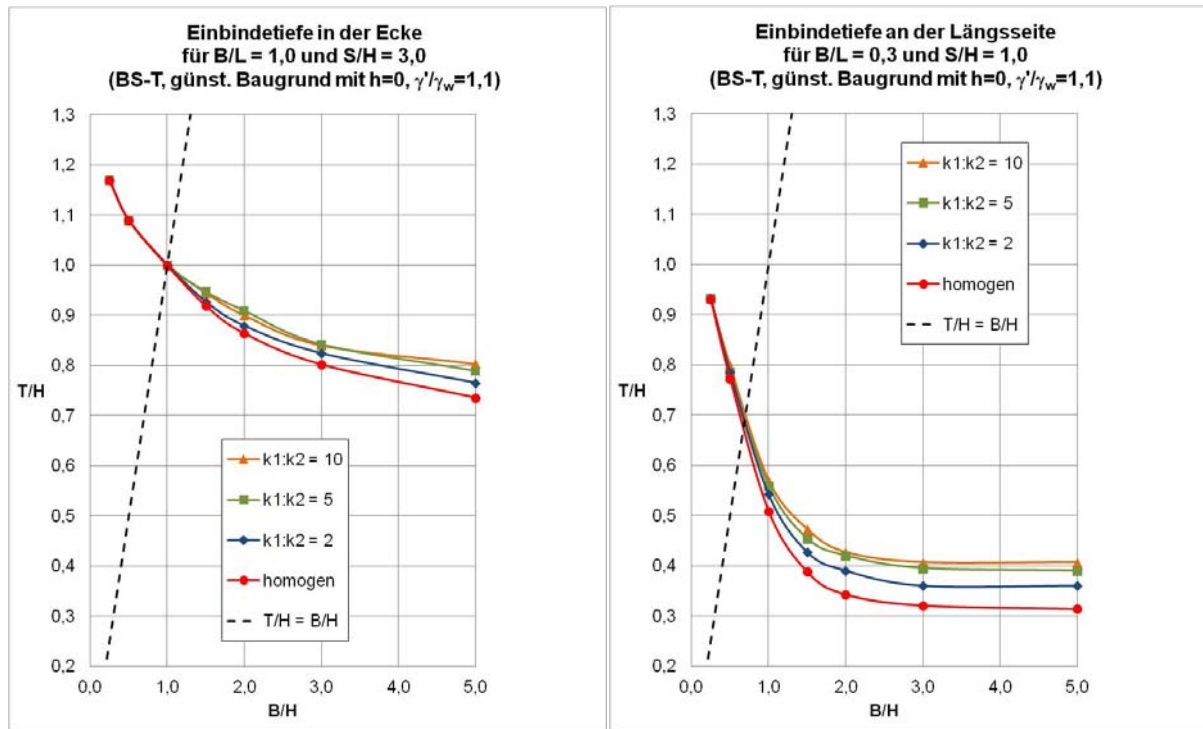
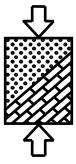


Abbildung 36: Vergleich der Einbindetiefe T/H für geschichteten Baugrund mit variablen Durchlässigkeiten

Wie nicht anders zu erwarten, zeigt die Variation der Durchlässigkeiten, dass mit zunehmenden Verhältnis $k_{f,1}/k_{f,2}$ auch die erforderliche Einbindetiefe zunimmt, da sich der Potentialabbau umso mehr auf die untere Schicht konzentriert, je undurchlässiger sie ist. Allerdings zeigen die Ergebnisse auch, dass dieser Einfluss nicht linear ist und die Zunahme der erforderlichen Einbindetiefe für $k_{f,1}/k_{f,2} \geq 10$ gegen Null strebt. Zu sehen ist dies daran, dass zwischen den Kurven für $k_{f,1}/k_{f,2} = 5$ und $k_{f,1}/k_{f,2} = 10$ kein wesentlicher Unterschied mehr besteht. Somit können die vorab auszugsweise dargestellten und im Anhang F komplett enthaltenen Ergebnisse für $k_{f,1}/k_{f,2} = 10$ gewissermaßen als Grenzwerte angesehen werden, welche für geringere Unterschiede in der Durchlässigkeit auf der sicheren Seite liegen und für größere Unterschiede keine entscheidende Zunahme der erforderlichen Einbindetiefe mehr erwarten lassen.



7.2 Bemessungshilfen und Empfehlungen für geschichteten Baugrund

Wie bereits angemerkt, stellen die Ergebnisse für $k_{f,1}/k_{f,2} = 10$ mehr oder weniger die obere Grenze für die erforderliche Einbindetiefe bei geschichtetem Baugrund dar. Daher wurde nur für diesen Grenzfall eine Detailauswertung vorgenommen, um daraus Empfehlungen und Bemessungshilfen abzuleiten. Weiterhin wurde gezeigt, dass wenn die Schichtgrenze und die Baugrubensohle auf einer Höhe liegen, also $h = 0$ ist, der ungünstigste Fall vorliegt, weshalb zunächst nur hierfür nach einer Näherungslösung gesucht wurde.

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass für schmale Baugruben mit $B/H < 1,0$ kein wesentlicher Unterschied mehr zwischen geschichtetem und homogenem Baugrund besteht. Die Abweichung ist in der Regel geringer als $|\Delta T/H| < 1\%$ und beträgt für die untersuchten Fälle im Maximum $\Delta T/H_{\min} = -3,25\%$, so dass hierfür eigentlich keine Näherung notwendig wäre. Dennoch wurde durch Auswertung der Ergebnisse eine Näherungsformel für geschichteten Baugrund mit $h = 0$ entwickelt, die sowohl für schmale Baugruben mit $B/H < 1,0$ als auch für die übrigen Baugruben anwendbar ist:

$$\left(\frac{T}{H}\right)_{\text{gesch.}} = \left(\frac{T}{H}\right)_{\text{hom.}} \cdot \left(1 + \frac{B}{H} \cdot r_s\right) \quad (4)$$

mit: $(T/H)_{\text{gesch.}}$ Einbindetiefe für geschichteten Baugrund

$(T/H)_{\text{hom.}}$ Einbindetiefe für homogenen Baugrund

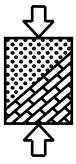
r_s Lagefaktor für geschichtete Verhältnisse

Analog zu anisotropem Baugrund enthält die Näherungslösung einen Lagefaktor, der berücksichtigt ob die Ecke oder eine der Baugrubenseiten betrachtet wird. Die Werte des Lagefaktors können der folgenden Tabelle entnommen werden.

Lage	Ecke	Stirnseite	Längsseite
r_s	0,02	0,05	0,10

Tabelle 7: Lagefaktor für geschichteten Baugrund

Für die Ecke und die Stirnseite werden mit Hilfe der Näherungslösung sehr gute Ergebnisse erhalten. Die maximalen Abweichungen zwischen den Ergebnissen der Näherungslösung und der numerischen Berechnungen betragen $\Delta T/H_{\min} = -3,64\%$ und $\Delta T/H_{\max} = 6,89\%$.



Für die Längsseite werden in Summe zwar ebenfalls gute Ergebnisse erzielt, allerdings kommt es für breite Baugruben mit $B/H > 3,0$ zu einer relativ großen prozentualen Überschätzung der erforderlichen Einbindetiefe von $\Delta T/H \approx 15\%$.

Da bei breiten Baugruben jedoch ohnehin relativ geringe Einbindetiefen erforderlich sind, ist dieser Fehler nicht gravierend. Für den Fall mit der maximalen Abweichung von $\Delta T/H_{\max} = 18,88\%$ wäre eine Einbindetiefe von $T/H \approx 0,40$ erforderlich. Daraus ergibt sich bei einer angenommenen Wasserspiegeldifferenz von $H = 10$ m eine absolute Abweichung – auf der sicheren Seite – von $\Delta T/H = 75$ cm.

Wie anhand der Abbildung 35 zu sehen ist, verlaufen die Kurven für $h = 0,25 \cdot H$ und $h = 0,50 \cdot H$ in etwa parallel zwischen den Kurven für $h = 0$ und für homogenen Baugrund. Für diese Fälle kann daher eine lineare Interpolation vorgenommen werden. Tatsächlich ist die Abhängigkeit der erforderlichen Einbindetiefe von der Lage der Schichtgrenze innerhalb des Bereichs $0 \leq h \leq H$ nicht linear und die lineare Interpolation hat eine systematische Überschätzung der Einbindetiefe zur Folge. Allerdings werden für die Interpolation für $h = 0$ die Näherungslösung und lediglich für homogenen Baugrund die genaueren Ergebnisse herangezogen. Durch die Überschätzung werden somit auf der unsicheren Seite liegende Abweichungen der Näherung ausgeglichen. Darüber hinaus bewirkt die Interpolation aber auch, dass die großen Überschätzungen für die Längsseiten breiter Baugruben etwas abgemindert werden.

Für den Fall dass $h = 0,5 \cdot H$ ist betragen die maximalen Abweichungen zwischen den Ergebnissen der Interpolation und der numerischen Berechnungen $\Delta T/H_{\min} = -2,29\%$ und $\Delta T/H_{\max} = 14,43\%$. Betrachtet man nur die Ecke und die Stirnseite beträgt die maximale Abweichung lediglich $\Delta T/H_{\max} = 5,96\%$.

Die prozentualen Abweichungen aller untersuchten Fälle können dem Anhang G entnommen werden.

Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft einen Vergleich der mittels numerischer Berechnungen und mittels Näherungsformel bzw. Interpolation erhaltenen Einbindetiefen T/H . Dabei wurden die gleichen geometrischen Verhältnisse wie zuvor ausgewählt, die gleichzeitig eine Situation mit guter Übereinstimmung (Ecke) und eine Situation mit größeren Abweichungen (Längsseite) der Näherung repräsentieren.

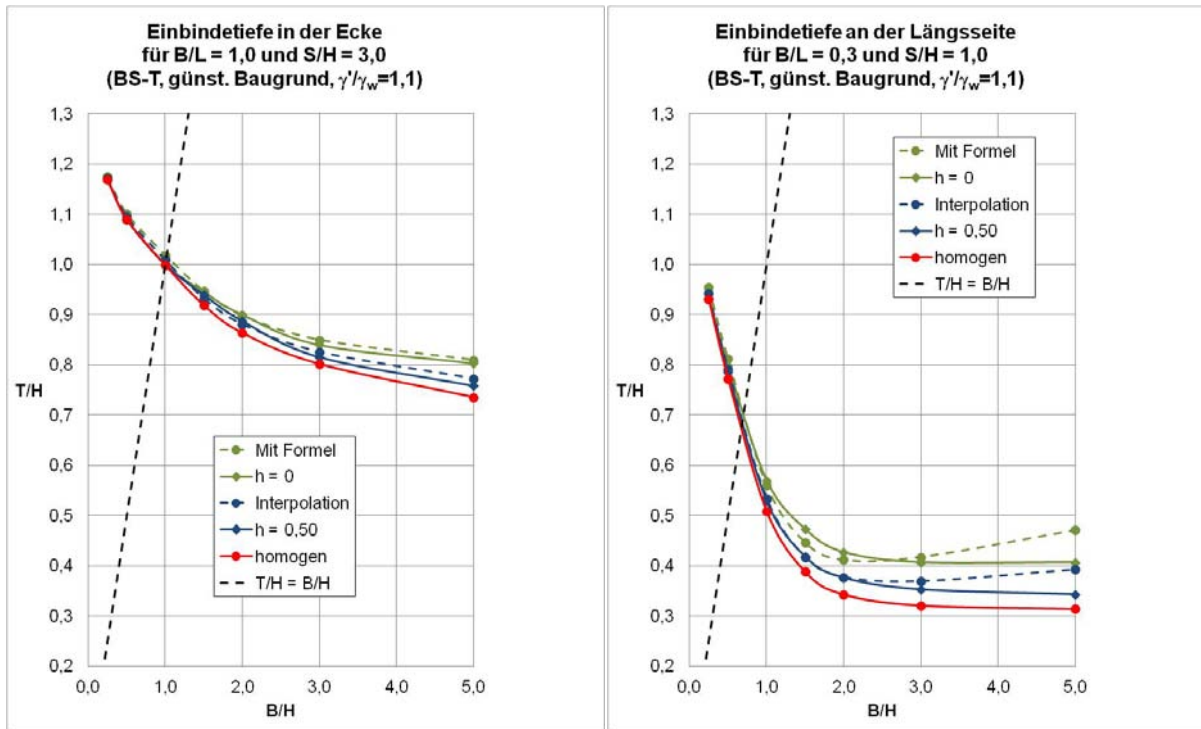
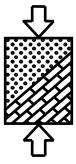
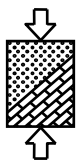


Abbildung 37: Vergleich der mittels FEM und mittels Näherung erhaltenen Einbindetiefen T/H

Abbildung 37 zeigt anhand der guten Übereinstimmung der Kurven, dass für die Ecke sehr gute Ergebnisse mit der Näherungslösung bzw. durch die Interpolation erzielt werden. Weiterhin ist zu sehen, dass für Baugruben mit $B/H \leq 3,0$ auch auf der Längsseite eine gute Übereinstimmung zwischen Näherung bzw. Interpolation und numerischer Berechnung vorliegt. Lediglich für sehr breite Baugruben kommt es zu größeren Abweichungen, die jedoch auf der sicheren Seite liegen. Die anhand von Abbildung 37 beschriebenen Tendenzen gelten auch für die übrigen nicht dargestellten Situationen, können aber anhand der im Anhang G enthaltenen prozentualen Abweichungen nachvollzogen werden. Danach wird auch für die Stirnseite eine gute Übereinstimmung zwischen numerischer Berechnung und Näherung bzw. Interpolation erzielt.



8 Baugruben mit abgetreppten Verbauwänden

Mit Hilfe der in Kapitel 5 vorgestellten Bemessungshilfen kann für die Ecke, die Stirn- und die Längsseite einer Baugrube die jeweils erforderliche Einbindetiefe ermittelt werden. Auf der sicheren Seite könnten Baugruben mit der für die Ecke ermittelten Einbindetiefe ausgeführt werden. Eine konstante Einbindetiefe bedeutet jedoch für den Mittelbereich der Seiten eine Überdimensionierung und behindert zudem verstärkt den natürlichen Grundwasserfluss. Gerade aber bei dauerhaft im Boden verbleibenden Verbauwänden wird oft gefordert, dass die natürlichen Grundwasserverhältnisse nicht unnötig verändert werden. Um dies berücksichtigen zu können, wurden daher auch Berechnungen mit abgetreppten Verbauwänden durchgeführt.

Für die Untersuchungen mit abgetreppten Verbauwänden ist es notwendig, die Lage der Stufen entlang der Verbauwände eindeutig beschreiben zu können. Hierzu wurden entsprechend der folgenden Abbildung die Laufrichtungen x und y definiert.

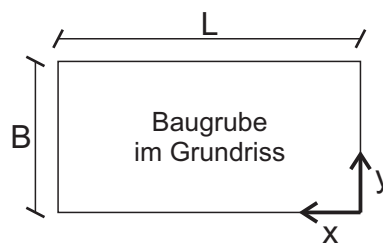
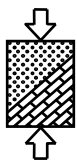


Abbildung 38: Definition der Lage entlang der Baugrubenwand

Um die Dimensionslosigkeit der Ergebnisse aufrecht zu erhalten sowie die Ergebnisdarstellung auch für unterschiedlich große Baugruben möglichst einheitlich und übersichtlich zu gestalten, wurden die Laufvariablen mit x/L auf die Baugrubenlänge bzw. mit y/B auf die Baugrubenbreite bezogen.

Weiterhin wurde in der Ergebnisdarstellung ein Wertebereich von $-0,5 \leq -x/L \div y/B \leq 0,5$ gewählt, womit eine Abwicklung der Baugrube von der Mitte der Längsseite ($-x/L = -0,5$) über die Ecke ($-x/L = 0 = y/B$) bis zur Mitte der Stirnseite ($y/B = 0,5$) erfasst wird (vgl. Abbildung 39). Eine Darstellung der gesamten Abwicklung ist aufgrund der Symmetrie nicht nötig.

Die folgende Abbildung veranschaulicht, dass Baugrubenwände, sofern sie mit konstanter, für die Sicherheit in der Ecke erforderlicher Einbindetiefe ausgeführt werden, an den Seiten teils deutlich überdimensioniert sein können. Hierzu wurden zwei Baugruben dreidimensional berechnet und entlang der Verbauwände ausgewertet. Hierzu wurde der Ausnutzungsgrad entlang der Verbauwände in Schnitten (blaue und rote Kurve) und zusätzlich in der Ecke an einem räumlichen Bruchkörper (grünes Dreieck) berechnet (vgl. auch Abbildung 12) und grafisch dargestellt.



Da das Modul für abgetreppte Verbauwände (vgl. Kapitel 3) zur Berechnung verwendet wurde, war auf jeder Seite mindestens eine Stufe anzuordnen. Die Einbindetiefen wurden jedoch so gewählt, dass die Einbindetiefe in beiden Fällen nahezu konstant ist und lediglich um $0,005 \cdot H$ bzw. $0,01 \cdot H$ variiert.

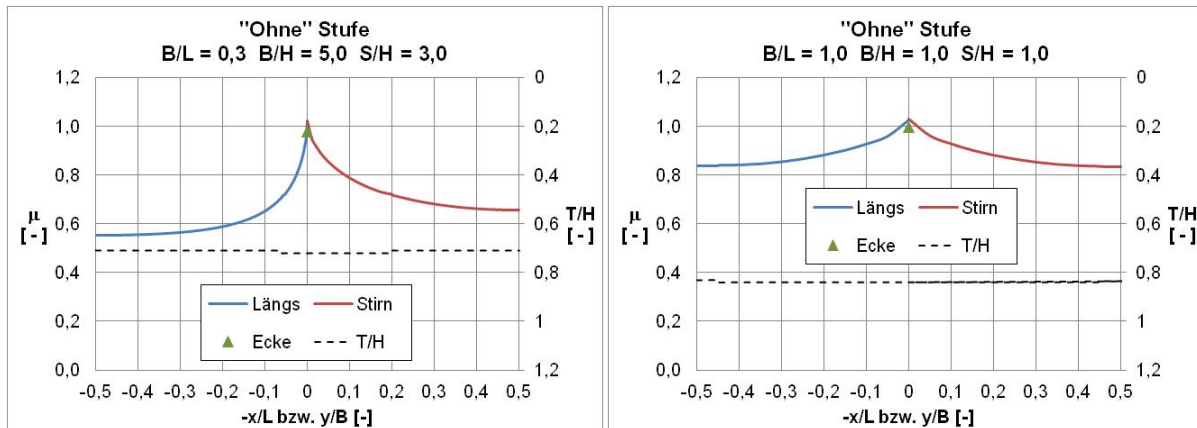


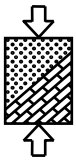
Abbildung 39: Ausnutzungsgrad entlang der Baugrube für zwei Beispiele mit nahezu konstanter Einbindetiefe

Anhand der Abbildung ist zu erkennen, dass der Ausnutzungsgrad μ mit zunehmender Entfernung von der Ecke deutlich abnimmt. Man sieht aber auch, dass dies bei großen Baugruben (links) deutlicher als bei kleineren Baugruben (rechts) ausgeprägt ist. Dies liegt daran, dass bei kleineren Baugruben die Anstromverhältnisse auch noch an den Mitten der Seiten räumlichen Einflüssen unterliegen und damit die eigentlich erforderliche Einbindetiefe nicht so sehr von der in der Ecke abweicht (vgl. z.B. auch Abbildung 19).

Aus diesem Grund wurden im Rahmen der Untersuchungen zu abgetreppten Verbauwände nur Baugruben mit $B/H \geq 1,0$ untersucht. Ohnehin scheint bei kleinen Baugruben die Ausführung von abgetreppten Verbauwänden schon aufgrund des logistischen und baubetrieblichen Mehraufwands fraglich.

Darüber hinaus wurden hinsichtlich der Aquifermächtigkeit nur die beiden Grenzfälle mit $S/H = 3,0$ und mit $S/H = 1,0$ betrachtet.

Für die im Folgenden vorgestellten Untersuchungen wurden in erster Linie Einbindetiefen T/H verwendet, welche aus den vorherigen Untersuchungsergebnissen stammen. Allerdings wurden diese stets auf zwei Nachkommastellen aufgerundet, was bei einer angenommenen Wasserspiegeldifferenz von $H = 10$ m einer Genauigkeit von ± 10 cm entspricht. Sofern zwischen bereits aufgerundeten Einbindetiefen eine Mittelwertbildung vorgenommen wurde, wurde auf eine erneute Rundung verzichtet.



8.1 Abtreppung mit einer Stufe je Seite

Bereits im vorherigen Forschungsvorhaben [21] wurden erste Untersuchungen zu abgetrepten Verbauwänden angestellt. Zum Zeitpunkt dieser ersten Untersuchungen stand das erst im Rahmen dieses Forschungsvorhabens entwickelte FEFLOW®-Modul noch nicht zur Verfügung, weshalb sowohl die Modellerstellung als auch die Auswertung wesentlich aufwändiger war. Daher konnten nur wenige Grenzfälle betrachtet und ausgewertet werden. Dennoch konnte man aufgrund dieser Ergebnisse schlussfolgern, dass bei Verwendung der Einbindetiefen für die Ecke, die Stirn- und die Längsseite, welche mit Hilfe der in Kapitel 5 erhaltenen Bemessungsdiagrammen bestimmt wurden, eine Anordnung der Stufen bei $x/L = 0,3$ bzw. $y/B = 0,3$ gemäß folgender Abbildung optimal erscheint.

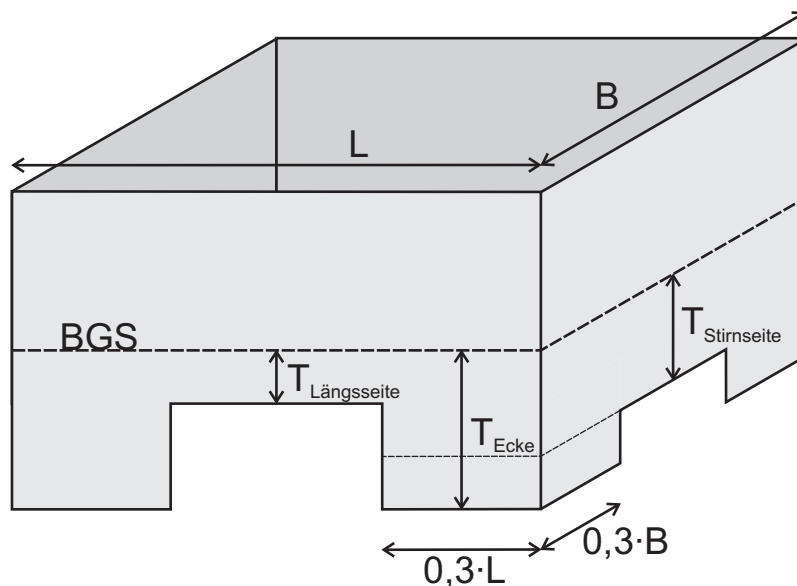


Abbildung 40: Systemskizze mit je einer Stufe bei $x/L = 0,3$ und $y/B = 0,3$

Im Rahmen des aktuellen Forschungsvorhabens wurden daher zunächst umfangreichere Untersuchungen angestellt, um den vorab gefundenen Ansatz zu überprüfen. Die folgende Abbildung zeigt die Ergebnisse aus dem vorherigen (links) und dem aktuellen Forschungsvorhaben (rechts) für die größte der untersuchten Baugruben. Dargestellt ist jeweils der Ausnutzungsgrad μ entlang einer Abwicklung von der Mitte der Stirnseite zur Mitte der Längsseite bzw. umgedreht.

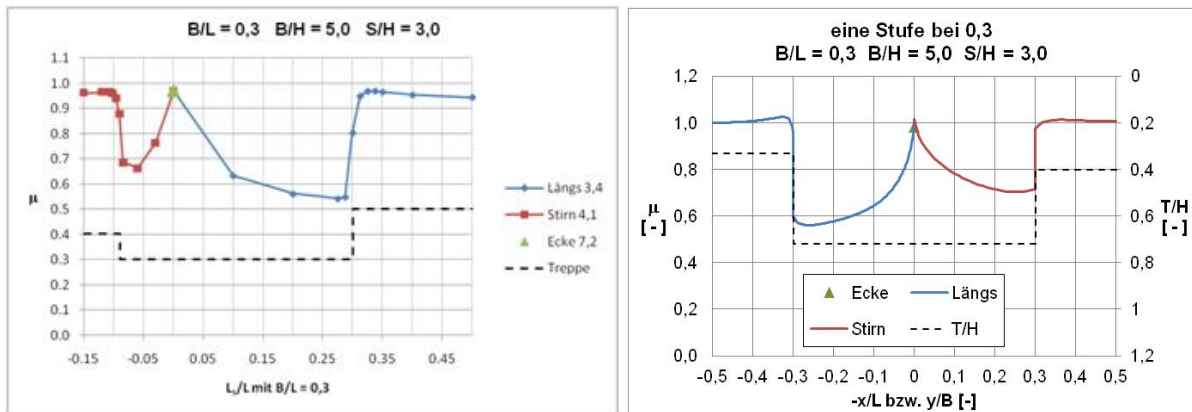
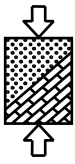


Abbildung 41: Ausnutzungsgrad entlang der Baugrube aus dem vorherigen Forschungsvorhaben [21] (links) und ermittelt mit Hilfe des FEFLOW®-Moduls (rechts)

Unabhängig davon, dass die beiden Ergebnisdarstellungen spiegelverkehrt und unterschiedlich skaliert und normiert sind, sieht man, dass die Ergebnisse sehr gut übereinstimmen und auch die detailliertere Auswertung mit Hilfe des neu entwickelten FEFLOW®-Moduls den zuvor gefundenen Ansatz bestätigt. In der aktuellen Darstellung (rechts) wird auch der Verlauf der Verbauwand in Form der Einbindetiefe T/H maßstäblich dargestellt, wodurch dieser gegenüber der rein qualitativen Darstellung des vorherigen Forschungsvorhabens (links) noch wesentliche Zusatzinformationen liefert.

Dass der Ausnutzungsgrad durch den ursprünglich gefundenen Ansatz optimiert wird, zeigt nicht nur Abbildung 41, sondern wird generell auch durch die neuen Untersuchungsergebnisse bestätigt, wie auch in der folgenden Abbildung zu sehen ist.

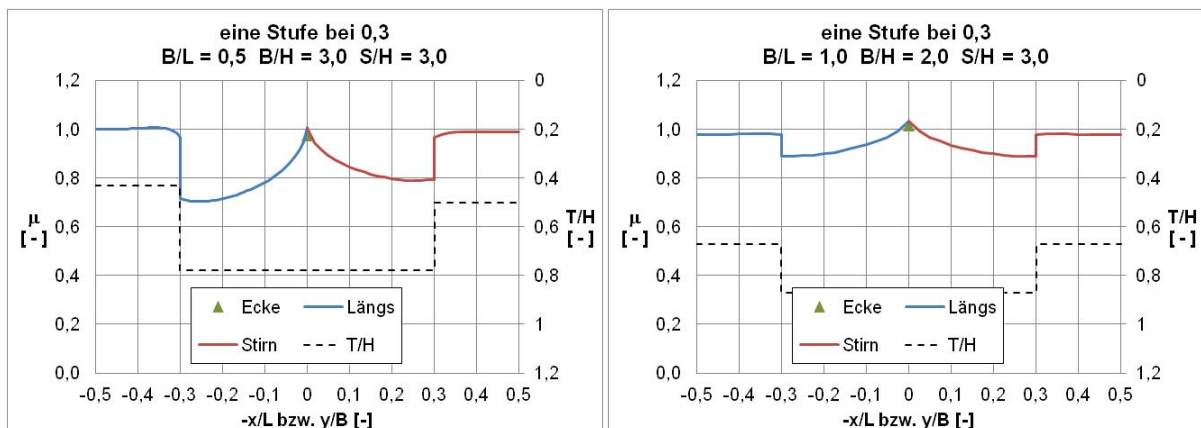
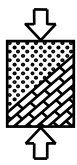


Abbildung 42: Ausnutzungsgrad entlang der Verbauwand mit einer Stufe bei $x/L = 0,3$ und $y/B = 0,3$

Beide vorherigen Abbildungen zeigen, dass sich die Ausnutzung bei abgetreppten Verbauwänden mit jeweils einer Stufe bei $x/L = 0,3$ und $y/B = 0,3$ und Verwendung der aus den Bemessungsdiagrammen enthaltenen Einbindetiefen T_{Ecke} , T_{Stirn} und $T_{Längs}$ gegenüber Systemen mit konstanter Einbindetiefe verbessert. Nach wie vor wird an allen Stellen die erforderliche Sicherheit eingehalten bzw. der zulässige Ausnutzungsgrad von $\mu = 1,0$ nur geringfügig überschritten.



Allerdings wird durch die reduzierte Einbindetiefe an den Baugrubenseiten aber auch nur soweit wie notwendig in die Grundwasserverhältnisse eingegriffen und dennoch gleichzeitig eine wesentlich wirtschaftlichere Ausnutzung erreicht.

Die Ergebnisse sämtlicher untersuchter Baugruben mit dem zuvor beschriebenen Ansatz sind im Anhang H enthalten.

8.2 Abtreppung mit zwei Stufen auf der Längs- und einer Stufe auf der Stirnseite

In Abbildung 41 ist zu sehen, dass der Ausnutzungsgrad μ gerade bei großen Baugruben auf der Längsseite trotz Stufe immer noch sehr stark abfällt. Dies bedeutet aber, dass die Baugrube durch eine zusätzliche Stufe noch weiter optimiert werden könnte. Aus diesem Grund wurden hierzu vertiefte Untersuchungen angestellt. Um keine weitere als die bereits vorhandenen Einbindetiefen zu benötigen, wurde für die Zwischenstufe auf der Längsseite die Einbindetiefe auf der Stirnseite T_{Stirn} gewählt und in zahlreichen Berechnungen die optimale Position gesucht. Diese Untersuchungen haben ergeben, dass bei Verwendung der vorgenannten Einbindetiefen die zweite Stufe optimal bei $x/L = 0,15$ anzuordnen ist. Damit ergibt sich der in der folgenden Abbildung zu sehende Abtreppungsansatz.

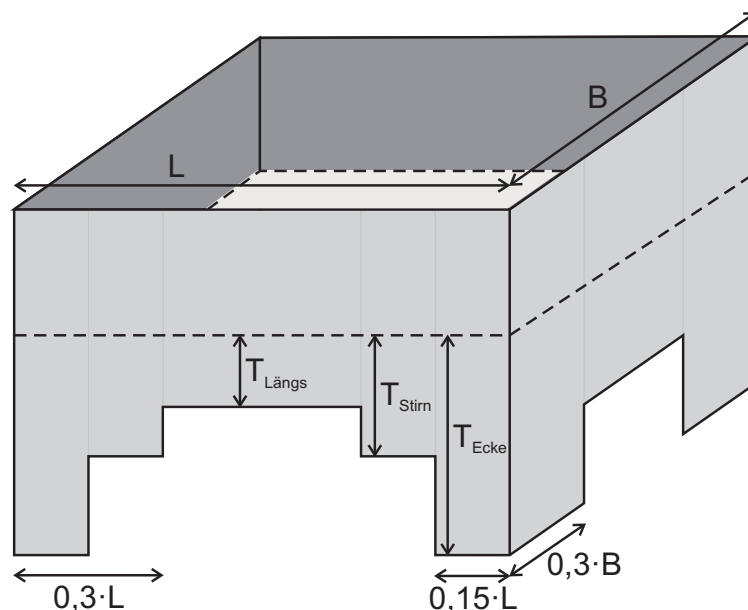
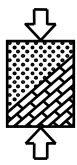


Abbildung 43: Systemskizze mit zwei Stufen auf der Längs- und einer Stufe auf der Stirnseite



Im Folgenden sind die Ergebnisse für zwei der berechneten Baugruben mit vorgenanntem Ansatz dargestellt.

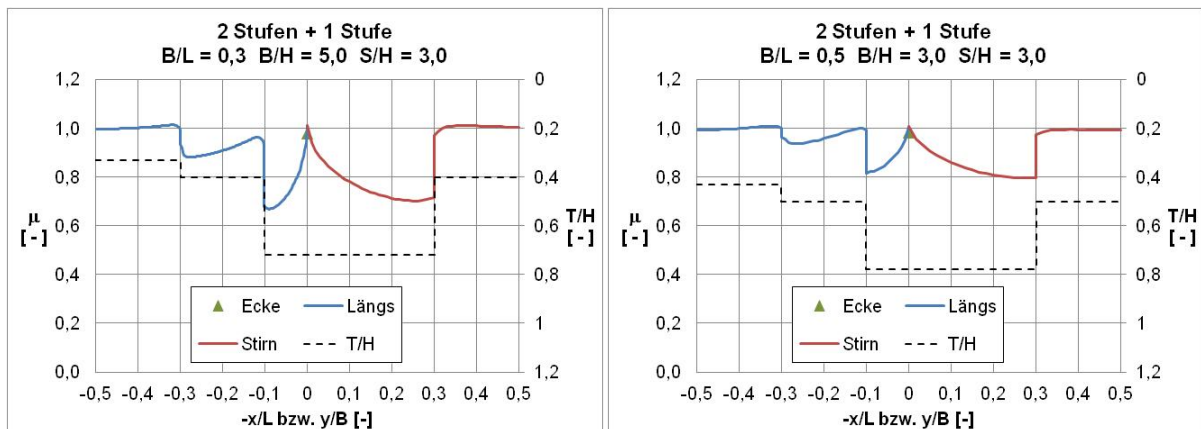


Abbildung 44: Ausnutzungsgrad entlang der Verbauwand mit zwei Stufen auf der Längs- und einer Stufe auf der Stirnseite

Zunächst ist anhand von Abbildung 44 zu sehen, dass mit dem hier verwendeten Ansatz sichere Ergebnisse erhalten werden. Der Ausnutzungsgrad beträgt maximal etwa $\mu \approx 1,0$. Weiterhin sieht man aber auch, dass durch die zweite Stufe auf der Längsseite eine wesentlich bessere Ausnutzung als ohne (vgl. Abbildung 39) oder mit nur einer Stufe (Abbildung 42) erzielt wird.

Einen Sonderfall bei diesem Ansatz stellen die quadratischen Baugruben dar. Da es aufgrund der Symmetrie für quadratische Baugruben nur eine Einbindetiefe für die Seiten gibt, wurde für die zweite Stufe ersatzweise der Mittelwert aus der Einbindetiefe für die Ecke und für die Seite gewählt. Mit dieser Einbindetiefe wurde dann auf jeder Seite eine zweite Stufe eingefügt.

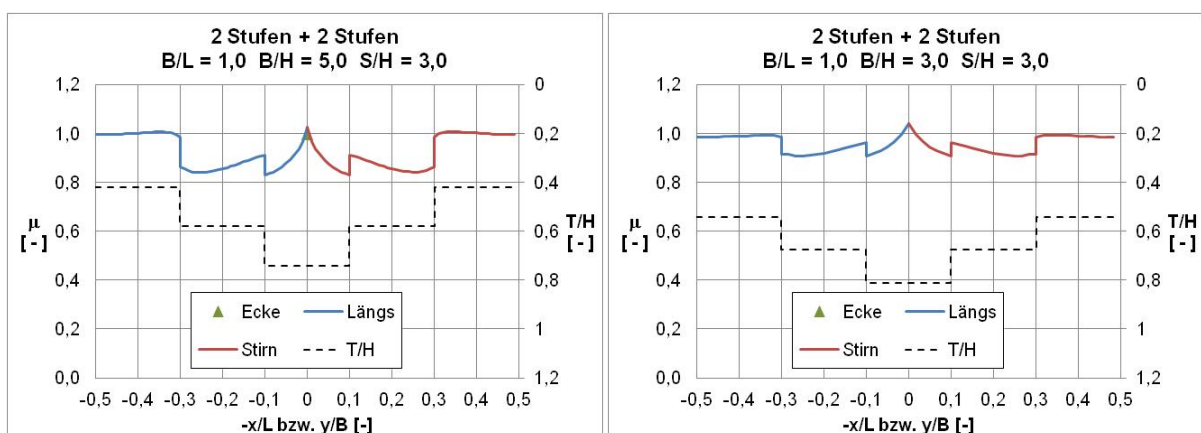
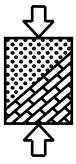


Abbildung 45: Ausnutzungsgrad entlang der Verbauwand mit zwei Stufen auf jeder Seite bei quadratischen Baugruben

Abbildung 45 zeigt die Ergebnisse für zwei quadratische Baugruben entsprechend der zuvor beschriebenen Vorgehensweise. Man sieht, dass auch hier der Ausnutzungsgrad nur geringfügig größer als $\mu \approx 1,0$ wird und somit sichere Ergebnisse erzielt werden, gleichzeitig aber optimierte Systeme vorliegen.



Weiterhin erkennt man auch, dass der Ausnutzungsgrad im Vergleich zu den rechteckigen Baugruben weniger stark abnimmt. Dies liegt darin begründet, dass die sonst verwendete Einbindetiefe für die Stirnseite T_{Stirn} in der Regel kleiner als die durch die Mittelwertbildung bestimmte Einbindetiefe ist.

In Summe liefert der zuvor beschriebene Ansatz einer zweiten Stufe für große Baugruben ein sicheres und hinsichtlich des Eingriffs in die Grundwasserverhältnisse verbessertes Entwurfskonzept. Durch die partiell verringerten Einbindetiefen können zusätzlich wirtschaftliche Vorteile zum Tragen kommen, sofern die Material- und Zeitersparnis größer als der logistische Mehraufwand ist.

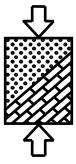
Die Ergebnisse aller mit diesem Ansatz untersuchten Baugruben sind im Anhang H enthalten.

8.3 Abtreppung mit einer Stufe je Seite und erhöhter Einbindetiefe

Eine alternative zur Optimierung des Verbaus gegenüber der Variante mit einer Stufe bei $x/L = y/B = 0,3$ durch eine zweite Stufe stellt die Möglichkeit dar, weiterhin nur eine Stufe zu verwenden, diese jedoch näher an der Ecke anzuordnen. Betrachtet man z.B. Abbildung 41 oder Abbildung 42 erkennt man jedoch, dass dies unweigerlich zur Folge hätte, dass der Ausnutzungsgrad ausgehend von $x/L = 0,3$ hin zur Ecke Werte von $\mu > 1,0$ annehmen würde. Gleiches gilt auch für die Stirnseite und letztlich würde damit eine unsichere Lösung erhalten.

Umgekehrt hat jedoch eine Erhöhung der Einbindetiefe an den Seiten zur Folge, dass sich der Ausnutzungsgrad an den Seiten verringert und auch um den Bereich von $x/L = 0,3$ bzw. $y/B = 0,3$ Werte von $\mu < 1,0$ erhalten werden.

Daraus folgt, dass wenn die Stufe näher an die Ecke gerückt und zugleich eine Erhöhung der Einbindetiefe an den Seiten vorgenommen wird, durchaus sichere Lösungen erhalten werden können. Daher wurden hierzu verschiedene Voruntersuchungen durchgeführt. Diese haben gezeigt, dass gute Ergebnisse dann erzielt werden, wenn eine Erhöhung der Einbindetiefen auf der Längs- und der Stirnseite um $\Delta T/H = 10\%$ vorgenommen und die Stufe dann bei $x/L = 0,15$ bzw. $y/B = 0,15$ angeordnet wird, so dass hierfür analog zu den bereits vorgestellten Varianten umfangreiche Berechnungen durchgeführt wurden.



Die folgende Abbildung zeigt exemplarisch die Ergebnisse für zwei der untersuchten Baugruben.

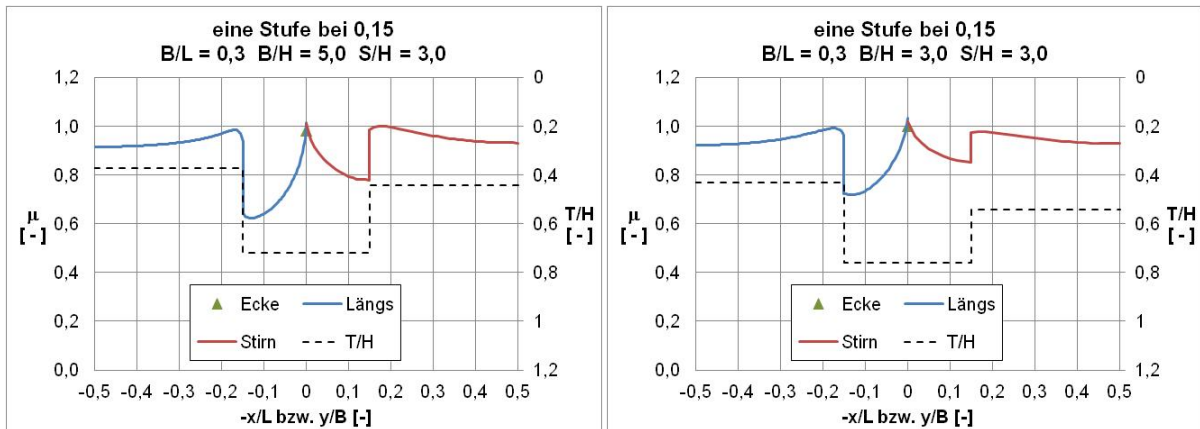
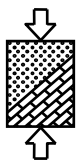


Abbildung 46: Ausnutzungsgrad entlang der Verbauwand mit einer Stufe bei $x/L = 0,15$ und $y/B = 0,15$

Man erkennt, dass trotz des gegenüber dem ursprünglichen System wesentlich kleineren Bereichs mit Eckvertiefung dennoch sichere Ergebnisse erhalten werden. Weiterhin ist zu sehen, dass durch die Erhöhung der Einbindetiefen das Sicherheitsniveau an den Seitenmitten von vorneherein etwas größer bzw. die Ausnutzung etwas geringer ist. Die hier zu sehende Tendenz wird auch bei den übrigen untersuchten Baugruben bestätigt. Die dazugehörigen Ergebnisse sind im Anhang H enthalten.

Letztlich stellt auch dieser Ansatz eine sichere und gleichzeitig optimierte Lösung für den Entwurf von Verbauwänden dar.



9 Zusammenfassung

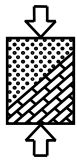
Die Ergebnisse des vorherigen Forschungsvorhabens „Sicherheitsnachweise für den Hydraulischen Grundbruch“ [21] hatten gezeigt, dass im Zusammenhang mit dem Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch eine dreidimensionale Betrachtungsweise in den meisten Fällen unerlässlich ist und weiterführende Untersuchungen für den räumlichen Fall notwendig sind.

Dem wurde im Rahmen des aktuellen Forschungsvorhabens Rechnung getragen, indem durch den Lehrstuhl für Geotechnik im Bauwesen (GiB) der RWTH Aachen intensive und umfangreiche Untersuchungen zur Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch unter Berücksichtigung räumlicher Anstromverhältnisse durchgeführt wurden.

Um die zahlreichen Berechnungen innerhalb eines vertretbaren Zeitrahmens überhaupt durchführen zu können, wurde ein Modul entwickelt, mithilfe dessen der iterative Prozess der Ermittlung der für die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch erforderlichen Einbindetiefe teilweise automatisiert vorgenommen werden kann. Die Programmierung dieses Moduls erfolgte durch den Projektpartner „Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft“ der RWTH Aachen in enger Abstimmung mit dem GiB.

Mithilfe des Moduls wurden zunächst für homogenen und isotropen Baugrund umfangreiche Untersuchungen angestellt. In zahlreichen Berechnungen wurden für verschiedene Baugrubenbreiten und -längen, unterschiedliche Aquifermächtigkeiten und für mehrere Wichten sowie für günstigen und ungünstigen Baugrund die für die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch erforderlichen Einbindetiefen getrennt für die Ecke und die Baugrubenseiten ermittelt. Die so erhaltenen Ergebnisse wurden schließlich in insgesamt 64 dimensionslosen Bemessungsdiagrammen aufbereitet, mithilfe derer die erforderliche Einbindetiefe auf einfache Weise in Abhängigkeit vom Baugrund und von den geometrischen Verhältnissen ermittelt werden kann.

Schließlich wurde eine Interpolationsfunktion untersucht, mit der sich die erforderliche Einbindetiefe für beliebige Wichten auf der Basis der Ergebnisse für eine Wichte unter Auftrieb von $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$ ermitteln lässt. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die Interpolationsfunktion für einen bezüglich der geometrischen Randbedingungen großen Wertebereich gute Ergebnisse liefert, wodurch sich die Anzahl der notwendigen Bemessungsdiagramme wesentlich verringert.

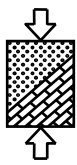


In einem weiteren Schritt wurde schließlich anisotroper Baugrund untersucht, da sich bei anisotropen Verhältnissen die erforderliche Einbindetiefe gegenüber isotropen Verhältnissen erhöht. Auf Basis der Untersuchungsergebnisse wurden Bemessungshilfen entwickelt bzw. Empfehlungen ausgesprochen. Danach sollte bei gering anisotropen Verhältnissen eine von der Geometrie abhängige, gestaffelte Erhöhung der Einbindetiefe gegenüber isotropen Verhältnissen vorgenommen werden. Für stark anisotrope Verhältnisse wurde hingegen eine Näherungsformel entwickelt, in die sowohl die Baugrubenbreite und -länge als auch die Lage (Ecke, Stirn- oder Längsseite) einfließt.

Weiterhin wurden auch für geschichtete Baugrundverhältnisse Untersuchungen angestellt, da sich gerade dann, wenn eine weniger durchlässige Schicht von einer wesentlich durchlässigeren Schicht überlagert wird, größere Einbindetiefen als für homogenen Baugrund ergeben können. Analog zu anisotropen Verhältnissen wurde auch für geschichteten Baugrund eine Näherungsformel entwickelt. Diese beinhaltet neben der erforderlichen Einbindetiefe für homogenen Baugrund die Baugrubenbreite und einen Faktor zur Berücksichtigung der Lage.

Sowohl mit der Näherung für anisotropen und als auch mit der Näherung für geschichteten Baugrund werden mit geringen Einschränkungen ausreichend genaue Ergebnisse erhalten. Damit wurde neben den Bemessungshilfen für homogenen und isotropen Baugrund ein weiteres Hilfsmittel zur Bemessung von Baugruben bezüglich der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch geschaffen.

In einem letzten Schritt wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens Untersuchungen zu abgetreppten Verbauwänden angestellt. Diese hatten das Ziel, Ansätze zu entwickeln, mit denen die Einbindetiefe besser an die tatsächlichen Anstromverhältnisse angepasst werden können, um nicht mehr als notwendig in die Grundwasserverhältnisse einzugreifen. Insgesamt wurden drei Ansätze entwickelt, mit denen auf Basis der erforderlichen Einbindetiefe aus den Bemessungsdiagrammen Baugruben so dimensioniert werden können, dass eine zugleich sichere als auch an die Anstromverhältnisse angepasste Lösung erhalten wird. Der letztgenannte Aspekt hat zudem zur Folge, dass nicht nur eine umweltverträglichere, sondern oft auch eine wirtschaftlichere Lösung erhalten werden kann.



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Systemskizze 2D und 3D [21]	4
Abbildung 2:	Systemskizze mit Modellrand [21]	5
Abbildung 3:	Ausnutzungsgrad für verschiedene Bruchkörper in 2D (links) und 3D (rechts) nach [21]	6
Abbildung 4:	Dimensionslose Bemessungsdiagramme für den ebenen Fall nach [21]	7
Abbildung 5:	Simulation-Callback-Funktionen nach [10]	10
Abbildung 6:	Skizze zur Modellanpassung	11
Abbildung 7:	Schritte bei der Programmausführung	12
Abbildung 8:	Staffelung der Einbindetiefe entlang der Verbauwand	14
Abbildung 9:	Trianguläres Netz	18
Abbildung 10:	Modellausschnitt mit verschiedenen Durchlässigkeiten K_{xx}	18
Abbildung 11:	Vertikale Unterteilung der Modelle	19
Abbildung 12:	Skizze der Bruchkörper für die Nachweisführung	20
Abbildung 13:	Interpolation zwischen den Knoten an der Längsseite	25
Abbildung 14:	Prozentuale Abweichung der Einbindetiefe T/H vom vorherigen Forschungsvorhaben	26
Abbildung 15:	Prozentuale Abweichung der Einbindetiefe T/H zwischen Version 175 und 194	27
Abbildung 16:	Mittels GGU-SSFlow berechnete Modelle	30
Abbildung 17:	Ausnutzungsgrade aus Nachrechnung mit GGU-SSFlow für günstigen Baugrund und $\gamma' = 9 \text{ kN/m}^3$	31
Abbildung 18:	Bemessungsdiagramme für quadratische Baugruben in günstigem Baugrund mit $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$	33
Abbildung 19:	Bemessungsdiagramme für rechteckige Baugruben in günstigem Baugrund mit $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$	34
Abbildung 20:	Bemessungsdiagramme für langgestreckte Baugruben in günstigem Baugrund mit $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$	35
Abbildung 21:	Bemessungsdiagramme für quadratische Baugruben in ungünstigem Baugrund mit $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$	36
Abbildung 22:	Bemessungsdiagramme für rechteckige Baugruben in ungünstigem Baugrund mit $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$	37
Abbildung 23:	Bemessungsdiagramme für langgestreckte Baugruben in ungünstigem Baugrund mit $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$	38
Abbildung 24:	Vergleich der erforderlichen Einbindetiefe für verschiedene Wichten	39
Abbildung 25:	Gegenüberstellung der Einbindetiefen aus FEFLOW® und mittels Interpolationsfunktion mit $\gamma'/\gamma_w = 1,2$ (links) und $\gamma'/\gamma_w = 1,0$ (rechts)	40
Abbildung 26:	Differenz der Einbindetiefen T/H aus FEFLOW® und mittels Interpolation zu Abbildung 25 mit $\gamma'/\gamma_w = 1,2$ (links) und $\gamma'/\gamma_w = 1,0$ (rechts)	41

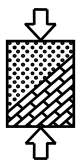
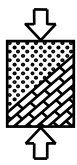
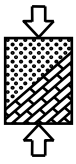


Abbildung 27:	Anwendungsbereich der Interpolationsfunktion.....	41
Abbildung 28:	Potentialverteilung für isotropen (links) und anisotropen Boden (rechts)	43
Abbildung 29:	Vergleich der Einbindetiefe T/H für isotrope und anisotrope Verhältnisse	44
Abbildung 30:	Erhöhung der Einbindetiefe T/H für gering anisotrope Baugrundverhältnisse.....	45
Abbildung 31:	Prozentuale Abweichung der mittels Formel ermittelten und aus FEM erhaltenen Einbindetiefe	46
Abbildung 32:	Vergleich der mittels FEM und mittels Näherung erhaltenen Einbindetiefen T/H.....	47
Abbildung 33:	Systemskizze für geschichteten Baugrund.....	48
Abbildung 34:	Potentialverteilung für homogenen (links) und geschichteten Boden (rechts)	48
Abbildung 35:	Vergleich der Einbindetiefe T/H für homogenen und geschichteten Baugrund	50
Abbildung 36:	Vergleich der Einbindetiefe T/H für geschichteten Baugrund mit variablen Durchlässigkeiten.....	51
Abbildung 37:	Vergleich der mittels FEM und mittels Näherung erhaltenen Einbindetiefen T/H.....	54
Abbildung 38:	Definition der Lage entlang der Baugrubenwand	55
Abbildung 39:	Ausnutzungsgrad entlang der Baugrube für zwei Beispiele mit nahezu konstanter Einbindetiefe	56
Abbildung 40:	Systemskizze mit je einer Stufe bei $x/L = 0,3$ und $y/B = 0,3$	57
Abbildung 41:	Ausnutzungsgrad entlang der Baugrube aus dem vorherigen Forschungsvorhaben [21] (links) und ermittelt mit Hilfe des FEFLOW®-Moduls (rechts)	58
Abbildung 42:	Ausnutzungsgrad entlang der Verbauwand mit einer Stufe bei $x/L = 0,3$ und $y/B = 0,3$	58
Abbildung 43:	Systemskizze mit zwei Stufen auf der Längs- und einer Stufe auf der Stirnseite	59
Abbildung 44:	Ausnutzungsgrad entlang der Verbauwand mit zwei Stufen auf der Längs- und einer Stufe auf der Stirnseite	60
Abbildung 45:	Ausnutzungsgrad entlang der Verbauwand mit zwei Stufen auf jeder Seite bei quadratischen Baugruben.....	60
Abbildung 46:	Ausnutzungsgrad entlang der Verbauwand mit einer Stufe bei $x/L = 0,15$ und $y/B = 0,15$	62



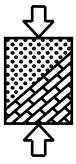
Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Teilsicherheitsbeiwerte nach Tabelle A 2.1 DIN 1054:2010-12 [3]	3
Tabelle 2: Wertebereich für homogene, isotrope Baugrundverhältnisse	8
Tabelle 3: Verwendete Modelle	16
Tabelle 4: Wertebereich des untersuchten Baugrunds	29
Tabelle 5: Lagefaktor für anisotrope Verhältnisse	46
Tabelle 6: Untersuchungsbereich für geschichteten Baugrund	49
Tabelle 7: Lagefaktor für geschichteten Baugrund	52



Literaturverzeichnis

- [1] DIN EN 1997-1:2009-09, Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Allgemeine Regeln;
Deutsche Fassung EN 1997-1:2004 + AC:2009
- [2] DIN EN 1997-1/NA:2010-12, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln
- [3] DIN 1054:2010-12, Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1
- [4] DIN 1054:2005-01, Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau
- [5] Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“ EAB
4. Auflage 2006
Verlag Ernst & Sohn
- [6] Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ Häfen und Wasserstraßen“ EAU
10. Auflage 2004
Verlag Ernst & Sohn
- [7] Aulbach, B., Ziegler, M.:
Hydraulic heave considering the geometry of excavations
In: Proceedings of the 15th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering / ed. by Andreas Anagnostopoulos - Amsterdam [u.a.] : IOS Press 3, 2011. - ISBN: 978-1-60750-800-7, S. 1415-1420.
- [8] Becker, B., Schüttrumpf, H.:
An OpenMi module for the groundwater flow simulation programme FeFlow
Journal of hydroinformatics 13 (2011) 1
- [9] DHI-WASY GmbH
Waltersdorfer Straße 105
12526 Berlin
- [10] DHI-Wasy GmbH
<http://www.feflow.info/manuals.html?&L=4>
(letzter Zugriff: 16.11.2011)



- [11] GGU mbH
Am Hafen 22
38112 Braunschweig

- [12] Schüttrumpf, H., Becker, B.:
Eine Leakage-Randbedingung für Großraum-Grundwassermodelle auf Basis
des Grundwasserströmungsprogramms FEFLOW®
Abschlussbericht im Auftrag des Landesamtes für Natur, Umwelt und
Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, 2008

- [13] Sofistik AG
Bruckmannring 38
85764 Oberschleissheim

- [14] Terzaghi, K. und Peck, R. B.
Soil Mechanics in Engineering Practice
Second Edition 1967
John Wiley & Sons, Inc.

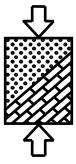
- [15] Terzaghi, K. und Peck, R. B.
Die Bodenmechanik in der Baupraxis
Springer-Verlag, 1961

- [16] von Soos, P. und Engel, J.
Eigenschaften von Boden und Fels – ihre Ermittlung im Labor
Grundbau-Taschenbuch, Teil 1
7. Auflage
Verlag Ernst & Sohn

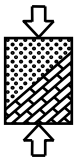
- [17] Weißenbach, A.
Baugrubensicherung
Grundbau – Taschenbuch, Teil 3
4. Auflage 1992
Verlag Ernst & Sohn

- [18] Weißenbach, A.
Baugrubensicherung
Grundbau – Taschenbuch, Teil 3
6. Auflage 2001
Verlag Ernst & Sohn

- [19] Ziegler, M., Aulbach, B., Heller, H., Kuhlmann, D.
Der Hydraulische Grundbruch – Bemessungsdiagramme zur Ermittlung der
erforderlichen Einbindetiefe.
In: Bautechnik 86 (2009), S. 529 – 541, ISSN 0932-8351

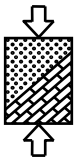


- [20] Ziegler, M.
Geotechnische Nachweise nach EC7 und DIN 1054
Einführung in Beispielen
3. Auflage, erscheint Anfang 2012
Verlag Ernst & Sohn
- [21] Ziegler, M., Aulbach, B.
Sicherheitsnachweise für den Hydraulischen Grundbruch
Abschlussbericht Stuttgart, 2009
Fraunhofer IRB Verlag



Anhang

- Anhang A Einbindetiefe T/H und Bemessungsdiagramme für homogenen, isotropen Baugrund
- Anhang B Ausnutzungsgrade aufgrund der Kontrollrechnungen mit GGU für homogenen, isotropen Baugrund
- Anhang C Differenz zwischen mit FEFLOW® berechneter und mittels Faktor erhaltener Einbindetiefe für homogenen, isotropen Baugrund
- Anhang D Einbindetiefe T/H für homogenen, anisotropen Baugrund
- Anhang E Prozentuale Abweichung zwischen mit FEFLOW® berechneter und mittels Erhöhung bzw. Formel erhaltener Einbindetiefe für homogenen, anisotropen Baugrund
- Anhang F Einbindetiefen T/H für geschichteten, isotropen Baugrund
- Anhang G Prozentuale Abweichung zwischen mit FEFLOW® berechneter und mittels Formel bzw. Interpolation erhaltener Einbindetiefe für geschichteten, isotropen Baugrund
- Anhang H Ausnutzungsgrad bei abgetreppten Verbauwänden
- Anhang I Format der Input- und Output-Dateien des FEFLOW®-Moduls
- Anhang J Interpolation für die Ermittlung der Potentiale

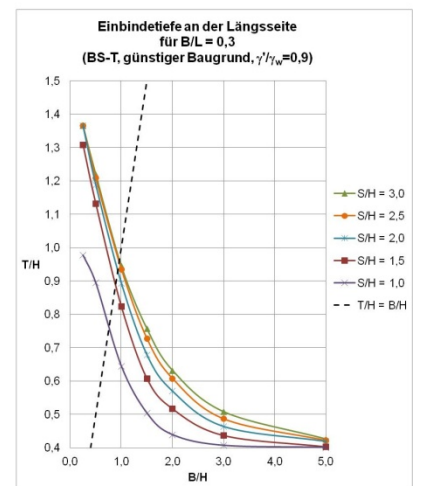
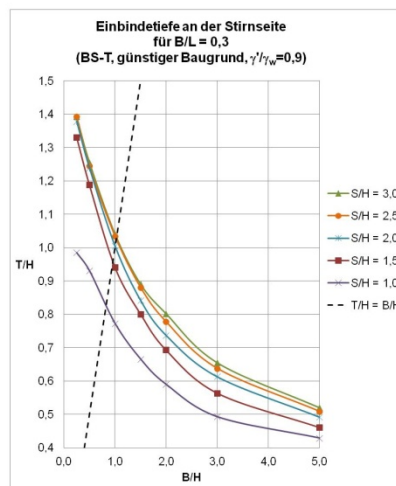
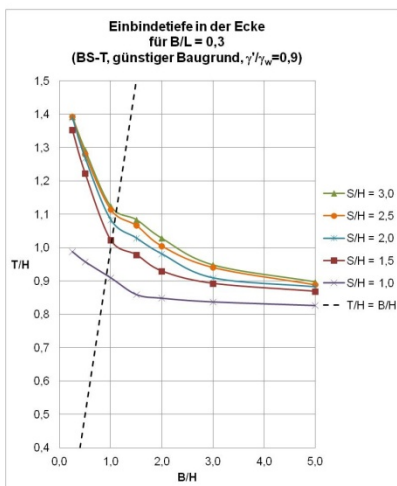
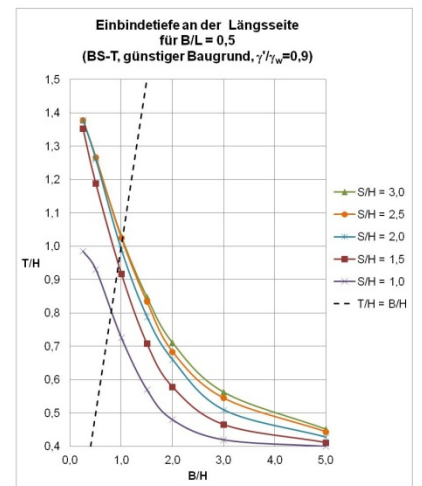
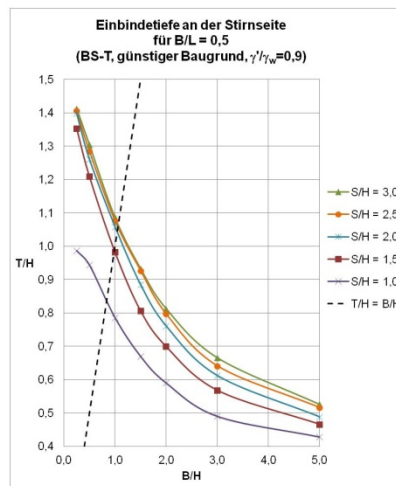
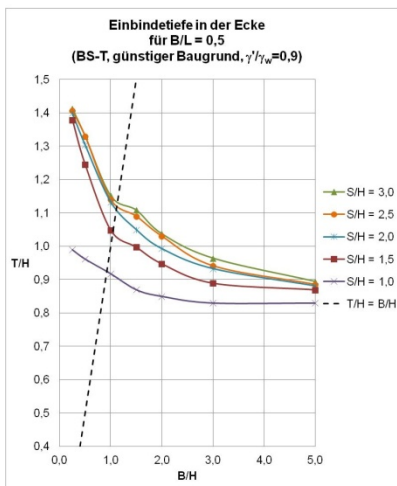
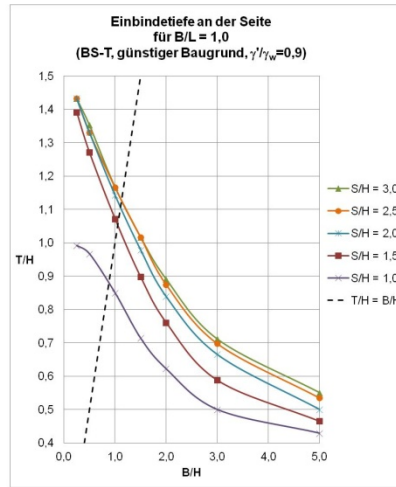
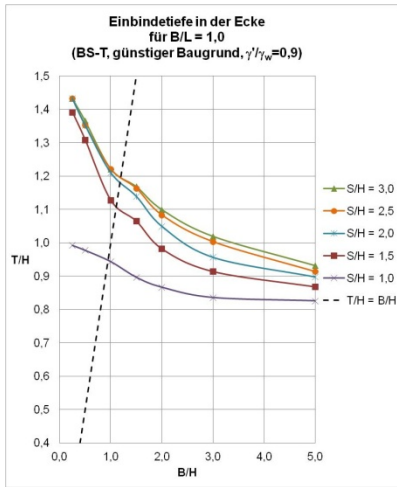
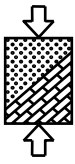


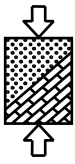
Anhang A

Einbindetiefen T/H und Bemessungsdiagramme für homogenen, isotropen Baugrund

Anhang A1: Günstiger Baugrund, $\gamma' = 9 \text{ kN/m}^3$

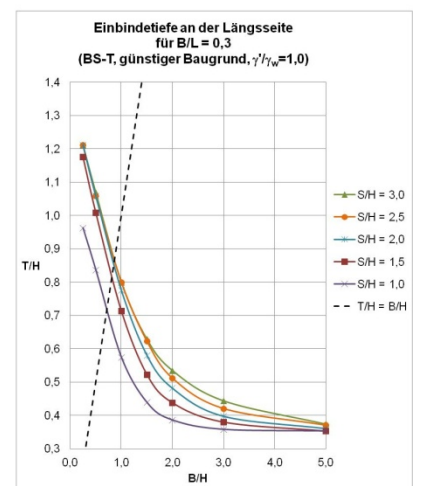
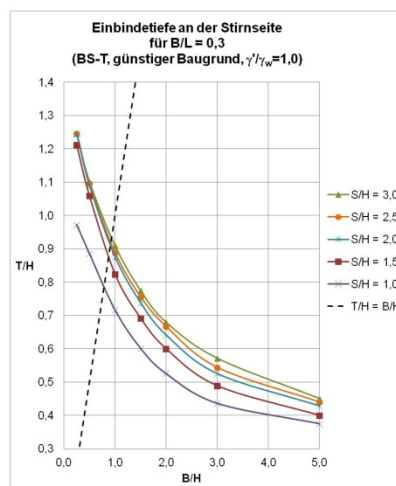
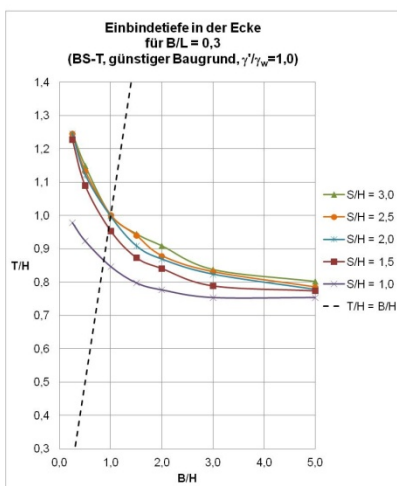
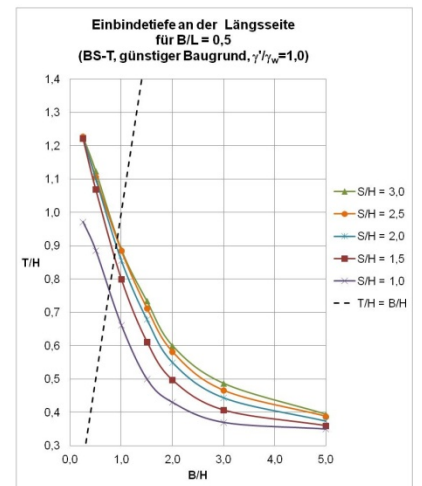
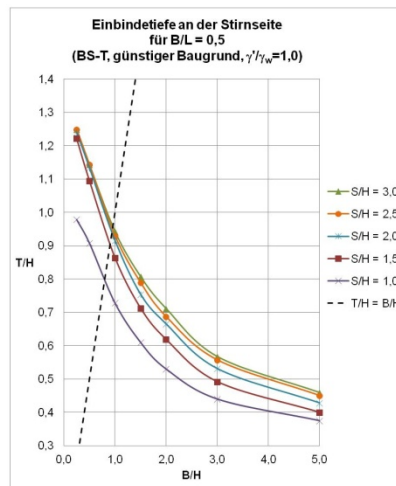
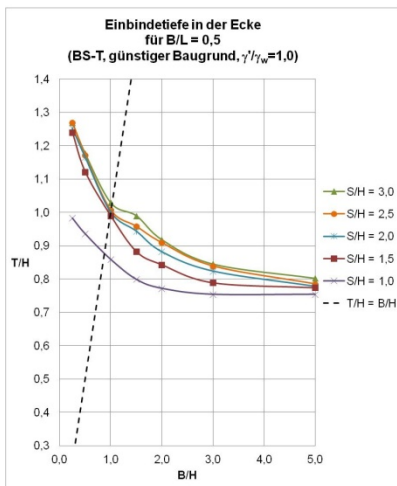
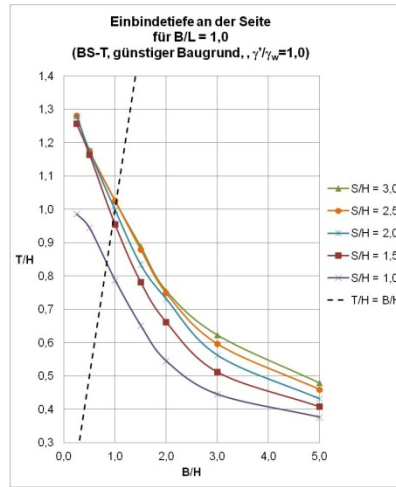
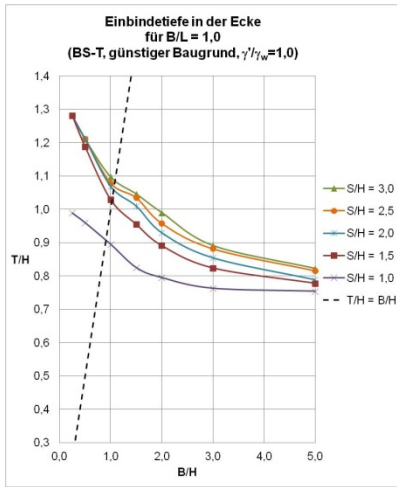
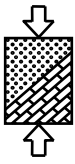
B/L	Ecke					Stirnseite					Längsseite							
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	0,25	0,993	1,392	1,433	1,433	1,433	0,25	0,992	1,392	1,433	1,433	1,433	0,25	0,992	1,392	1,433	1,433	1,433
	0,50	0,978	1,309	1,353	1,353	1,366	0,50	0,967	1,271	1,331	1,331	1,353	0,50	0,967	1,271	1,331	1,331	1,353
	1,00	0,944	1,128	1,211	1,222	1,222	1,00	0,850	1,072	1,143	1,167	1,167	1,00	0,850	1,072	1,143	1,167	1,167
	1,50	0,897	1,065	1,140	1,164	1,169	1,50	0,714	0,898	0,979	1,017	1,017	1,50	0,714	0,898	0,979	1,017	1,017
	2,00	0,867	0,982	1,050	1,084	1,100	2,00	0,622	0,761	0,839	0,875	0,891	2,00	0,622	0,761	0,851	0,875	0,891
	3,00	0,836	0,914	0,957	1,004	1,020	3,00	0,500	0,588	0,665	0,698	0,711	3,00	0,500	0,588	0,665	0,698	0,711
	5,00	0,826	0,868	0,898	0,914	0,932	5,00	0,429	0,465	0,500	0,535	0,550	5,00	0,429	0,465	0,500	0,535	0,550
0,5	0,25	0,990	1,379	1,399	1,406	1,413	0,25	0,987	1,353	1,399	1,406	1,413	0,25	0,985	1,353	1,379	1,379	1,379
	0,50	0,962	1,245	1,304	1,33	1,330	0,50	0,944	1,209	1,261	1,285	1,304	0,50	0,931	1,189	1,261	1,267	1,267
	1,00	0,918	1,048	1,133	1,14	1,151	1,00	0,786	0,982	1,059	1,076	1,086	1,00	0,726	0,918	0,99	1,025	1,030
	1,50	0,870	0,997	1,050	1,090	1,108	1,50	0,670	0,806	0,885	0,927	0,933	1,50	0,570	0,708	0,789	0,834	0,848
	2,00	0,850	0,947	0,993	1,030	1,037	2,00	0,590	0,699	0,761	0,797	0,813	2,00	0,480	0,578	0,660	0,684	0,711
	3,00	0,83	0,889	0,933	0,941	0,964	3,00	0,49	0,568	0,612	0,641	0,666	3,00	0,42	0,465	0,509	0,545	0,563
	5,00	0,830	0,869	0,881	0,885	0,894	5,00	0,428	0,466	0,488	0,516	0,526	5,00	0,400	0,411	0,427	0,444	0,452
0,3	0,25	0,988	1,353	1,390	1,393	1,393	0,25	0,985	1,331	1,379	1,393	1,393	0,25	0,978	1,309	1,366	1,366	1,366
	0,50	0,958	1,223	1,269	1,281	1,293	0,50	0,931	1,188	1,239	1,245	1,256	0,50	0,895	1,132	1,189	1,209	1,220
	1,00	0,910	1,023	1,084	1,115	1,124	1,00	0,773	0,941	1,005	1,035	1,041	1,00	0,645	0,824	0,894	0,936	0,945
	1,50	0,86	0,979	1,029	1,067	1,084	1,50	0,666	0,801	0,842	0,881	0,891	1,50	0,504	0,608	0,679	0,728	0,757
	2,00	0,849	0,930	0,981	1,005	1,028	2,00	0,590	0,693	0,737	0,778	0,802	2,00	0,439	0,517	0,570	0,608	0,632
	3,00	0,838	0,893	0,909	0,941	0,948	3,00	0,493	0,564	0,613	0,638	0,655	3,00	0,407	0,437	0,464	0,487	0,508
	5,00	0,827	0,869	0,882	0,889	0,897	5,00	0,429	0,461	0,492	0,509	0,520	5,00	0,401	0,403	0,419	0,422	0,426

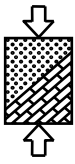




Anhang A2: Günstiger Baugrund, $\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$

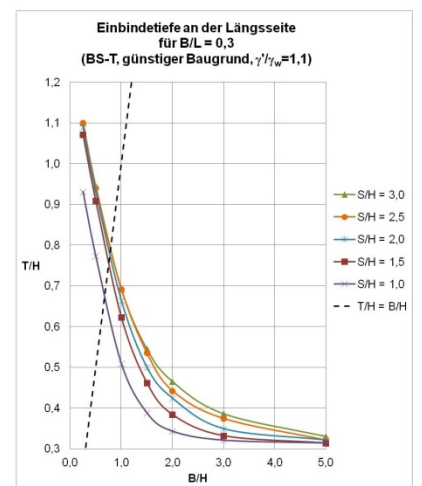
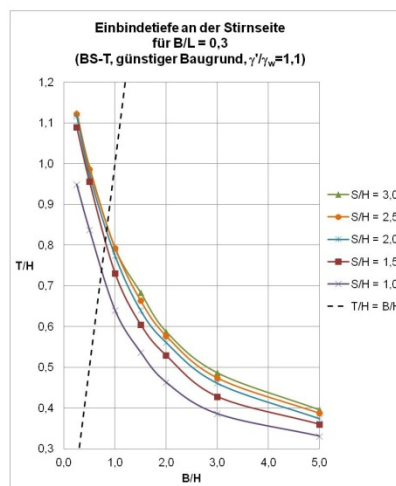
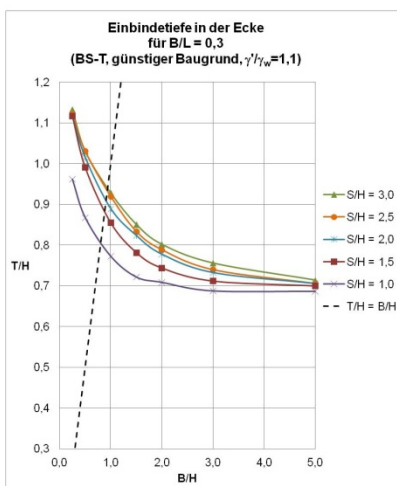
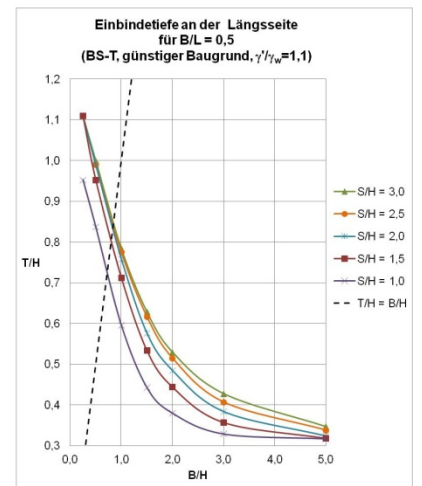
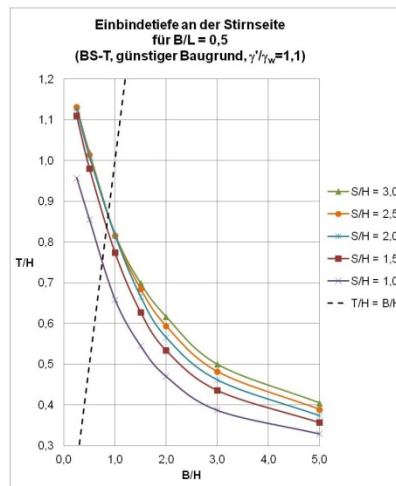
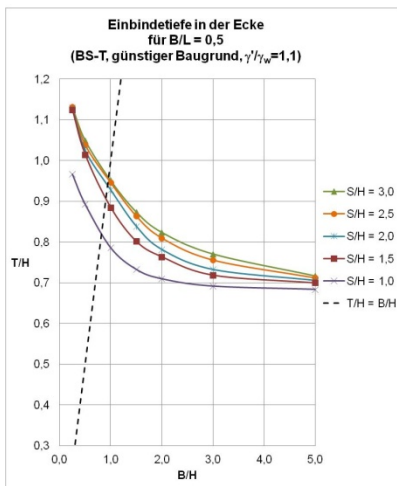
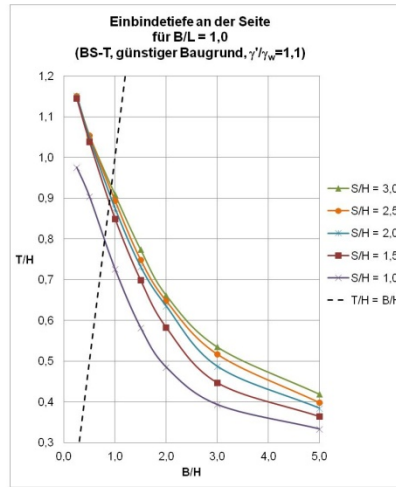
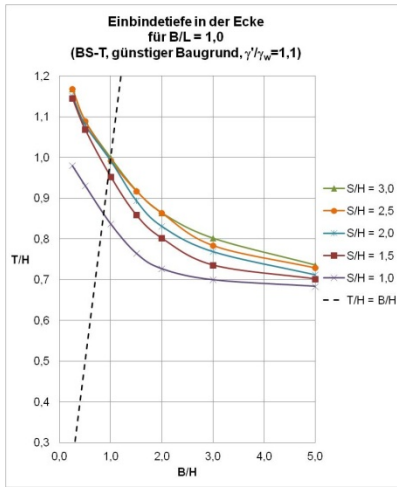
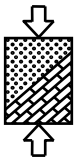
B/L	Ecke						Stirnseite						Längsseite					
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	0,25	0,989	1,281	1,281	1,281	1,281	0,25	0,986	1,257	1,281	1,281	1,281	0,25	0,986	1,257	1,281	1,281	1,281
	0,50	0,960	1,188	1,211	1,211	1,211	0,50	0,945	1,165	1,176	1,176	1,176	0,50	0,945	1,165	1,176	1,176	1,176
	1,00	0,895	1,029	1,069	1,079	1,097	1,00	0,788	0,955	0,999	1,026	1,026	1,00	0,788	0,955	0,999	1,026	1,026
	1,50	0,825	0,955	1,010	1,035	1,046	1,50	0,652	0,782	0,835	0,880	0,889	1,50	0,652	0,782	0,835	0,880	0,889
	2,00	0,795	0,891	0,930	0,958	0,990	2,00	0,545	0,662	0,732	0,749	0,756	2,00	0,545	0,662	0,732	0,749	0,763
	3,00	0,763	0,824	0,855	0,882	0,891	3,00	0,445	0,512	0,563	0,596	0,623	3,00	0,445	0,512	0,563	0,596	0,623
	5,00	0,754	0,778	0,789	0,816	0,822	5,00	0,376	0,408	0,432	0,459	0,479	5,00	0,376	0,408	0,432	0,459	0,479
0,5	0,25	0,983	1,240	1,253	1,270	1,270	0,25	0,979	1,222	1,240	1,249	1,249	0,25	0,972	1,222	1,225	1,228	1,228
	0,50	0,936	1,122	1,166	1,171	1,177	0,50	0,908	1,095	1,133	1,143	1,143	0,50	0,886	1,069	1,101	1,106	1,124
	1,00	0,859	0,99	1,001	1,007	1,029	1,00	0,728	0,864	0,915	0,929	0,942	1,00	0,662	0,8	0,856	0,885	0,889
	1,50	0,799	0,883	0,944	0,958	0,990	1,50	0,610	0,713	0,754	0,789	0,807	1,50	0,500	0,612	0,679	0,713	0,734
	2,00	0,772	0,843	0,882	0,909	0,918	2,00	0,530	0,619	0,665	0,687	0,711	2,00	0,430	0,497	0,550	0,582	0,600
	3,00	0,754	0,789	0,824	0,839	0,845	3,00	0,44	0,492	0,531	0,557	0,567	3,00	0,37	0,407	0,444	0,466	0,487
	5,00	0,754	0,774	0,778	0,785	0,802	5,00	0,375	0,400	0,428	0,450	0,459	5,00	0,350	0,360	0,374	0,388	0,394
0,3	0,25	0,979	1,228	1,246	1,246	1,246	0,25	0,972	1,211	1,246	1,246	1,246	0,25	0,963	1,176	1,211	1,211	1,211
	0,50	0,924	1,090	1,122	1,133	1,149	0,50	0,885	1,059	1,090	1,096	1,101	0,50	0,837	1,009	1,059	1,059	1,069
	1,00	0,847	0,954	0,997	1,001	1,001	1,00	0,716	0,824	0,876	0,889	0,909	1,00	0,575	0,714	0,776	0,800	0,800
	1,50	0,798	0,874	0,909	0,94	0,945	1,50	0,601	0,692	0,738	0,756	0,774	1,50	0,439	0,523	0,581	0,623	0,629
	2,00	0,777	0,841	0,869	0,879	0,909	2,00	0,525	0,600	0,641	0,667	0,679	2,00	0,386	0,438	0,482	0,512	0,535
	3,00	0,754	0,789	0,824	0,831	0,838	3,00	0,436	0,489	0,525	0,544	0,571	3,00	0,358	0,380	0,398	0,421	0,444
	5,00	0,754	0,774	0,778	0,785	0,802	5,00	0,375	0,400	0,428	0,440	0,450	5,00	0,353	0,353	0,361	0,371	0,374

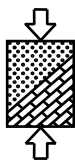




Anhang A3: Günstiger Baugrund, $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$

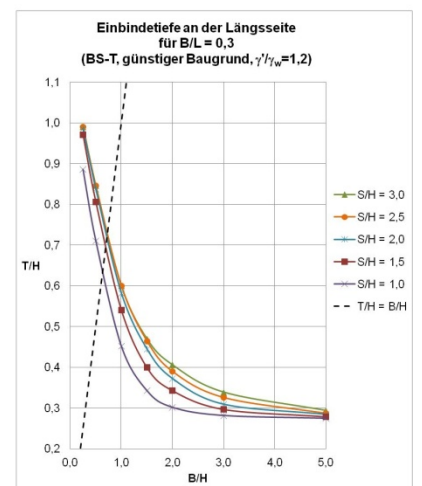
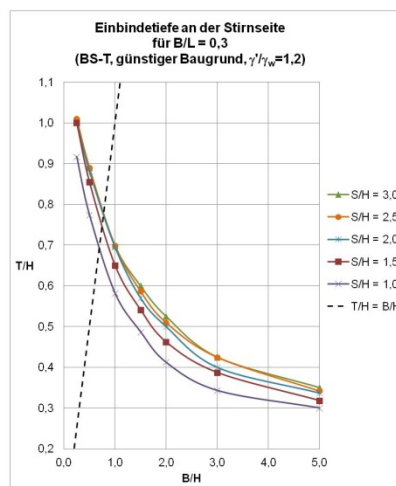
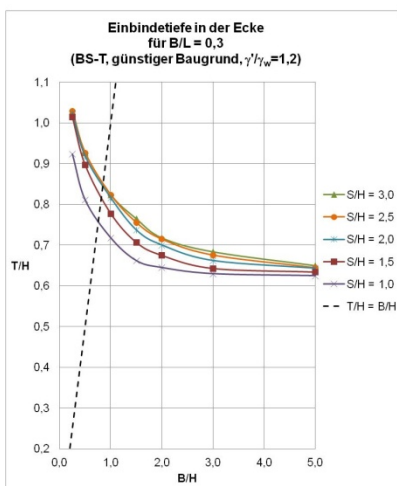
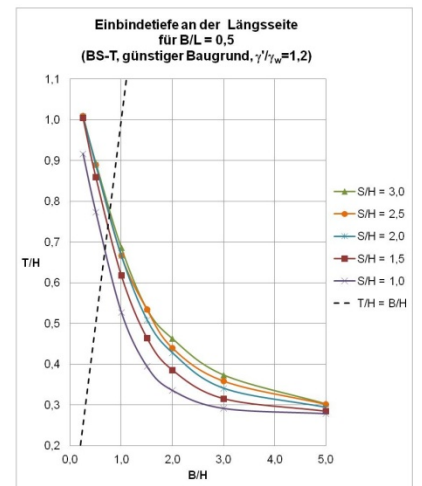
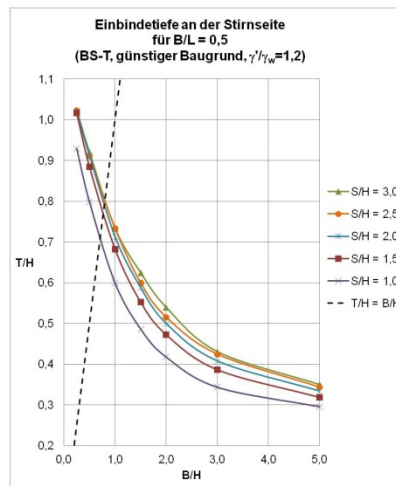
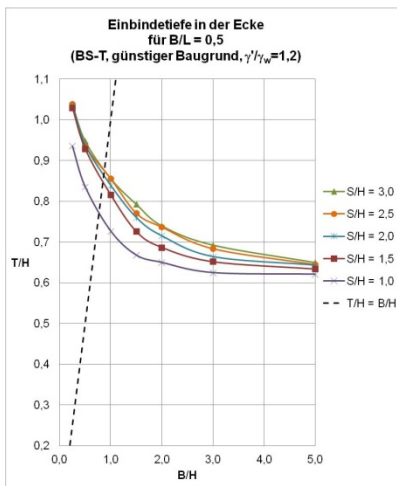
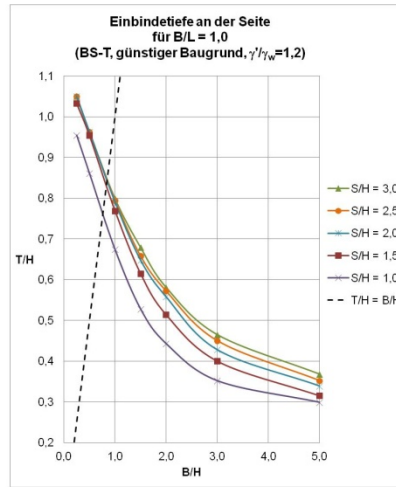
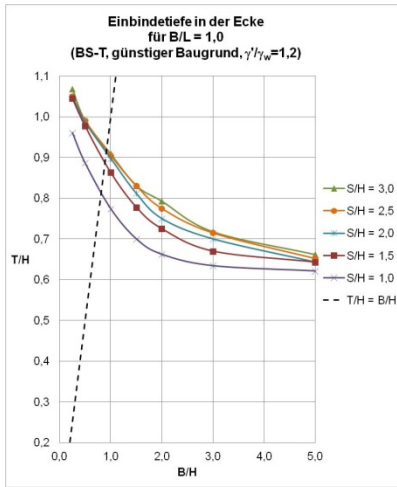
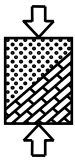
B/L	Ecke					Stirnseite					Längsseite							
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	0,25	0,980	1,146	1,152	1,169	1,169	0,25	0,976	1,146	1,152	1,152	1,152	0,25	0,976	1,146	1,152	1,152	1,152
	0,50	0,931	1,069	1,080	1,090	1,090	0,50	0,904	1,039	1,049	1,054	1,054	0,50	0,904	1,039	1,049	1,054	1,054
	1,00	0,837	0,953	0,992	0,993	0,999	1,00	0,726	0,850	0,875	0,894	0,909	1,00	0,726	0,850	0,875	0,894	0,909
	1,50	0,765	0,859	0,894	0,918	0,919	1,50	0,582	0,699	0,732	0,749	0,774	1,50	0,582	0,699	0,732	0,749	0,774
	2,00	0,727	0,802	0,831	0,864	0,864	2,00	0,485	0,583	0,635	0,648	0,662	2,00	0,492	0,583	0,635	0,648	0,662
	3,00	0,700	0,736	0,769	0,784	0,802	3,00	0,393	0,447	0,487	0,517	0,535	3,00	0,393	0,447	0,487	0,517	0,535
	5,00	0,684	0,702	0,712	0,729	0,736	5,00	0,333	0,364	0,384	0,398	0,419	5,00	0,333	0,364	0,384	0,398	0,419
0,5	0,25	0,967	1,125	1,130	1,132	1,132	0,25	0,958	1,110	1,126	1,132	1,132	0,25	0,953	1,110	1,110	1,110	1,110
	0,50	0,893	1,015	1,025	1,039	1,050	0,50	0,855	0,981	1,009	1,014	1,020	0,50	0,837	0,953	0,990	0,990	1,000
	1,00	0,786	0,885	0,928	0,946	0,951	1,00	0,659	0,774	0,816	0,816	0,820	1,00	0,596	0,713	0,759	0,775	0,784
	1,50	0,733	0,802	0,839	0,864	0,874	1,50	0,545	0,628	0,666	0,685	0,699	1,50	0,443	0,534	0,577	0,617	0,629
	2,00	0,710	0,764	0,782	0,810	0,824	2,00	0,470	0,534	0,566	0,594	0,617	2,00	0,380	0,444	0,485	0,515	0,530
	3,00	0,692	0,719	0,733	0,756	0,771	3,00	0,387	0,436	0,462	0,482	0,500	3,00	0,329	0,357	0,384	0,407	0,428
	5,00	0,684	0,700	0,706	0,712	0,717	5,00	0,329	0,357	0,374	0,389	0,405	5,00	0,317	0,318	0,324	0,338	0,347
0,3	0,25	0,962	1,117	1,117	1,122	1,133	0,25	0,949	1,090	1,117	1,122	1,125	0,25	0,931	1,072	1,090	1,100	1,100
	0,50	0,868	0,991	1,016	1,031	1,031	0,50	0,837	0,956	0,973	0,987	0,992	0,50	0,773	0,909	0,931	0,940	0,945
	1,00	0,773	0,855	0,890	0,920	0,928	1,00	0,640	0,731	0,774	0,793	0,793	1,00	0,509	0,623	0,664	0,692	0,692
	1,50	0,722	0,782	0,824	0,834	0,851	1,50	0,537	0,605	0,640	0,664	0,684	1,50	0,388	0,462	0,500	0,535	0,545
	2,00	0,709	0,744	0,778	0,789	0,802	2,00	0,463	0,529	0,561	0,577	0,588	2,00	0,343	0,384	0,424	0,442	0,465
	3,00	0,688	0,712	0,733	0,740	0,756	3,00	0,386	0,428	0,461	0,474	0,487	3,00	0,321	0,332	0,349	0,374	0,386
	5,00	0,687	0,700	0,706	0,706	0,714	5,00	0,331	0,360	0,374	0,387	0,396	5,00	0,314	0,314	0,321	0,321	0,330

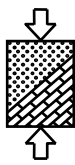




Anhang A4: Günstiger Baugrund, $\gamma' = 12 \text{ kN/m}^3$

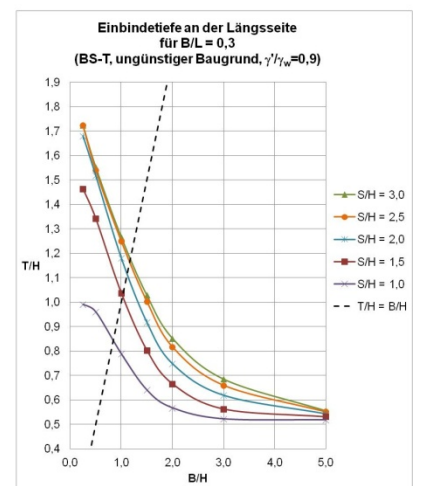
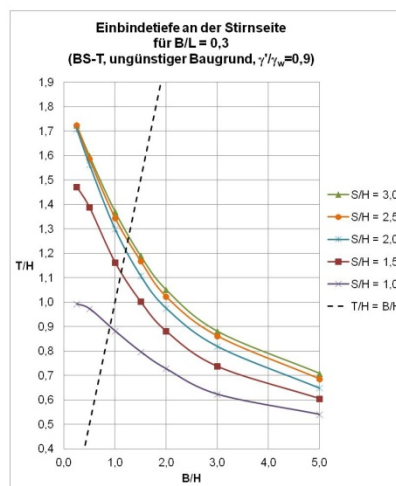
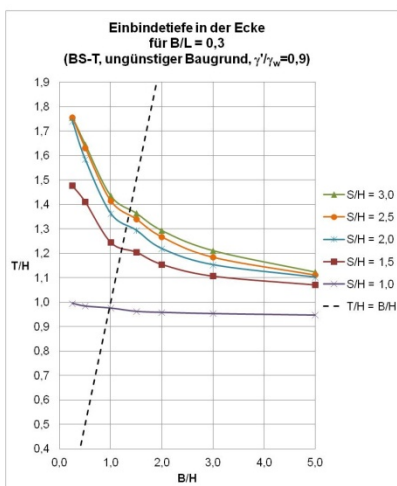
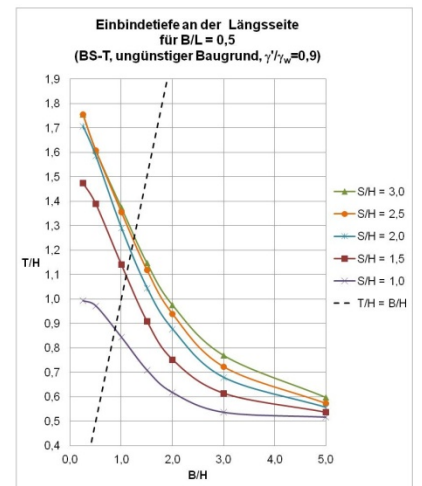
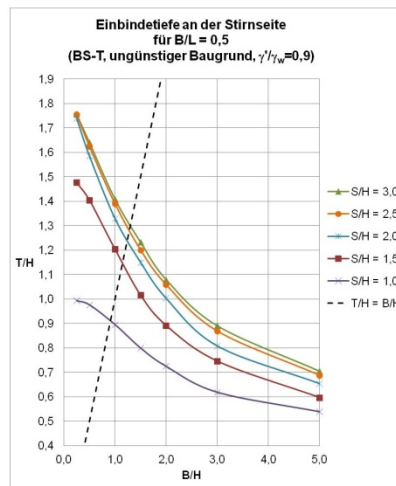
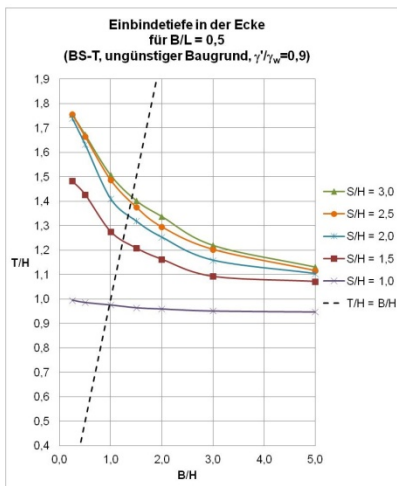
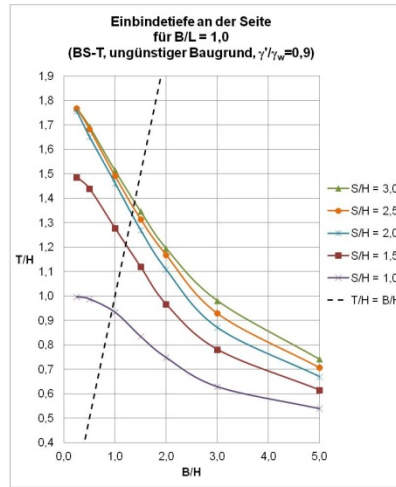
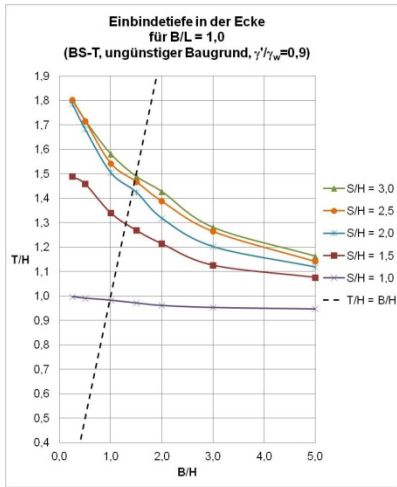
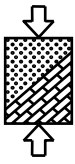
B/L	Ecke						Stirnseite						Längsseite					
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	0,25	0,961	1,045	1,050	1,050	1,068	0,25	0,955	1,033	1,050	1,050	1,050	0,25	0,955	1,033	1,050	1,050	1,050
	0,50	0,886	0,977	0,987	0,991	0,991	0,50	0,861	0,954	0,963	0,963	0,963	0,50	0,861	0,954	0,963	0,963	0,963
	1,00	0,774	0,863	0,898	0,905	0,909	1,00	0,674	0,769	0,791	0,795	0,799	1,00	0,674	0,769	0,791	0,795	0,799
	1,50	0,700	0,778	0,812	0,831	0,831	1,50	0,528	0,615	0,648	0,658	0,679	1,50	0,528	0,615	0,648	0,658	0,679
	2,00	0,662	0,725	0,750	0,775	0,793	2,00	0,443	0,514	0,558	0,572	0,581	2,00	0,443	0,514	0,558	0,572	0,581
	3,00	0,634	0,670	0,700	0,715	0,718	3,00	0,352	0,400	0,428	0,450	0,465	3,00	0,352	0,400	0,428	0,450	0,465
	5,00	0,621	0,643	0,643	0,652	0,662	5,00	0,299	0,315	0,339	0,352	0,368	5,00	0,299	0,320	0,339	0,352	0,368
0,5	0,25	0,936	1,030	1,036	1,039	1,039	0,25	0,930	1,017	1,020	1,024	1,024	0,25	0,917	1,005	1,009	1,010	1,010
	0,50	0,836	0,929	0,938	0,938	0,948	0,50	0,799	0,885	0,912	0,912	0,921	0,50	0,774	0,860	0,890	0,890	0,895
	1,00	0,727	0,816	0,839	0,856	0,856	1,00	0,6	0,683	0,713	0,734	0,734	1,00	0,528	0,618	0,667	0,667	0,686
	1,50	0,668	0,726	0,760	0,771	0,793	1,50	0,487	0,553	0,588	0,600	0,625	1,50	0,395	0,465	0,510	0,535	0,536
	2,00	0,650	0,687	0,715	0,737	0,740	2,00	0,418	0,473	0,500	0,516	0,540	2,00	0,336	0,386	0,428	0,440	0,463
	3,00	0,625	0,652	0,664	0,684	0,693	3,00	0,344	0,387	0,408	0,425	0,431	3,00	0,292	0,316	0,341	0,359	0,374
	5,00	0,621	0,634	0,643	0,645	0,650	5,00	0,296	0,319	0,334	0,344	0,350	5,00	0,279	0,285	0,294	0,302	0,303
0,3	0,25	0,924	1,015	1,025	1,030	1,030	0,25	0,917	1,001	1,001	1,010	1,010	0,25	0,886	0,972	0,986	0,991	0,991
	0,50	0,811	0,897	0,918	0,927	0,927	0,50	0,774	0,855	0,881	0,890	0,890	0,50	0,711	0,807	0,838	0,846	0,846
	1,00	0,718	0,778	0,816	0,824	0,824	1,00	0,582	0,650	0,695	0,699	0,699	1,00	0,452	0,541	0,582	0,600	0,600
	1,50	0,662	0,707	0,737	0,756	0,765	1,50	0,487	0,541	0,570	0,587	0,600	1,50	0,343	0,400	0,445	0,465	0,470
	2,00	0,645	0,675	0,700	0,715	0,718	2,00	0,412	0,462	0,500	0,510	0,525	2,00	0,302	0,343	0,372	0,390	0,406
	3,00	0,630	0,643	0,662	0,676	0,684	3,00	0,343	0,387	0,400	0,425	0,425	3,00	0,282	0,297	0,309	0,326	0,339
	5,00	0,625	0,634	0,643	0,645	0,650	5,00	0,300	0,318	0,337	0,342	0,350	5,00	0,275	0,279	0,284	0,287	0,294

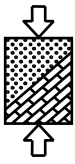




Anhang A5: Ungünstiger Baugrund, $\gamma' = 9 \text{ kN/m}^3$

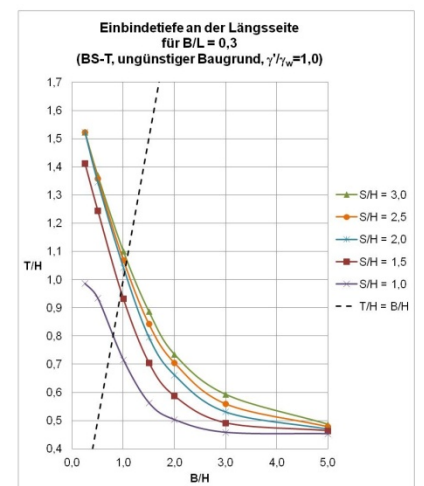
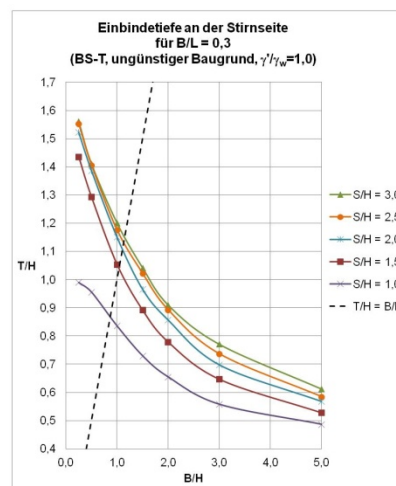
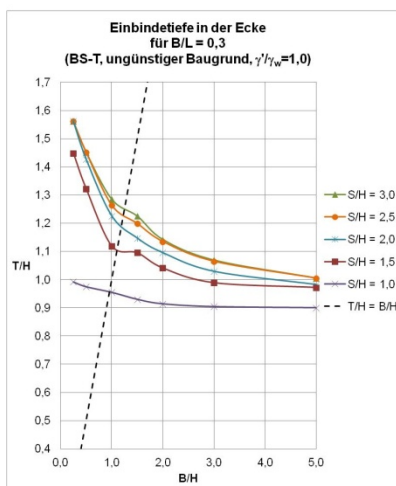
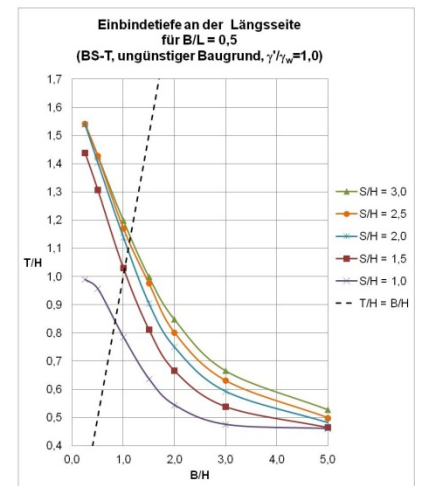
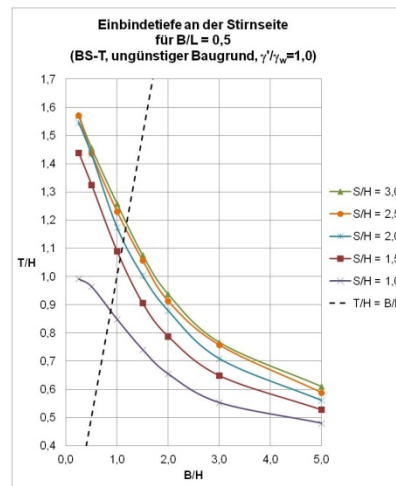
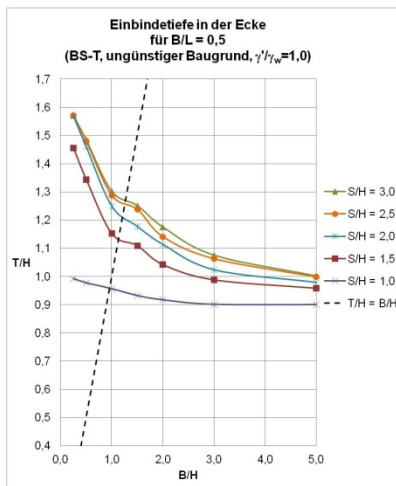
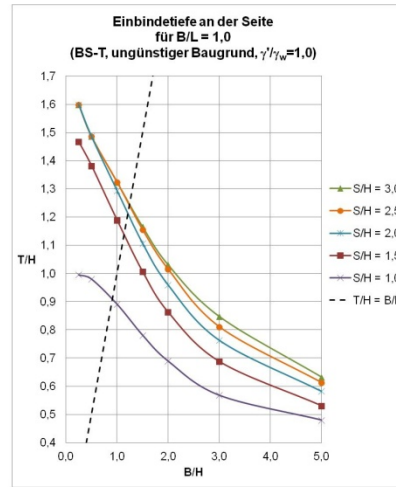
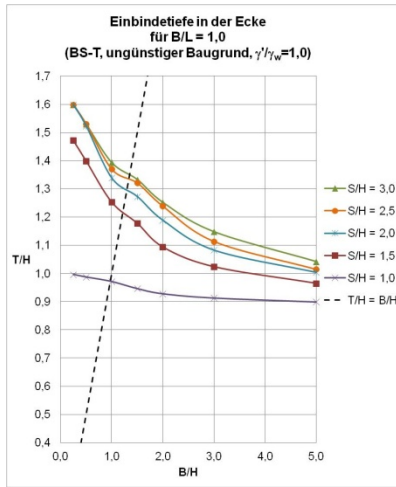
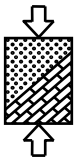
B/L	Ecke					Stirnseite					Längsseite							
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	0,25	0,997	1,489	1,786	1,803	1,803	0,25	0,996	1,486	1,757	1,769	1,769	0,25	0,996	1,486	1,757	1,769	1,769
	0,50	0,991	1,459	1,683	1,716	1,718	0,50	0,987	1,439	1,652	1,683	1,693	0,50	0,987	1,439	1,652	1,683	1,693
	1,00	0,983	1,340	1,505	1,543	1,581	1,00	0,933	1,277	1,462	1,491	1,513	1,00	0,933	1,277	1,462	1,491	1,513
	1,50	0,972	1,269	1,425	1,468	1,489	1,50	0,834	1,119	1,270	1,314	1,346	1,50	0,834	1,119	1,270	1,314	1,346
	2,00	0,962	1,214	1,318	1,388	1,427	2,00	0,748	0,966	1,108	1,168	1,195	2,00	0,748	0,966	1,108	1,168	1,195
	3,00	0,954	1,126	1,202	1,265	1,281	3,00	0,629	0,781	0,871	0,929	0,981	3,00	0,629	0,781	0,871	0,929	0,981
	5,00	0,948	1,076	1,118	1,142	1,163	5,00	0,539	0,615	0,670	0,707	0,741	5,00	0,550	0,615	0,670	0,707	0,741
0,5	0,25	0,995	1,483	1,740	1,756	1,756	0,25	0,994	1,477	1,740	1,756	1,756	0,25	0,994	1,475	1,708	1,756	1,756
	0,50	0,986	1,428	1,633	1,665	1,673	0,50	0,977	1,405	1,586	1,625	1,641	0,50	0,973	1,390	1,586	1,609	1,609
	1,00	0,976	1,276	1,41	1,487	1,507	1,00	0,896	1,204	1,33	1,39	1,409	1,00	0,845	1,142	1,292	1,357	1,375
	1,50	0,965	1,209	1,319	1,376	1,403	1,50	0,800	1,016	1,151	1,201	1,233	1,50	0,710	0,910	1,046	1,120	1,148
	2,00	0,960	1,163	1,253	1,295	1,338	2,00	0,725	0,892	1,004	1,059	1,080	2,00	0,618	0,753	0,877	0,940	0,976
	3,00	0,952	1,093	1,159	1,203	1,220	3,00	0,619	0,746	0,809	0,869	0,891	3,00	0,537	0,615	0,679	0,724	0,770
	5,00	0,948	1,072	1,104	1,116	1,131	5,00	0,539	0,597	0,655	0,688	0,705	5,00	0,517	0,537	0,556	0,574	0,598
0,3	0,25	0,995	1,477	1,741	1,757	1,757	0,25	0,993	1,472	1,708	1,724	1,724	0,25	0,991	1,464	1,680	1,724	1,724
	0,50	0,984	1,411	1,585	1,632	1,646	0,50	0,973	1,388	1,562	1,586	1,599	0,50	0,960	1,342	1,517	1,540	1,553
	1,00	0,976	1,245	1,363	1,415	1,435	1,00	0,882	1,163	1,299	1,345	1,371	1,00	0,788	1,037	1,180	1,249	1,266
	1,50	0,963	1,205	1,294	1,34	1,364	1,50	0,797	1,002	1,108	1,169	1,190	1,50	0,640	0,803	0,917	1,003	1,028
	2,00	0,959	1,155	1,219	1,267	1,293	2,00	0,727	0,881	0,975	1,023	1,051	2,00	0,567	0,666	0,748	0,817	0,852
	3,00	0,954	1,107	1,153	1,184	1,211	3,00	0,623	0,737	0,819	0,862	0,881	3,00	0,522	0,563	0,619	0,660	0,685
	5,00	0,948	1,071	1,102	1,111	1,123	5,00	0,540	0,605	0,648	0,686	0,708	5,00	0,518	0,531	0,543	0,551	0,555

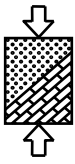




Anhang A6: Ungünstiger Baugrund, $\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$

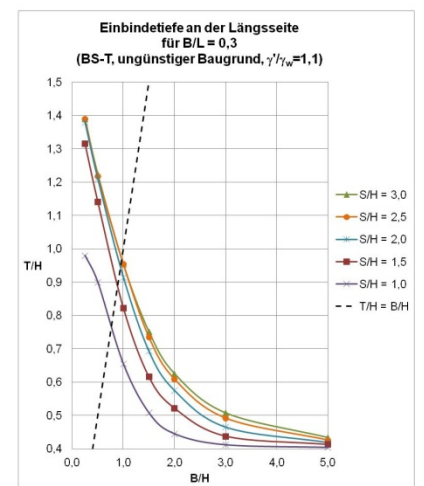
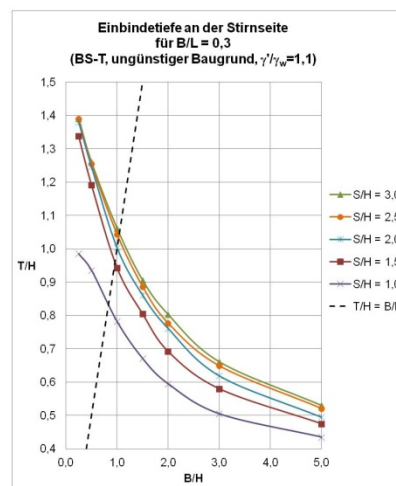
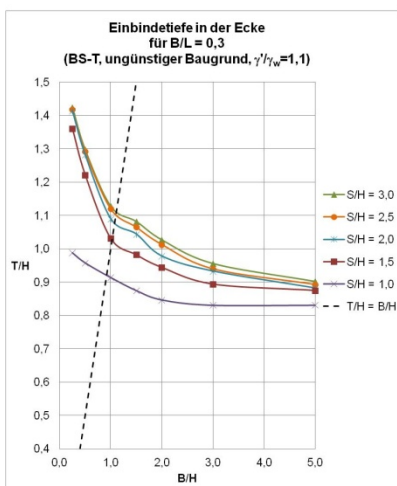
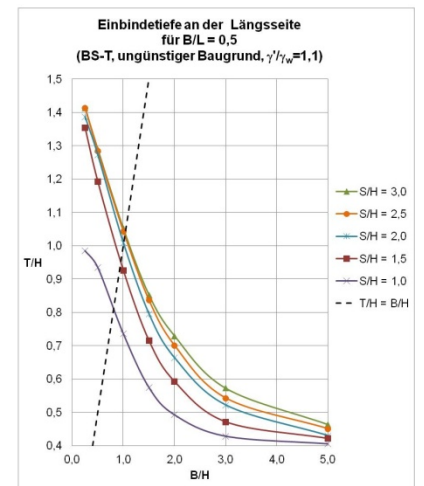
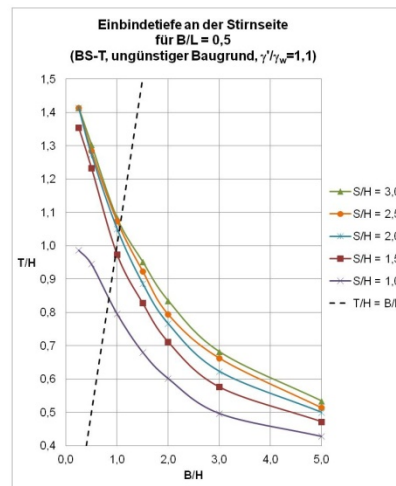
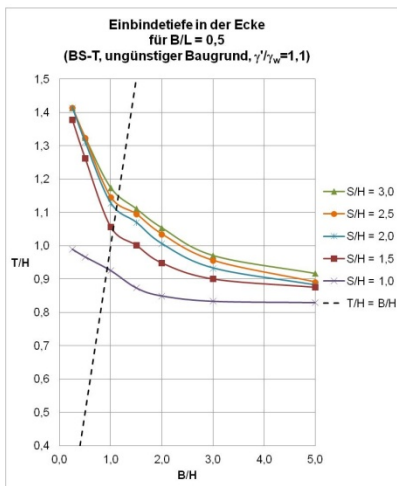
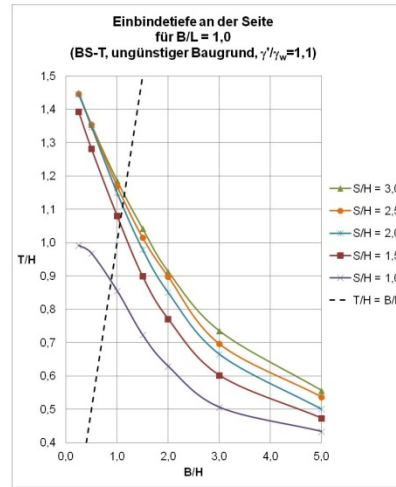
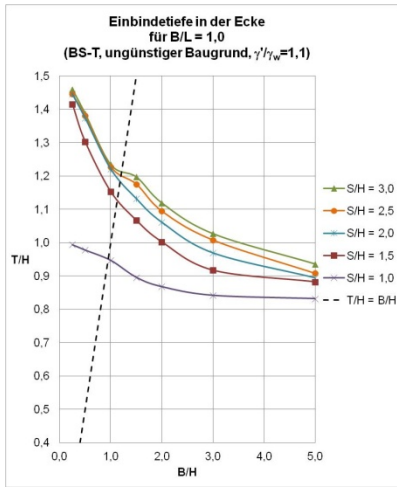
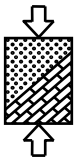
B/L	Ecke					Stirnseite					Längsseite							
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	0,25	0,996	1,472	1,599	1,599	1,599	0,25	0,995	1,467	1,599	1,599	1,599	0,25	0,995	1,467	1,599	1,599	1,599
	0,50	0,987	1,399	1,523	1,530	1,530	0,50	0,980	1,382	1,486	1,486	1,486	0,50	0,980	1,382	1,486	1,486	1,486
	1,00	0,971	1,253	1,339	1,370	1,393	1,00	0,891	1,189	1,294	1,324	1,324	1,00	0,891	1,189	1,294	1,324	1,324
	1,50	0,946	1,178	1,273	1,321	1,333	1,50	0,781	1,006	1,107	1,155	1,165	1,50	0,781	1,006	1,107	1,155	1,165
	2,00	0,928	1,094	1,189	1,239	1,252	2,00	0,689	0,862	0,959	1,015	1,030	2,00	0,689	0,862	0,959	1,015	1,030
	3,00	0,913	1,024	1,083	1,114	1,148	3,00	0,568	0,687	0,763	0,811	0,847	3,00	0,568	0,687	0,763	0,811	0,847
	5,00	0,899	0,965	1,004	1,015	1,042	5,00	0,480	0,530	0,582	0,613	0,632	5,00	0,489	0,540	0,582	0,613	0,632
0,5	0,25	0,993	1,457	1,570	1,572	1,572	0,25	0,992	1,439	1,546	1,572	1,572	0,25	0,990	1,439	1,540	1,542	1,542
	0,50	0,978	1,345	1,461	1,481	1,486	0,50	0,965	1,326	1,433	1,438	1,457	0,50	0,957	1,307	1,405	1,428	1,429
	1,00	0,957	1,153	1,25	1,289	1,303	1,00	0,849	1,09	1,174	1,231	1,259	1,00	0,786	1,03	1,14	1,171	1,199
	1,50	0,933	1,110	1,178	1,239	1,252	1,50	0,741	0,906	1,003	1,058	1,077	1,50	0,637	0,812	0,905	0,976	0,999
	2,00	0,918	1,043	1,114	1,142	1,176	2,00	0,655	0,788	0,879	0,913	0,938	2,00	0,544	0,666	0,750	0,801	0,848
	3,00	0,902	0,989	1,024	1,064	1,076	3,00	0,553	0,649	0,709	0,757	0,767	3,00	0,475	0,539	0,593	0,631	0,666
	5,00	0,901	0,959	0,979	0,999	1,002	5,00	0,480	0,528	0,561	0,588	0,610	5,00	0,460	0,465	0,482	0,499	0,528
0,3	0,25	0,992	1,448	1,561	1,561	1,561	0,25	0,990	1,436	1,523	1,553	1,561	0,25	0,987	1,412	1,523	1,523	1,523
	0,50	0,975	1,322	1,427	1,452	1,452	0,50	0,956	1,293	1,387	1,406	1,411	0,50	0,935	1,245	1,347	1,359	1,370
	1,00	0,955	1,119	1,226	1,264	1,285	1,00	0,836	1,054	1,151	1,176	1,201	1,00	0,716	0,932	1,044	1,070	1,101
	1,50	0,93	1,095	1,147	1,199	1,225	1,50	0,730	0,892	0,966	1,022	1,042	1,50	0,563	0,705	0,796	0,843	0,887
	2,00	0,914	1,041	1,095	1,135	1,142	2,00	0,655	0,779	0,857	0,893	0,910	2,00	0,503	0,587	0,662	0,705	0,735
	3,00	0,904	0,989	1,029	1,065	1,069	3,00	0,558	0,647	0,698	0,737	0,771	3,00	0,458	0,492	0,531	0,560	0,593
	5,00	0,900	0,972	0,982	1,005	1,005	5,00	0,487	0,528	0,568	0,585	0,612	5,00	0,453	0,464	0,470	0,479	0,487

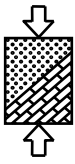




Anhang A7: Ungünstiger Baugrund, $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$

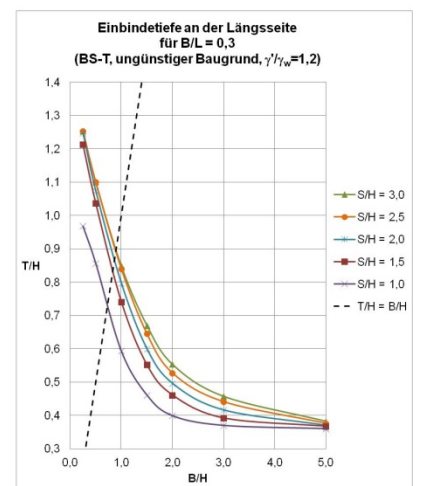
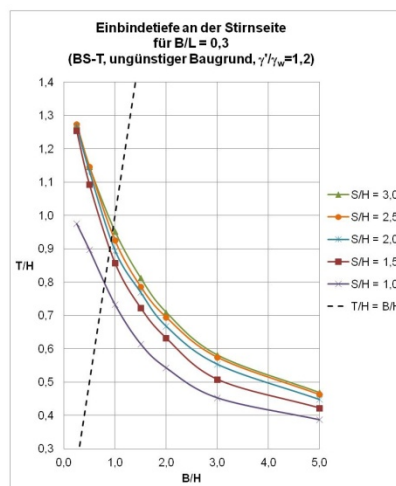
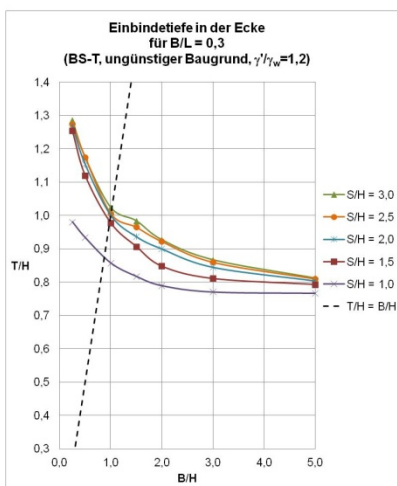
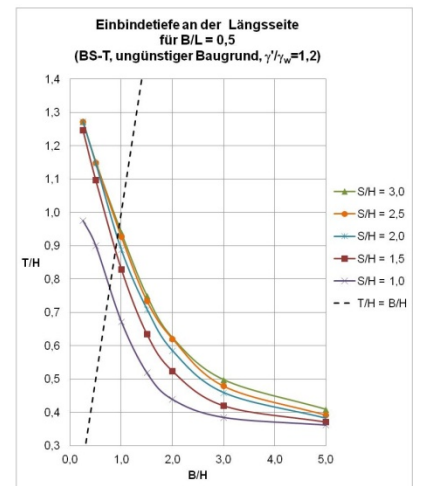
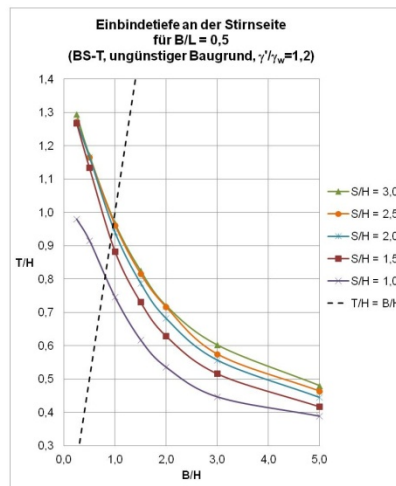
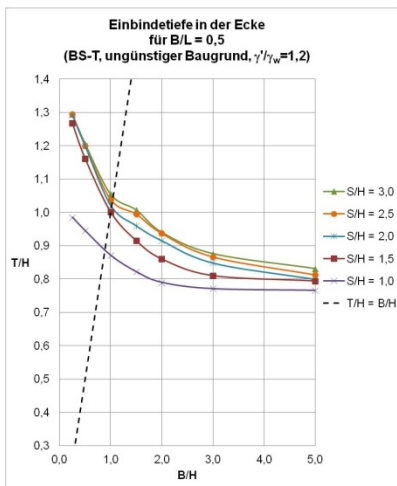
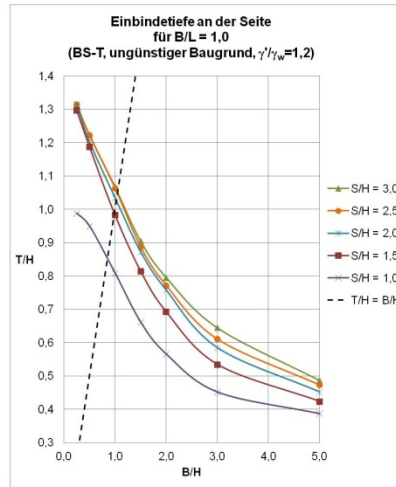
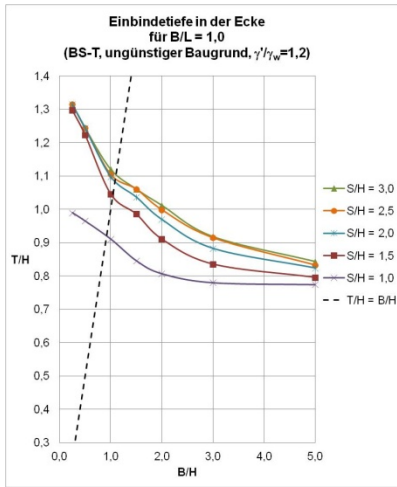
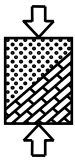
B/L	Ecke						Stirnseite						Längsseite					
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	0,25	0,994	1,416	1,446	1,446	1,460	0,25	0,992	1,393	1,446	1,446	1,450	0,25	0,992	1,393	1,446	1,446	1,450
	0,50	0,978	1,303	1,374	1,381	1,387	0,50	0,968	1,282	1,348	1,354	1,354	0,50	0,968	1,282	1,348	1,354	1,354
	1,00	0,947	1,153	1,221	1,228	1,234	1,00	0,856	1,081	1,150	1,170	1,186	1,00	0,856	1,081	1,150	1,170	1,186
	1,50	0,896	1,067	1,132	1,176	1,197	1,50	0,723	0,899	0,980	1,015	1,042	1,50	0,723	0,899	0,980	1,015	1,042
	2,00	0,868	1,002	1,061	1,095	1,119	2,00	0,629	0,771	0,851	0,898	0,913	2,00	0,629	0,771	0,851	0,898	0,913
	3,00	0,842	0,917	0,969	1,008	1,027	3,00	0,506	0,602	0,666	0,696	0,735	3,00	0,506	0,602	0,666	0,696	0,735
	5,00	0,832	0,882	0,894	0,908	0,936	5,00	0,433	0,473	0,501	0,537	0,556	5,00	0,433	0,473	0,501	0,537	0,556
0,5	0,25	0,990	1,378	1,414	1,414	1,414	0,25	0,987	1,355	1,414	1,414	1,414	0,25	0,985	1,355	1,388	1,414	1,414
	0,50	0,967	1,263	1,311	1,323	1,325	0,50	0,945	1,233	1,273	1,285	1,303	0,50	0,935	1,193	1,273	1,285	1,290
	1,00	0,926	1,057	1,128	1,146	1,174	1,00	0,796	0,974	1,051	1,074	1,083	1,00	0,736	0,926	1,009	1,043	1,052
	1,50	0,874	1,002	1,070	1,095	1,111	1,50	0,681	0,828	0,887	0,924	0,952	1,50	0,575	0,716	0,796	0,837	0,853
	2,00	0,850	0,949	1,006	1,035	1,054	2,00	0,602	0,711	0,766	0,794	0,835	2,00	0,493	0,593	0,664	0,701	0,730
	3,00	0,834	0,901	0,933	0,956	0,971	3,00	0,497	0,576	0,623	0,663	0,682	3,00	0,429	0,472	0,522	0,543	0,573
	5,00	0,830	0,876	0,882	0,891	0,917	5,00	0,428	0,472	0,500	0,514	0,534	5,00	0,406	0,422	0,430	0,451	0,464
0,3	0,25	0,988	1,361	1,414	1,418	1,425	0,25	0,985	1,338	1,380	1,391	1,391	0,25	0,980	1,316	1,380	1,391	1,391
	0,50	0,958	1,222	1,282	1,292	1,298	0,50	0,936	1,192	1,246	1,255	1,261	0,50	0,900	1,142	1,210	1,219	1,225
	1,00	0,914	1,031	1,090	1,120	1,128	1,00	0,782	0,943	1,003	1,044	1,062	1,00	0,655	0,823	0,915	0,954	0,954
	1,50	0,875	0,982	1,044	1,065	1,082	1,50	0,671	0,805	0,861	0,887	0,906	1,50	0,508	0,616	0,693	0,735	0,752
	2,00	0,847	0,944	0,978	1,013	1,027	2,00	0,595	0,692	0,761	0,777	0,803	2,00	0,445	0,522	0,575	0,609	0,626
	3,00	0,831	0,894	0,933	0,940	0,956	3,00	0,505	0,580	0,619	0,649	0,661	3,00	0,412	0,438	0,465	0,492	0,508
	5,00	0,831	0,875	0,882	0,893	0,902	5,00	0,435	0,475	0,495	0,521	0,530	5,00	0,404	0,413	0,419	0,426	0,434

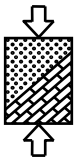




Anhang A8: Ungünstiger Baugrund, $\gamma' = 12 \text{ kN/m}^3$

B/L	Ecke					Stirnseite					Längsseite							
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	0,25	0,990	1,297	1,315	1,315	1,315	0,25	0,988	1,297	1,315	1,315	1,315	0,25	0,988	1,297	1,315	1,315	1,315
	0,50	0,965	1,223	1,244	1,244	1,244	0,50	0,950	1,188	1,203	1,223	1,223	0,50	0,950	1,188	1,203	1,223	1,223
	1,00	0,911	1,046	1,098	1,105	1,120	1,00	0,809	0,983	1,035	1,064	1,068	1,00	0,809	0,983	1,035	1,064	1,068
	1,50	0,846	0,986	1,037	1,061	1,061	1,50	0,662	0,815	0,873	0,888	0,905	1,50	0,662	0,815	0,873	0,888	0,905
	2,00	0,807	0,911	0,970	0,999	1,012	2,00	0,566	0,693	0,758	0,772	0,796	2,00	0,566	0,693	0,758	0,772	0,796
	3,00	0,780	0,836	0,883	0,915	0,918	3,00	0,452	0,535	0,585	0,611	0,645	3,00	0,452	0,535	0,585	0,611	0,645
	5,00	0,774	0,796	0,824	0,833	0,843	5,00	0,387	0,424	0,452	0,473	0,487	5,00	0,393	0,424	0,452	0,473	0,487
0,5	0,25	0,985	1,268	1,293	1,294	1,294	0,25	0,980	1,268	1,272	1,273	1,294	0,25	0,976	1,247	1,272	1,273	1,273
	0,50	0,945	1,162	1,2	1,2	1,206	0,50	0,916	1,134	1,166	1,166	1,171	0,50	0,901	1,097	1,147	1,150	1,152
	1,00	0,871	1,001	1,021	1,039	1,054	1,00	0,746	0,883	0,94	0,962	0,967	1,00	0,673	0,83	0,888	0,927	0,939
	1,50	0,822	0,915	0,960	0,995	1,007	1,50	0,618	0,731	0,788	0,816	0,825	1,50	0,519	0,635	0,710	0,735	0,750
	2,00	0,790	0,860	0,915	0,937	0,940	2,00	0,536	0,629	0,682	0,716	0,720	2,00	0,439	0,524	0,585	0,621	0,624
	3,00	0,771	0,81	0,848	0,867	0,876	3,00	0,447	0,516	0,557	0,575	0,602	3,00	0,385	0,42	0,459	0,479	0,498
	5,00	0,766	0,794	0,799	0,813	0,831	5,00	0,389	0,417	0,445	0,464	0,480	5,00	0,362	0,371	0,382	0,392	0,409
0,3	0,25	0,981	1,254	1,269	1,274	1,286	0,25	0,976	1,254	1,269	1,274	1,274	0,25	0,968	1,213	1,248	1,253	1,253
	0,50	0,934	1,120	1,154	1,174	1,174	0,50	0,897	1,093	1,132	1,146	1,146	0,50	0,856	1,037	1,074	1,100	1,100
	1,00	0,858	0,978	1,001	1,006	1,024	1,00	0,733	0,857	0,895	0,925	0,952	1,00	0,593	0,741	0,797	0,840	0,848
	1,50	0,818	0,907	0,937	0,965	0,984	1,50	0,615	0,723	0,770	0,787	0,813	1,50	0,461	0,552	0,600	0,645	0,670
	2,00	0,790	0,848	0,900	0,922	0,927	2,00	0,543	0,632	0,668	0,695	0,710	2,00	0,399	0,461	0,496	0,527	0,553
	3,00	0,771	0,811	0,845	0,860	0,867	3,00	0,453	0,508	0,554	0,575	0,582	3,00	0,370	0,392	0,416	0,441	0,457
	5,00	0,767	0,793	0,804	0,810	0,812	5,00	0,387	0,422	0,448	0,463	0,469	5,00	0,360	0,367	0,370	0,376	0,382



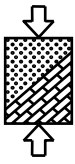


Anhang B

Ausnutzungsgrade aufgrund der Kontrollrechnungen mit GGU
für homogenen, isotropen Baugrund

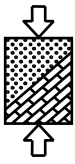
Anhang B1: Günstiger Baugrund, $\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$

B/L	Ecke					Stirnseite					Längsseite							
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	0,25					1,008	0,25					0,998	0,25					0,999
	0,50						0,50						0,50					
	1,00	1,026			1,008		1,00	1,016			1,001		1,00	1,016			1,000	
	1,50			1,005			1,50			1,015			1,50			1,014		
	2,00		1,000				2,00		1,016				2,00		1,015			
	3,00						3,00						3,00					
	5,00	0,958				0,973	5,00	0,960				0,967	5,00	0,953				0,961
	Ecke					Stirnseite					Längsseite							
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
0,5	0,25					1,002	0,25					1,003	0,25					1,013
	0,50						0,50						0,50					
	1,00	0,999			1,008		1,00	1,009			1,013		1,00	1,005			1,006	
	1,50			1,000			1,50			1,017			1,50			1,005		
	2,00		1,002				2,00		1,005				2,00		1,017			
	3,00						3,00						3,00					
	5,00	0,954				0,972	5,00	0,954				0,964	5,00	0,959				0,951
	Ecke					Stirnseite					Längsseite							
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
0,3	0,25					1,007	0,25					0,993	0,25					1,006
	0,50						0,50						0,50					
	1,00	1,004			0,987		1,00	1,003			1,017		1,00	1,018			1,007	
	1,50			1,020			1,50			1,010			1,50			0,993		
	2,00		0,995				2,00		1,018				2,00		1,012			
	3,00						3,00						3,00					
	5,00	0,967				0,977	5,00	0,952				0,976	5,00	0,947				0,959



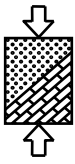
Anhang B2: Günstiger Baugrund, $\gamma' = 12 \text{ kN/m}^3$

B/L	Ecke					Stirnseite					Längsseite							
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	0,25					0,997	0,25					1,002	0,25					1,002
	0,50						0,50						0,50					
	1,00	1,013				1,004	1,00	1,002				1,011	1,00	1,002				1,011
	1,50				1,014		1,50				1,014		1,50				1,014	
	2,00			0,899			2,00				1,018		2,00				1,018	
	3,00						3,00						3,00					
	5,00			0,960			0,972	5,00				0,942						0,955
0,5	0,25					1,007	0,25					1,007	0,25					1,013
	0,50						0,50						0,50					
	1,00	1,040				1,001	1,00	1,021				1,014	1,00	1,023				1,024
	1,50				1,004		1,50				1,015		1,50				1,010	
	2,00			1,008			2,00				1,024		2,00				1,008	
	3,00						3,00						3,00					
	5,00			0,961			0,965	5,00				1,013						0,936
0,3	0,25					1,001	0,25					1,003	0,25					1,008
	0,50						0,50						0,50					
	1,00	1,004				1,010	1,00	1,024				1,016	1,00	1,015				1,006
	1,50				1,010		1,50				1,012		1,50				1,002	
	2,00						2,00				1,028		2,00				0,997	
	3,00						3,00						3,00					
	5,00			0,972			0,934	5,00				0,938						0,922



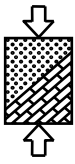
Anhang B3: Ungünstiger Baugrund, $\gamma' = 9 \text{ kN/m}^3$

B/L	Ecke					Stirnseite					Längsseite							
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	0,25					0,996	0,25					1,007	0,25					1,007
	0,50						0,50						0,50					
	1,00	0,996				1,016	1,00	1,013				1,012	1,00	1,012				1,011
	1,50				0,999		1,50				1,000		1,50			0,999		
	2,00			0,999			2,00			1,020			2,00		1,019			
	3,00						3,00						3,00					
	5,00	0,900					0,989	5,00	0,972				0,981	5,00	0,951			
0,5	0,25					1,008	0,25					1,000	0,25					0,996
	0,50						0,50						0,50					
	1,00	1,004				0,994	1,00	1,021			1,004	1,00	1,023				1,003	
	1,50				1,012		1,50				1,003	1,50			1,014			
	2,00			1,000			2,00			1,016			2,00		1,021			
	3,00						3,00						3,00					
	5,00	0,896					0,977	5,00	0,968				0,981	5,00	0,955			
0,3	0,25					0,997	0,25					1,006	0,25					0,999
	0,50						0,50						0,50					
	1,00	0,996				1,010	1,00	1,019			1,000	1,00	1,019				1,007	
	1,50				1,008		1,50				1,009	1,50			1,016			
	2,00			0,998			2,00			1,016			2,00		1,022			
	3,00						3,00						3,00					
	5,00	0,918					0,990	5,00	0,965				0,970	5,00	0,949			



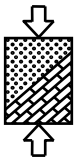
Anhang B4: Ungünstiger Baugrund, $\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$

B/L	Ecke					Stirnseite					Längsseite							
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	0,25					1,005	0,25					0,997	0,25					0,997
	0,50						0,50						0,50					
	1,00	1,005				1,012	1,00	1,022				1,003	1,00	1,021				1,002
	1,50				1,004		1,50				1,007		1,50				1,006	
	2,00			1,005			2,00				1,012		2,00				1,011	
	3,00						3,00						3,00					
	5,00						0,933						0,983	5,00				
0,5	0,25					1,006	0,25					0,997	0,25					1,011
	0,50						0,50						0,50					
	1,00	1,000				1,009	1,00	1,013				0,998	1,00	1,018				1,013
	1,50				1,008		1,50				1,007		1,50				1,013	
	2,00			1,004			2,00				1,015		2,00				1,007	
	3,00						3,00						3,00					
	5,00						0,922						0,980	5,00				
0,3	0,25					1,002	0,25					0,991	0,25					1,006
	0,50						0,50						0,50					
	1,00	0,997				0,998	1,00	1,014				1,005	1,00	1,019				1,015
	1,50				1,005		1,50				1,012		1,50				1,004	
	2,00			0,997			2,00				1,018		2,00				1,004	
	3,00						3,00						3,00					
	5,00						0,925						0,985	5,00				



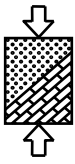
Anhang B5: Ungünstiger Baugrund, $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$

B/L	Ecke					Stirnseite					Längsseite							
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	0,25					0,996	0,25					1,005	0,25					1,005
	0,50						0,50						0,50					
	1,00	1,006			1,011		1,00	1,004			1,008		1,00	1,003			1,007	
	1,50			1,012			1,50			1,008			1,50			1,006		
	2,00		0,993				2,00		1,006				2,00		1,004			
	3,00						3,00						3,00					
	5,00	0,952				0,970	5,00	0,956				0,978	5,00	0,950				0,972
0,5	0,25					1,011	0,25					1,000	0,25					0,996
	0,50						0,50						0,50					
	1,00	0,997			1,013		1,00	1,009			1,009		1,00	1,005			1,004	
	1,50			1,008			1,50			1,008			1,50			1,008		
	2,00		1,004				2,00		1,003				2,00		1,008			
	3,00						3,00						3,00					
	5,00	0,950				0,962	5,00	0,959				0,971	5,00	0,963				0,969
0,3	0,25					0,994	0,25					1,005	0,25					0,996
	0,50						0,50						0,50					
	1,00	1,001			0,932		1,00	1,009			1,006		1,00	1,008			1,001	
	1,50			1,001			1,50			1,006			1,50			1,005		
	2,00		0,999				2,00		1,013				2,00		0,999			
	3,00						3,00						3,00					
	5,00	0,961				0,987	5,00	0,956				0,983	5,00	0,962				0,958



Anhang B6: Ungünstiger Baugrund, $\gamma' = 12 \text{ kN/m}^3$

B/L	Ecke					Stirnseite					Längsseite							
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	0,25					1,010	0,25					1,019	0,25					1,019
	0,50						0,50						0,50					
	1,00	1,010				1,017	1,00	1,006				0,997	1,00	1,006				0,997
	1,50			1,008			1,50			1,009			1,50			1,009		
	2,00		1,004				2,00		1,006				2,00		1,006			
	3,00						3,00						3,00					
	5,00	0,952					0,970	5,00	0,964				0,972	5,00	0,951			
0,5	0,25					1,009	0,25					0,998	0,25					1,009
	0,50						0,50						0,50					
	1,00	1,019				1,008	1,00	1,016			1,013	1,00	1,015				1,003	
	1,50			1,017			1,50			1,012			1,50			1,056		
	2,00		1,009				2,00		1,019				2,00		1,012			
	3,00						3,00						3,00					
	5,00	0,960					0,964	5,00	0,946				0,946	5,00	0,944			
0,3	0,25					1,001	0,25					0,998	0,25					1,011
	0,50						0,50						0,50					
	1,00	1,012				1,033	1,00	1,012			1,014	1,00	1,017				1,001	
	1,50			1,019			1,50			1,005			1,50			1,015		
	2,00		1,012				2,00		1,004				2,00		1,009			
	3,00						3,00						3,00					
	5,00	0,971					0,991	5,00	0,961				0,969	5,00	0,942			

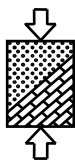


Anhang C

Differenz zwischen mit FEFLOW® berechneter und mittels Faktor erhaltener Einbindetiefe für homogenen, isotropen Baugrund

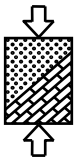
Anhang C1: Günstiger Baugrund, $\gamma' = 9 \text{ kN/m}^3$

B/L	Ecke					Stirnseite					Längsseite							
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	0,25	0,31	0,13	0,10	0,12	0,12	0,25	0,30	0,13	0,10	0,10	0,10	0,25	0,30	0,13	0,10	0,10	0,10
	0,50	0,26	0,11	0,08	0,09	0,08	0,50	0,23	0,11	0,06	0,07	0,05	0,50	0,23	0,11	0,06	0,07	0,05
	1,00	0,17	0,14	0,11	0,10	0,10	1,00	0,11	0,06	0,02	0,02	0,04	1,00	0,11	0,06	0,02	0,02	0,04
	1,50	0,12	0,08	0,05	0,06	0,05	1,50	0,06	0,03	-0,01	-0,02	0,01	1,50	0,06	0,03	-0,01	-0,02	0,01
	2,00	0,10	0,08	0,05	0,06	0,05	2,00	0,02	0,01	0,00	-0,01	-0,01	2,00	0,03	0,01	-0,01	-0,01	-0,01
	3,00	0,09	0,06	0,06	0,04	0,05	3,00	0,02	0,01	-0,02	-0,01	0,00	3,00	0,02	0,01	-0,02	-0,01	0,00
	5,00	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05	5,00	0,01	0,02	0,01	-0,01	0,01	5,00	0,01	0,02	0,01	-0,01	0,01
	Ecke					Stirnseite					Längsseite							
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
0,5	0,25	0,29	0,12	0,10	0,10	0,09	0,25	0,29	0,12	0,10	0,10	0,09	0,25	0,28	0,12	0,10	0,10	0,10
	0,50	0,22	0,10	0,06	0,05	0,06	0,50	0,19	0,09	0,08	0,06	0,05	0,50	0,18	0,08	0,05	0,05	0,06
	1,00	0,13	0,13	0,10	0,12	0,11	1,00	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	1,00	0,07	0,03	0,02	0,00	0,01
	1,50	0,10	0,07	0,06	0,06	0,05	1,50	0,05	0,03	0,00	-0,02	0,00	1,50	0,02	0,00	-0,02	-0,01	-0,01
	2,00	0,09	0,07	0,05	0,05	0,06	2,00	0,03	0,01	-0,01	-0,01	0,01	2,00	0,02	0,01	-0,02	0,00	-0,01
	3,00	0,09	0,07	0,04	0,06	0,06	3,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	3,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01
	5,00	0,08	0,06	0,06	0,06	0,06	5,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	5,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01
	Ecke					Stirnseite					Längsseite							
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
0,3	0,25	0,29	0,13	0,09	0,10	0,11	0,25	0,28	0,12	0,10	0,10	0,10	0,25	0,26	0,11	0,08	0,09	0,09
	0,50	0,19	0,09	0,08	0,09	0,08	0,50	0,18	0,08	0,05	0,07	0,06	0,50	0,13	0,08	0,05	0,04	0,04
	1,00	0,12	0,11	0,10	0,11	0,11	1,00	0,08	0,03	0,02	0,02	0,01	1,00	0,03	0,00	-0,01	-0,02	-0,03
	1,50	0,10	0,06	0,07	0,04	0,05	1,50	0,05	0,00	0,01	0,00	0,02	1,50	0,01	0,01	-0,01	-0,02	-0,03
	2,00	0,09	0,06	0,05	0,04	0,04	2,00	0,02	0,01	0,01	-0,01	-0,02	2,00	0,02	-0,01	-0,01	-0,02	-0,01
	3,00	0,08	0,05	0,06	0,04	0,06	3,00	0,02	0,00	0,00	-0,01	-0,01	3,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00
	5,00	0,09	0,06	0,06	0,05	0,05	5,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	5,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01



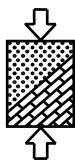
Anhang C2: Günstiger Baugrund, $\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$

B/L	Ecke					Stirnseite					Längsseite							
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	0,25	0,13	0,03	0,04	0,06	0,06	0,25	0,13	0,05	0,04	0,04	0,04	0,25	0,13	0,05	0,04	0,04	0,04
	0,50	0,11	0,04	0,02	0,04	0,04	0,50	0,09	0,02	0,02	0,03	0,03	0,50	0,09	0,02	0,02	0,03	0,03
	1,00	0,06	0,06	0,07	0,06	0,05	1,00	0,04	0,02	0,00	0,00	0,01	1,00	0,04	0,02	0,00	0,00	0,01
	1,50	0,05	0,03	0,01	0,02	0,01	1,50	0,01	0,02	0,00	-0,02	0,00	1,50	0,01	0,02	0,00	-0,02	0,00
	2,00	0,04	0,03	0,02	0,03	0,00	2,00	0,01	0,01	-0,01	-0,01	0,00	2,00	0,02	0,01	-0,01	-0,01	-0,01
	3,00	0,04	0,02	0,02	0,02	0,03	3,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	-0,01	3,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	-0,01
	5,00	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	5,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	5,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
0,5	0,25	0,12	0,05	0,04	0,03	0,03	0,25	0,12	0,05	0,05	0,05	0,05	0,25	0,12	0,05	0,05	0,04	0,04
	0,50	0,09	0,04	0,01	0,02	0,02	0,50	0,07	0,03	0,02	0,02	0,02	0,50	0,07	0,02	0,03	0,03	0,02
	1,00	0,04	0,02	0,06	0,08	0,06	1,00	0,03	0,02	0,02	0,00	0,00	1,00	0,02	0,02	0,01	0,00	0,01
	1,50	0,04	0,03	0,02	0,03	0,01	1,50	0,01	0,01	0,01	-0,01	-0,01	1,50	0,01	0,00	-0,02	-0,01	-0,01
	2,00	0,04	0,03	0,01	0,02	0,02	2,00	0,01	-0,01	-0,02	-0,01	0,00	2,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01
	3,00	0,04	0,03	0,01	0,03	0,04	3,00	0,00	0,01	0,00	-0,01	0,01	3,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
	5,00	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	5,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	5,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
0,3	0,25	0,12	0,05	0,03	0,04	0,05	0,25	0,11	0,04	0,03	0,04	0,04	0,25	0,10	0,05	0,04	0,05	0,05
	0,50	0,07	0,04	0,04	0,05	0,03	0,50	0,07	0,03	0,02	0,03	0,03	0,50	0,05	0,03	0,01	0,02	0,01
	1,00	0,04	0,02	0,02	0,05	0,06	1,00	0,02	0,01	0,01	0,02	0,00	1,00	0,01	0,00	-0,02	-0,01	-0,01
	1,50	0,03	0,02	0,03	0,01	0,03	1,50	0,01	0,00	-0,01	0,00	0,01	1,50	0,00	0,01	-0,01	-0,01	-0,01
	2,00	0,03	0,01	0,02	0,02	0,01	2,00	0,00	0,01	0,00	-0,01	-0,01	2,00	0,01	0,00	0,00	-0,01	0,00
	3,00	0,03	0,03	0,01	0,02	0,03	3,00	0,01	0,00	0,00	0,00	-0,01	3,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
	5,00	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	5,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	5,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00



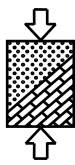
Anhang C3: Günstiger Baugrund, $\gamma' = 12 \text{ kN/m}^3$

B/L	Ecke					Stirnseite					Längsseite							
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	0,25	-0,09	-0,03	-0,03	-0,02	-0,03	0,25	-0,09	-0,02	-0,03	-0,03	-0,03	0,25	-0,09	-0,02	-0,03	-0,03	-0,03
	0,50	-0,06	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	0,50	-0,06	-0,04	-0,04	-0,03	-0,03	0,50	-0,06	-0,04	-0,04	-0,03	-0,03
	1,00	-0,03	-0,02	-0,02	-0,03	-0,03	1,00	-0,03	-0,02	-0,02	0,00	0,00	1,00	-0,03	-0,02	-0,02	0,00	0,00
	1,50	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	1,50	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	1,50	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
	2,00	-0,02	-0,02	-0,02	-0,01	-0,03	2,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
	3,00	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,01	3,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	3,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
	5,00	-0,02	-0,02	-0,01	-0,01	-0,01	5,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,5	0,25	-0,08	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	0,25	-0,08	-0,04	-0,02	-0,02	-0,02	0,25	-0,07	-0,02	-0,03	-0,03	-0,03
	0,50	-0,05	-0,03	-0,03	-0,02	-0,02	0,50	-0,04	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	0,50	-0,03	-0,02	-0,01	-0,01	-0,01
	1,00	-0,03	-0,03	-0,02	-0,02	-0,02	1,00	-0,02	0,00	0,01	-0,01	-0,01	1,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01
	1,50	-0,02	-0,02	-0,02	-0,01	-0,02	1,50	-0,01	0,00	0,00	0,01	-0,01	1,50	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02
	2,00	-0,02	-0,01	-0,02	-0,02	-0,01	2,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	2,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01
	3,00	-0,01	-0,02	-0,02	-0,02	-0,01	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	5,00	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	5,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	5,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00
0,3	0,25	-0,07	-0,03	-0,04	-0,04	-0,03	0,25	-0,08	-0,04	-0,01	-0,02	-0,02	0,25	-0,06	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02
	0,50	-0,04	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	0,50	-0,03	-0,01	-0,02	-0,02	-0,01	0,50	-0,03	0,00	-0,01	-0,01	-0,01
	1,00	-0,03	-0,02	-0,03	-0,01	0,00	1,00	-0,02	0,00	-0,01	0,00	0,00	1,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
	1,50	-0,02	-0,02	-0,01	-0,02	-0,01	1,50	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01
	2,00	-0,02	-0,02	-0,01	-0,02	-0,01	2,00	0,00	0,01	0,00	0,00	-0,01	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
	3,00	-0,02	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02	3,00	0,00	-0,01	0,01	-0,01	0,01	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	5,00	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	5,00	-0,01	0,00	-0,01	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



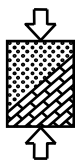
Anhang C4: Ungünstiger Baugrund, $\gamma' = 9 \text{ kN/m}^3$

B/L	Ecke					Stirnseite					Längsseite							
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	0,25	0,32	0,39	0,13	0,12	0,14	0,25	0,32	0,36	0,16	0,15	0,16	0,25	0,32	0,36	0,16	0,15	0,16
	0,50	0,31	0,27	0,14	0,12	0,12	0,50	0,30	0,26	0,14	0,12	0,11	0,50	0,30	0,26	0,14	0,12	0,11
	1,00	0,27	0,19	0,12	0,09	0,06	1,00	0,20	0,16	0,07	0,06	0,06	1,00	0,20	0,16	0,07	0,06	0,06
	1,50	0,22	0,15	0,08	0,09	0,10	1,50	0,13	0,08	0,03	0,03	0,04	1,50	0,13	0,08	0,03	0,03	0,04
	2,00	0,19	0,12	0,09	0,07	0,06	2,00	0,09	0,06	0,02	0,02	0,02	2,00	0,09	0,06	0,02	0,02	0,02
	3,00	0,16	0,09	0,08	0,07	0,08	3,00	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	3,00	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00
	5,00	0,16	0,10	0,07	0,06	0,08	5,00	0,04	0,01	0,00	0,01	0,00	5,00	0,03	0,01	0,00	0,01	0,00
0,5	0,25	0,32	0,35	0,14	0,12	0,12	0,25	0,32	0,32	0,14	0,12	0,12	0,25	0,31	0,32	0,14	0,12	0,12
	0,50	0,30	0,25	0,11	0,09	0,09	0,50	0,28	0,23	0,10	0,08	0,09	0,50	0,27	0,19	0,10	0,10	0,10
	1,00	0,25	0,13	0,09	0,04	0,05	1,00	0,16	0,09	0,07	0,04	0,03	1,00	0,13	0,09	0,05	0,03	0,02
	1,50	0,20	0,12	0,10	0,08	0,07	1,50	0,10	0,08	0,03	0,03	0,03	1,50	0,05	0,04	0,01	-0,01	-0,02
	2,00	0,17	0,10	0,08	0,08	0,06	2,00	0,07	0,05	0,01	0,00	0,03	2,00	0,04	0,03	0,00	-0,01	-0,01
	3,00	0,16	0,10	0,08	0,07	0,07	3,00	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	3,00	0,03	0,01	0,01	0,00	-0,01
	5,00	0,15	0,09	0,07	0,07	0,09	5,00	0,03	0,03	0,01	-0,01	0,00	5,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
0,3	0,25	0,32	0,33	0,14	0,13	0,14	0,25	0,32	0,31	0,12	0,12	0,12	0,25	0,31	0,28	0,15	0,12	0,12
	0,50	0,29	0,21	0,12	0,08	0,08	0,50	0,27	0,20	0,09	0,08	0,08	0,50	0,24	0,17	0,09	0,08	0,07
	1,00	0,24	0,12	0,08	0,07	0,06	1,00	0,16	0,09	0,03	0,04	0,04	1,00	0,08	0,06	0,04	0,02	0,00
	1,50	0,20	0,10	0,09	0,07	0,07	1,50	0,09	0,07	0,04	0,01	0,01	1,50	0,03	0,02	0,00	-0,03	-0,03
	2,00	0,17	0,10	0,08	0,08	0,07	2,00	0,06	0,04	0,04	0,01	0,02	2,00	0,02	0,03	0,02	-0,01	-0,02
	3,00	0,15	0,08	0,09	0,06	0,06	3,00	0,05	0,03	0,00	0,00	0,00	3,00	0,03	0,02	0,00	-0,01	-0,01
	5,00	0,16	0,09	0,07	0,08	0,07	5,00	0,04	0,03	0,01	0,01	0,00	5,00	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02



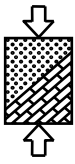
Anhang C5: Ungünstiger Baugrund, $\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$

B/L	Ecke					Stirnseite					Längsseite							
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	0,25	0,14	0,15	0,06	0,06	0,07	0,25	0,14	0,13	0,06	0,06	0,06	0,25	0,14	0,13	0,06	0,06	0,06
	0,50	0,13	0,09	0,05	0,05	0,06	0,50	0,13	0,08	0,06	0,06	0,06	0,50	0,13	0,08	0,06	0,06	0,06
	1,00	0,11	0,07	0,06	0,04	0,02	1,00	0,09	0,05	0,02	0,01	0,03	1,00	0,09	0,05	0,02	0,01	0,03
	1,50	0,08	0,04	0,02	0,02	0,04	1,50	0,05	0,02	0,01	0,01	0,03	1,50	0,05	0,02	0,01	0,01	0,03
	2,00	0,07	0,05	0,03	0,01	0,03	2,00	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	2,00	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01
	3,00	0,05	0,03	0,03	0,04	0,03	3,00	0,01	0,00	0,00	-0,01	-0,01	3,00	0,01	0,00	0,00	-0,01	-0,01
	5,00	0,05	0,04	0,02	0,02	0,03	5,00	0,02	0,01	-0,01	0,00	0,00	5,00	0,01	0,00	-0,01	0,00	0,00
0,5	0,25	0,14	0,12	0,05	0,05	0,05	0,25	0,14	0,11	0,07	0,05	0,05	0,25	0,14	0,11	0,05	0,08	0,08
	0,50	0,13	0,10	0,04	0,03	0,03	0,50	0,12	0,08	0,02	0,03	0,03	0,50	0,11	0,06	0,05	0,04	0,05
	1,00	0,10	0,06	0,04	0,02	0,04	1,00	0,06	0,02	0,03	0,00	-0,02	1,00	0,06	0,03	0,01	0,02	0,00
	1,50	0,07	0,04	0,05	0,01	0,02	1,50	0,04	0,04	0,01	0,00	0,01	1,50	0,02	0,01	0,01	-0,02	-0,02
	2,00	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	2,00	0,03	0,03	0,00	0,00	0,02	2,00	0,02	0,01	0,01	0,00	-0,01
	3,00	0,05	0,04	0,04	0,03	0,04	3,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	3,00	0,02	0,00	0,00	-0,01	-0,01
	5,00	0,05	0,04	0,03	0,02	0,05	5,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	5,00	0,00	0,02	0,01	0,02	0,00
0,3	0,25	0,14	0,11	0,06	0,06	0,07	0,25	0,14	0,10	0,06	0,04	0,03	0,25	0,13	0,09	0,06	0,07	0,07
	0,50	0,12	0,08	0,04	0,03	0,03	0,50	0,12	0,07	0,04	0,03	0,03	0,50	0,09	0,06	0,04	0,04	0,03
	1,00	0,09	0,06	0,02	0,02	0,01	1,00	0,06	0,03	0,00	0,02	0,01	1,00	0,03	0,01	0,00	0,02	-0,01
	1,50	0,07	0,03	0,05	0,02	0,01	1,50	0,04	0,03	0,02	-0,01	-0,01	1,50	0,02	0,00	0,00	0,00	-0,03
	2,00	0,06	0,04	0,02	0,02	0,03	2,00	0,03	0,01	0,01	0,00	0,01	2,00	0,01	0,01	0,00	-0,01	-0,02
	3,00	0,05	0,03	0,04	0,01	0,02	3,00	0,02	0,02	0,01	0,01	-0,01	3,00	0,01	0,01	0,00	0,00	-0,01
	5,00	0,05	0,03	0,03	0,02	0,03	5,00	0,01	0,02	0,00	0,01	-0,01	5,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01



Anhang C6: Ungünstiger Baugrund, $\gamma' = 12 \text{ kN/m}^3$

B/L	Ecke						Stirnseite						Längsseite					
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	0,25	-0,11	-0,04	-0,04	-0,04	-0,02	0,25	-0,11	-0,07	-0,04	-0,04	-0,03	0,25	-0,11	-0,07	-0,04	-0,04	-0,03
	0,50	-0,10	-0,07	-0,03	-0,02	-0,02	0,50	-0,09	-0,05	-0,01	-0,03	-0,03	0,50	-0,09	-0,05	-0,01	-0,03	-0,03
	1,00	-0,07	-0,03	-0,02	-0,02	-0,03	1,00	-0,05	-0,03	-0,02	-0,03	-0,02	1,00	-0,05	-0,03	-0,02	-0,03	-0,02
	1,50	-0,05	-0,04	-0,04	-0,02	0,00	1,50	-0,02	-0,02	-0,01	0,01	0,02	1,50	-0,02	-0,02	-0,01	0,01	0,02
	2,00	-0,04	-0,03	-0,03	-0,03	-0,02	2,00	-0,01	-0,01	-0,01	0,02	0,01	2,00	-0,01	-0,01	-0,01	0,02	0,01
	3,00	-0,04	-0,03	-0,03	-0,02	-0,01	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	5,00	-0,04	-0,02	-0,03	-0,03	-0,02	5,00	0,00	-0,01	-0,01	0,00	0,00	5,00	-0,01	-0,01	-0,01	0,00	0,00
0,5	0,25	-0,11	-0,05	-0,04	-0,04	-0,04	0,25	-0,11	-0,07	-0,02	-0,02	-0,04	0,25	-0,11	-0,05	-0,04	-0,02	-0,02
	0,50	-0,09	-0,05	-0,04	-0,03	-0,03	0,50	-0,08	-0,04	-0,04	-0,03	-0,02	0,50	-0,07	-0,04	-0,02	-0,01	-0,01
	1,00	-0,05	-0,07	-0,02	-0,03	-0,02	1,00	-0,04	-0,02	-0,01	-0,01	-0,01	1,00	-0,02	-0,01	0,00	0,00	-0,01
	1,50	-0,05	-0,03	-0,01	-0,03	-0,02	1,50	-0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	1,50	-0,01	0,00	-0,01	0,01	0,00
	2,00	-0,04	-0,02	-0,03	-0,02	-0,01	2,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,02	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	3,00	-0,03	-0,01	-0,02	-0,02	-0,02	3,00	-0,01	-0,01	-0,01	0,01	0,00	3,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
	5,00	-0,03	-0,02	-0,02	-0,03	-0,02	5,00	-0,01	0,00	0,00	-0,01	-0,01	5,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
0,3	0,25	-0,11	-0,05	-0,02	-0,02	-0,03	0,25	-0,11	-0,07	-0,05	-0,04	-0,04	0,25	-0,10	-0,05	-0,03	-0,02	-0,02
	0,50	-0,09	-0,04	-0,02	-0,03	-0,03	0,50	-0,07	-0,04	-0,03	-0,04	-0,03	0,50	-0,06	-0,03	0,00	-0,02	-0,02
	1,00	-0,05	-0,07	-0,04	-0,02	-0,03	1,00	-0,04	-0,02	-0,01	0,00	-0,01	1,00	-0,01	-0,01	0,01	0,00	0,00
	1,50	-0,04	-0,04	-0,01	-0,02	-0,03	1,50	-0,02	-0,01	-0,01	0,00	-0,01	1,50	-0,01	-0,01	0,01	0,00	-0,01
	2,00	-0,04	-0,01	-0,04	-0,03	-0,02	2,00	-0,02	-0,02	0,00	-0,01	0,00	2,00	-0,01	0,00	0,01	0,01	0,00
	3,00	-0,04	-0,02	-0,02	-0,03	-0,02	3,00	-0,01	0,00	-0,01	0,00	0,00	3,00	-0,01	0,00	0,00	-0,01	-0,01
	5,00	-0,03	-0,02	-0,02	-0,02	-0,01	5,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

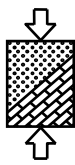


Anhang D

Einbindetiefen T/H für homogenen, anisotropen Baugrund

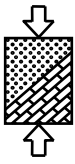
Anhang D1: Günstiger Baugrund, $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$, $k_v/k_h = 1/2$

B/L	Ecke					Stirnseite					Längsseite							
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	0,25	0,992	1,173	1,190	1,190	1,190	0,25	0,989	1,173	1,173	1,173	1,173	0,25	0,989	1,173	1,173	1,173	1,173
	0,50	0,968	1,117	1,139	1,139	1,144	0,50	0,956	1,117	1,117	1,117	1,117	0,50	0,956	1,117	1,117	1,117	1,117
	1,00	0,914	1,007	1,037	1,041	1,046	1,00	0,836	0,969	0,992	0,999	0,999	1,00	0,836	0,969	0,992	0,999	0,999
	1,50	0,850	0,950	0,987	1,001	1,001	1,50	0,726	0,848	0,884	0,900	0,900	1,50	0,726	0,848	0,884	0,900	0,900
	2,00	0,800	0,900	0,925	0,950	0,950	2,00	0,637	0,741	0,791	0,803	0,807	2,00	0,637	0,741	0,791	0,803	0,807
	3,00	0,750	0,812	0,850	0,875	0,875	3,00	0,504	0,588	0,635	0,657	0,678	3,00	0,504	0,588	0,635	0,657	0,678
	5,00	0,721	0,750	0,768	0,784	0,793	5,00	0,400	0,444	0,479	0,492	0,516	5,00	0,400	0,444	0,479	0,492	0,516
0,5	0,25	0,986	1,156	1,170	1,184	1,184	0,25	0,983	1,156	1,156	1,156	1,156	0,25	0,980	1,156	1,156	1,156	1,156
	0,50	0,942	1,077	1,09	1,097	1,097	0,50	0,928	1,064	1,070	1,079	1,079	0,50	0,914	1,051	1,056	1,061	1,061
	1,00	0,864	0,975	0,999	1,001	1,001	1,00	0,779	0,893	0,917	0,933	0,935	1,00	0,738	0,857	0,884	0,9	0,907
	1,50	0,800	0,900	0,927	0,950	0,950	1,50	0,671	0,768	0,800	0,828	0,828	1,50	0,590	0,703	0,744	0,771	0,771
	2,00	0,775	0,837	0,875	0,900	0,900	2,00	0,591	0,668	0,712	0,728	0,744	2,00	0,494	0,593	0,625	0,657	0,665
	3,00	0,734	0,775	0,8	0,825	0,825	3,00	0,489	0,554	0,588	0,608	0,617	3,00	0,392	0,447	0,492	0,521	0,540
	5,00	0,718	0,736	0,750	0,755	0,762	5,00	0,394	0,430	0,462	0,473	0,486	5,00	0,352	0,367	0,382	0,403	0,412
0,3	0,25	0,983	1,144	1,156	1,156	1,156	0,25	0,977	1,144	1,156	1,156	1,156	0,25	0,968	1,128	1,128	1,128	1,128
	0,50	0,935	1,066	1,087	1,087	1,087	0,50	0,914	1,041	1,056	1,056	1,056	0,50	0,878	0,999	1,026	1,026	1,026
	1,00	0,850	0,950	0,990	0,990	0,990	1,00	0,763	0,865	0,893	0,912	0,912	1,00	0,665	0,780	0,813	0,835	0,848
	1,50	0,79	0,862	0,9	0,912	0,931	1,50	0,650	0,750	0,775	0,800	0,800	1,50	0,514	0,613	0,669	0,685	0,685
	2,00	0,762	0,825	0,850	0,860	0,875	2,00	0,587	0,650	0,687	0,700	0,712	2,00	0,433	0,502	0,552	0,572	0,593
	3,00	0,731	0,772	0,800	0,800	0,818	3,00	0,485	0,550	0,570	0,585	0,600	3,00	0,369	0,405	0,439	0,463	0,468
	5,00	0,718	0,724	0,736	0,737	0,750	5,00	0,390	0,437	0,450	0,462	0,475	5,00	0,339	0,349	0,359	0,367	0,378



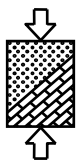
Anhang D2: Günstiger Baugrund, $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$, $k_v/k_h = 1/5$

B/L	Ecke					Stirnseite					Längsseite							
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	0,25	0,997	1,197	1,220	1,220	1,220	0,25	0,997	1,197	1,197	1,197	1,197	0,25	0,997	1,197	1,197	1,197	1,197
	0,50	0,991	1,163	1,180	1,180	1,180	0,50	0,986	1,163	1,163	1,163	1,163	0,50	0,986	1,163	1,163	1,163	1,163
	1,00	0,970	1,090	1,111	1,117	1,117	1,00	0,933	1,072	1,090	1,090	1,090	1,00	0,933	1,072	1,090	1,090	1,090
	1,50	0,928	1,049	1,070	1,083	1,083	1,50	0,867	0,998	1,002	1,004	1,004	1,50	0,867	0,998	1,002	1,004	1,004
	2,00	0,897	1,007	1,037	1,045	1,045	2,00	0,790	0,915	0,934	0,941	0,941	2,00	0,790	0,915	0,934	0,941	0,941
	3,00	0,831	0,918	0,953	0,965	0,981	3,00	0,679	0,778	0,816	0,836	0,840	3,00	0,679	0,778	0,816	0,836	0,840
	5,00	0,775	0,831	0,850	0,871	0,875	5,00	0,522	0,593	0,644	0,651	0,663	5,00	0,522	0,593	0,644	0,651	0,663
0,5	0,25	0,996	1,189	1,189	1,189	1,189	0,25	0,995	1,189	1,189	1,189	1,189	0,25	0,994	1,189	1,189	1,189	1,189
	0,50	0,982	1,143	1,165	1,165	1,165	0,50	0,975	1,126	1,137	1,137	1,137	0,50	0,970	1,126	1,137	1,137	1,137
	1,00	0,942	1,04	1,059	1,059	1,065	1,00	0,896	1,02	1,034	1,039	1,040	1,00	0,877	1	1,009	1,019	1,029
	1,50	0,890	1,007	1,026	1,035	1,035	1,50	0,810	0,926	0,941	0,961	0,961	1,50	0,770	0,881	0,914	0,922	0,938
	2,00	0,850	0,943	0,975	0,986	0,991	2,00	0,740	0,841	0,865	0,881	0,881	2,00	0,680	0,779	0,816	0,838	0,838
	3,00	0,812	0,871	0,909	0,918	0,918	3,00	0,637	0,717	0,749	0,770	0,774	3,00	0,546	0,631	0,686	0,693	0,699
	5,00	0,756	0,793	0,793	0,818	0,818	5,00	0,502	0,555	0,586	0,600	0,600	5,00	0,415	0,458	0,490	0,508	0,514
0,3	0,25	0,995	1,189	1,189	1,189	1,189	0,25	0,994	1,189	1,189	1,189	1,189	0,25	0,991	1,169	1,169	1,169	1,169
	0,50	0,975	1,130	1,132	1,143	1,143	0,50	0,970	1,116	1,120	1,126	1,126	0,50	0,956	1,100	1,110	1,110	1,110
	1,00	0,927	1,022	1,031	1,040	1,040	1,00	0,873	0,987	1,006	1,009	1,014	1,00	0,824	0,945	0,966	0,974	0,974
	1,50	0,881	0,976	0,996	1,001	1,001	1,50	0,795	0,887	0,923	0,927	0,927	1,50	0,709	0,822	0,846	0,867	0,867
	2,00	0,838	0,918	0,942	0,952	0,952	2,00	0,731	0,799	0,834	0,840	0,844	2,00	0,601	0,695	0,735	0,738	0,754
	3,00	0,793	0,850	0,875	0,888	0,894	3,00	0,625	0,700	0,721	0,736	0,749	3,00	0,470	0,540	0,583	0,605	0,623
	5,00	0,762	0,775	0,775	0,775	0,775	5,00	0,500	0,537	0,550	0,562	0,562	5,00	0,384	0,406	0,424	0,436	0,446



Anhang D3: Günstiger Baugrund, $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$, $k_v/k_h = 1/10$

B/L	Ecke						Stirnseite						Längsseite					
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	0,25	0,999	1,209	1,209	1,209	1,209	0,25	0,999	1,209	1,209	1,209	1,209	0,25	0,999	1,209	1,209	1,209	1,209
	0,50	0,996	1,189	1,189	1,189	1,189	0,50	0,995	1,189	1,189	1,189	1,189	0,50	0,995	1,189	1,189	1,189	1,189
	1,00	0,986	1,149	1,154	1,154	1,154	1,00	0,970	1,121	1,132	1,132	1,132	1,00	0,970	1,121	1,132	1,132	1,132
	1,50	0,966	1,114	1,124	1,127	1,127	1,50	0,935	1,056	1,066	1,069	1,069	1,50	0,935	1,056	1,066	1,069	1,069
	2,00	0,943	1,070	1,076	1,095	1,095	2,00	0,882	1,007	1,010	1,014	1,014	2,00	0,882	1,007	1,010	1,014	1,014
	3,00	0,902	1,002	1,026	1,035	1,045	3,00	0,790	0,906	0,932	0,936	0,941	3,00	0,790	0,906	0,932	0,936	0,941
	5,00	0,831	0,894	0,918	0,918	0,936	5,00	0,637	0,721	0,756	0,770	0,774	5,00	0,637	0,721	0,749	0,770	0,774
0,5	0,25	0,998	1,220	1,220	1,220	1,220	0,25	0,998	1,197	1,197	1,197	1,197	0,25	0,998	1,197	1,197	1,197	1,197
	0,50	0,993	1,18	1,18	1,18	1,180	0,50	0,991	1,163	1,163	1,163	1,163	0,50	0,989	1,163	1,163	1,163	1,163
	1,00	0,975	1,1	1,117	1,117	1,117	1,00	0,951	1,072	1,09	1,09	1,090	1,00	0,942	1,072	1,09	1,09	1,090
	1,50	0,950	1,066	1,084	1,084	1,084	1,50	0,890	1,010	1,023	1,030	1,030	1,50	0,870	0,986	0,994	1,001	1,001
	2,00	0,920	1,009	1,029	1,035	1,035	2,00	0,840	0,941	0,959	0,961	0,966	2,00	0,790	0,905	0,927	0,938	0,938
	3,00	0,867	0,945	0,958	0,979	0,982	3,00	0,747	0,83	0,85	0,860	0,863	3,00	0,672	0,769	0,799	0,819	0,824
	5,00	0,787	0,831	0,840	0,850	0,850	5,00	0,600	0,650	0,675	0,681	0,684	5,00	0,492	0,558	0,588	0,600	0,600
0,3	0,25	0,998	1,209	1,209	1,209	1,209	0,25	0,998	1,209	1,209	1,209	1,209	0,25	0,997	1,189	1,209	1,209	1,209
	0,50	0,991	1,174	1,174	1,174	1,174	0,50	0,987	1,146	1,146	1,146	1,146	0,50	0,984	1,146	1,146	1,146	1,146
	1,00	0,970	1,079	1,090	1,090	1,090	1,00	0,933	1,049	1,069	1,069	1,069	1,00	0,914	1,029	1,039	1,039	1,039
	1,50	0,935	1,033	1,043	1,053	1,053	1,50	0,881	0,970	0,996	0,999	0,999	1,50	0,817	0,922	0,947	0,954	0,954
	2,00	0,903	0,980	0,987	1,001	1,001	2,00	0,817	0,887	0,906	0,927	0,927	2,00	0,731	0,822	0,839	0,853	0,867
	3,00	0,850	0,918	0,918	0,936	0,940	3,00	0,722	0,789	0,821	0,821	0,825	3,00	0,591	0,672	0,705	0,725	0,728
	5,00	0,770	0,775	0,775	0,776	0,776	5,00	0,575	0,612	0,615	0,616	0,616	5,00	0,429	0,465	0,485	0,500	0,500

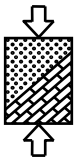


Anhang E

Prozentuale Abweichung zwischen mit FEFLOW® berechneter und mittels Erhöhung bzw. Formel erhaltener Einbindetiefe für homogenen, anisotropen Baugrund

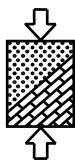
Anhang E1: Günstiger Baugrund, $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$, $k_v/k_h = 1/2$

B/L	Ecke					Stirnseite					Längsseite							
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	0,25	8,67	7,47	6,49	8,06	8,06	0,25	8,55	7,47	8,03	8,03	8,03	0,25	8,55	7,47	8,03	8,03	8,03
	0,50	5,80	5,27	4,30	5,27	4,81	0,50	4,02	2,32	3,30	3,80	3,80	0,50	4,02	2,32	3,30	3,80	3,80
	1,00	0,73	4,10	5,23	4,93	5,06	1,00	8,55	9,65	10,26	11,86	13,74	1,00	8,55	9,65	10,26	11,86	13,74
	1,50	-1,00	-0,54	-0,36	0,88	0,99	1,50	0,21	3,04	3,51	4,03	7,50	1,50	0,21	3,04	3,51	4,03	7,50
	2,00	-0,04	-1,98	-1,18	0,04	0,04	2,00	-4,83	-1,65	0,35	0,87	2,54	2,00	-3,45	-1,65	0,35	0,87	2,54
	3,00	2,67	-0,30	-0,48	-1,44	0,82	3,00	-2,53	-4,97	-4,13	-1,64	-1,36	3,00	-2,53	-4,97	-4,13	-1,64	-1,36
	5,00	4,36	2,96	1,98	2,28	2,09	5,00	4,06	2,48	0,21	1,12	1,50	5,00	4,06	2,48	0,21	1,12	1,50
	Ecke					Stirnseite					Längsseite							
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
0,5	0,25	7,88	7,05	6,24	5,17	5,17	0,25	7,20	5,62	7,15	7,72	7,72	0,25	6,97	5,62	5,62	5,62	5,62
	0,50	4,28	3,67	3,44	4,18	5,29	0,50	1,35	1,42	3,73	3,37	3,99	0,50	0,73	-0,26	3,12	2,64	3,68
	1,00	0,07	-0,15	2,18	3,96	4,51	1,00	5,74	8,34	11,23	9,32	9,63	1,00	0,95	4,00	7,32	7,64	8,05
	1,50	0,79	-1,98	-0,44	0,04	1,20	1,50	1,53	2,21	4,06	3,41	5,53	1,50	-6,14	-5,05	-3,06	0,03	1,98
	2,00	0,77	0,41	-1,69	-1,00	0,71	2,00	-0,59	-0,07	-0,63	1,99	3,66	2,00	-3,85	-6,41	-3,00	-2,02	-0,38
	3,00	3,71	2,05	0,79	0,80	2,80	3,00	-1,07	-1,62	-1,79	-0,90	1,30	3,00	4,91	-0,17	-2,44	-2,35	-0,93
	5,00	4,79	4,62	3,55	3,74	3,50	5,00	4,38	3,78	1,19	2,80	4,17	5,00	12,57	8,31	6,02	4,84	5,28
	Ecke					Stirnseite					Längsseite							
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
0,3	0,25	7,65	7,40	6,29	6,76	7,81	0,25	6,85	4,81	6,29	6,76	7,05	0,25	5,80	4,54	6,29	7,27	7,27
	0,50	2,12	2,26	2,82	4,33	4,33	0,50	0,73	1,02	1,35	2,81	3,33	0,50	-3,15	0,09	-0,19	0,78	1,32
	1,00	0,04	-1,00	-1,11	2,22	3,11	1,00	4,85	5,64	8,34	8,69	8,69	1,00	-4,32	-0,16	2,09	3,59	2,00
	1,50	0,53	-0,21	0,71	0,59	0,55	1,50	3,27	0,83	3,23	3,75	6,88	1,50	-5,64	-5,79	-6,58	-2,37	-0,55
	2,00	2,35	-0,80	0,68	0,92	0,82	2,00	-1,41	1,73	2,07	3,04	3,23	2,00	-0,98	-4,38	-3,99	-3,41	-1,98
	3,00	3,53	1,45	0,79	1,75	1,66	3,00	-0,52	-2,73	1,10	1,28	1,46	3,00	8,74	2,47	-0,63	0,97	3,10
	5,00	5,25	6,35	5,52	5,37	4,72	5,00	6,09	2,97	3,89	4,71	4,21	5,00	15,78	12,46	11,77	9,33	9,13



Anhang E2: Günstiger Baugrund, $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$, $k_v/k_h = 1/10$

B/L	Ecke					Stirnseite					Längsseite							
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	0,25	22,12	0,91	0,91	0,91	0,91	0,25	22,12	0,91	0,91	0,91	0,91	0,25					
	0,50	20,98	1,35	1,35	1,35	1,35	0,50	20,35	0,71	0,71	0,71	0,71	0,50					
	1,00	19,17	2,26	1,82	1,82	1,82	1,00	18,81	2,81	1,81	1,81	1,81	1,00					
	1,50	18,53	2,78	1,87	1,60	1,60	1,50	18,45	4,88	3,89	3,60	3,60	1,50					
	2,00	18,24	4,21	3,62	1,83	1,83	2,00	20,46	5,51	5,20	4,78	4,78	2,00					
	3,00	16,96	5,29	2,83	1,93	0,96	3,00	23,10	7,34	4,35	3,90	3,35	3,00					
	5,00	12,52	4,59	1,85	1,85	-0,11	5,00	24,41	9,92	4,83	2,92	2,39	5,00					
0,5	0,25	22,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	22,24	1,92	1,92	1,92	1,92	0,25	22,24	1,92	1,92	1,92	1,92
	0,50	20,72	1,59	1,59	1,59	1,59	0,50	20,21	2,43	2,43	2,43	2,43	0,50	19,94	2,00	2,00	2,00	2,00
	1,00	18,59	5,11	3,51	3,51	3,51	1,00	19,22	5,76	4,01	4,01	4,01	1,00	18,76	4,36	2,64	2,64	2,64
	1,50	17,24	4,48	2,74	2,74	2,74	1,50	20,93	6,56	5,21	4,49	4,49	1,50	20,83	6,62	5,76	5,02	5,02
	2,00	16,44	6,17	4,11	3,50	3,50	2,00	21,28	8,26	6,23	6,01	5,46	2,00	24,53	8,70	6,12	4,88	4,88
	3,00	13,75	4,37	2,95	0,74	0,43	3,00	20,98	8,89	6,32	5,09	4,72	3,00	26,30	10,37	6,23	3,63	3,00
	5,00	3,72	-1,77	-2,83	-3,97	-3,97	5,00	12,29	3,65	-0,19	-1,06	-1,50	5,00	17,63	3,72	-1,57	-3,54	-3,54
0,3	0,25	22,24	0,91	0,91	0,91	0,91	0,25	22,24	0,91	0,91	0,91	0,91	0,25	22,37	2,61	0,91	0,91	0,91
	0,50	20,71	1,90	1,90	1,90	1,90	0,50	20,44	3,73	3,73	3,73	3,73	0,50	20,30	3,29	3,29	3,29	3,29
	1,00	18,43	6,46	5,39	5,39	5,39	1,00	20,71	7,36	5,36	5,36	5,36	1,00	21,58	7,99	6,95	6,95	6,95
	1,50	17,78	6,61	5,58	4,58	4,58	1,50	20,74	9,66	6,80	6,48	6,48	1,50	27,14	12,66	9,69	8,88	8,88
	2,00	16,69	7,53	6,76	5,27	5,27	2,00	22,55	12,88	10,51	8,01	8,01	2,00	32,18	17,55	15,17	13,28	11,45
	3,00	12,79	4,44	4,44	2,43	1,99	3,00	21,36	11,06	6,73	6,73	6,21	3,00	38,96	22,21	16,49	13,28	12,81
	5,00	-0,16	-0,81	-0,81	-0,93	-0,93	5,00	8,91	2,33	1,83	1,66	1,66	5,00	23,83	14,25	9,54	6,25	6,25

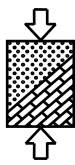


Anhang F

Einbindetiefen T/H für geschichteten, isotropen Baugrund

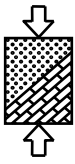
Anhang F1: Günstiger Baugrund, $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$, $k_{f,1}/k_{f,2} = 10$, $h = 0,5 \cdot H$

B/L	Ecke						Stirnseite						Längsseite					
	S/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
	B/H						B/H						B/H					
1,0	0,25	0,980	1,152	1,152	1,169	1,169	0,25	0,975	1,152	1,152	1,152	1,152	0,25	0,975	1,152	1,152	1,152	1,152
	0,50	0,933	1,069	1,090	1,090	1,090	0,50	0,905	1,039	1,054	1,054	1,054	0,50	0,905	1,039	1,054	1,054	1,054
	1,00	0,837	0,958	1,000	1,000	1,000	1,00	0,729	0,850	0,894	0,909	0,909	1,00	0,729	0,850	0,894	0,909	0,909
	1,50	0,770	0,864	0,902	0,918	0,940	1,50	0,600	0,706	0,761	0,778	0,780	1,50	0,600	0,706	0,761	0,778	0,780
	2,00	0,737	0,813	0,856	0,875	0,888	2,00	0,512	0,600	0,642	0,671	0,682	2,00	0,512	0,600	0,642	0,679	0,682
	3,00	0,718	0,756	0,785	0,808	0,816	3,00	0,418	0,477	0,512	0,535	0,553	3,00	0,418	0,477	0,512	0,535	0,553
	5,00	0,700	0,724	0,736	0,752	0,759	5,00	0,364	0,390	0,412	0,428	0,446	5,00	0,364	0,390	0,412	0,428	0,446
0,5	0,25	0,970	1,130	1,132	1,132	1,132	0,25	0,961	1,110	1,132	1,132	1,132	0,25	0,951	1,110	1,110	1,110	1,110
	0,50	0,891	1,019	1,039	1,05	1,050	0,50	0,864	0,990	1,014	1,020	1,025	0,50	0,837	0,958	0,990	1,000	1,000
	1,00	0,799	0,905	0,928	0,955	0,955	1,00	0,674	0,774	0,816	0,835	0,850	1,00	0,602	0,72	0,766	0,791	0,791
	1,50	0,750	0,820	0,856	0,875	0,879	1,50	0,561	0,654	0,682	0,700	0,717	1,50	0,470	0,553	0,602	0,636	0,642
	2,00	0,725	0,771	0,808	0,831	0,840	2,00	0,487	0,556	0,594	0,610	0,625	2,00	0,405	0,465	0,515	0,538	0,547
	3,00	0,709	0,736	0,756	0,781	0,790	3,00	0,415	0,466	0,493	0,510	0,520	3,00	0,360	0,389	0,423	0,439	0,450
	5,00	0,700	0,721	0,736	0,745	0,749	5,00	0,360	0,390	0,408	0,420	0,430	5,00	0,350	0,360	0,365	0,378	0,382
0,3	0,25	0,961	1,117	1,133	1,133	1,133	0,25	0,951	1,090	1,100	1,116	1,116	0,25	0,933	1,072	1,100	1,100	1,100
	0,50	0,877	0,996	1,011	1,021	1,021	0,50	0,837	0,956	0,987	0,997	0,997	0,50	0,786	0,909	0,940	0,945	0,945
	1,00	0,786	0,881	0,920	0,928	0,928	1,00	0,657	0,748	0,793	0,812	0,816	1,00	0,529	0,642	0,692	0,706	0,714
	1,50	0,747	0,8	0,842	0,85	0,871	1,50	0,560	0,631	0,664	0,683	0,700	1,50	0,418	0,484	0,529	0,553	0,577
	2,00	0,725	0,775	0,800	0,812	0,831	2,00	0,487	0,557	0,582	0,600	0,612	2,00	0,376	0,421	0,454	0,477	0,485
	3,00	0,709	0,736	0,756	0,775	0,784	3,00	0,409	0,462	0,484	0,500	0,515	3,00	0,353	0,371	0,387	0,406	0,419
	5,00	0,700	0,721	0,736	0,741	0,749	5,00	0,364	0,388	0,408	0,420	0,430	5,00	0,343	0,353	0,356	0,367	0,369



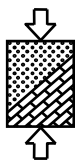
Anhang F2: Günstiger Baugrund, $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$, $k_{f,1}/k_{f,2} = 10$, $h = 0,25 \cdot H$

B/L	Ecke						Stirnseite						Längsseite					
	S/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	B/H						B/H						B/H					
	0,25	0,980	1,152	1,169	1,169	1,169	0,25	0,975	1,152	1,152	1,152	1,152	0,25	0,975	1,152	1,152	1,152	1,152
	0,50	0,933	1,069	1,090	1,090	1,090	0,50	0,914	1,039	1,054	1,054	1,072	0,50	0,914	1,039	1,054	1,054	1,072
	1,00	0,850	0,973	0,993	1,000	1,001	1,00	0,737	0,867	0,894	0,909	0,909	1,00	0,737	0,867	0,894	0,909	0,909
	1,50	0,782	0,885	0,917	0,936	0,945	1,50	0,612	0,720	0,761	0,774	0,778	1,50	0,612	0,720	0,761	0,774	0,778
	2,00	0,750	0,824	0,864	0,879	0,897	2,00	0,528	0,615	0,660	0,682	0,700	2,00	0,528	0,615	0,660	0,682	0,700
	3,00	0,728	0,779	0,809	0,826	0,828	3,00	0,437	0,494	0,536	0,556	0,566	3,00	0,437	0,494	0,536	0,556	0,566
5,00	0,718	0,745	0,762	0,772	0,782	5,00	0,389	0,417	0,438	0,460	0,470	5,00	0,389	0,417	0,438	0,460	0,470	
0,5	B/H						B/H						B/H					
	0,25	0,970	1,130	1,132	1,132	1,132	0,25	0,961	1,110	1,132	1,132	1,132	0,25	0,951	1,110	1,110	1,110	1,110
	0,50	0,891	1,019	1,05	1,05	1,050	0,50	0,864	0,990	1,015	1,025	1,025	0,50	0,837	0,974	1,000	1,000	1,000
	1,00	0,811	0,905	0,951	0,955	0,960	1,00	0,683	0,782	0,816	0,85	0,850	1,00	0,621	0,728	0,782	0,791	0,791
	1,50	0,753	0,828	0,864	0,879	0,894	1,50	0,572	0,660	0,699	0,717	0,721	1,50	0,485	0,577	0,629	0,642	0,654
	2,00	0,736	0,800	0,824	0,850	0,850	2,00	0,510	0,583	0,617	0,637	0,650	2,00	0,427	0,490	0,535	0,558	0,568
	3,00	0,727	0,762	0,782	0,799	0,803	3,00	0,438	0,484	0,515	0,540	0,540	3,00	0,389	0,417	0,449	0,470	0,481
5,00	0,718	0,745	0,758	0,768	0,772	5,00	0,390	0,416	0,438	0,449	0,460	5,00	0,380	0,387	0,399	0,406	0,418	
0,3	B/H						B/H						B/H					
	0,25	0,961	1,122	1,133	1,133	1,135	0,25	0,951	1,090	1,111	1,116	1,122	0,25	0,933	1,072	1,100	1,100	1,100
	0,50	0,877	1,001	1,026	1,031	1,031	0,50	0,850	0,966	0,987	0,997	1,002	0,50	0,786	0,918	0,940	0,945	0,945
	1,00	0,799	0,885	0,928	0,928	0,951	1,00	0,674	0,765	0,793	0,816	0,816	1,00	0,551	0,649	0,699	0,728	0,728
	1,50	0,76	0,824	0,856	0,871	0,885	1,50	0,573	0,648	0,693	0,700	0,721	1,50	0,445	0,512	0,558	0,577	0,588
	2,00	0,734	0,787	0,820	0,835	0,850	2,00	0,510	0,582	0,600	0,616	0,636	2,00	0,400	0,444	0,481	0,500	0,515
	3,00	0,727	0,762	0,782	0,795	0,803	3,00	0,430	0,484	0,513	0,535	0,535	3,00	0,380	0,399	0,421	0,438	0,449
5,00	0,718	0,745	0,758	0,762	0,768	5,00	0,390	0,420	0,438	0,449	0,460	5,00	0,380	0,385	0,388	0,395	0,399	



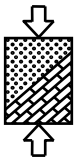
Anhang F3: Günstiger Baugrund, $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$, $k_{f,1}/k_{f,2} = 10$, $h = 0 \cdot H$

B/L	Ecke						Stirnseite						Längsseite					
	S/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	B/H						B/H						B/H					
	0,25	0,980	1,152	1,169	1,169	1,169	0,25	0,975	1,152	1,152	1,152	1,152	0,25	0,975	1,152	1,152	1,152	1,152
	0,50	0,933	1,079	1,090	1,090	1,090	0,50	0,914	1,044	1,054	1,072	1,072	0,50	0,914	1,044	1,054	1,072	1,072
	1,00	0,850	0,972	0,999	1,001	1,001	1,00	0,748	0,871	0,909	0,909	0,909	1,00	0,748	0,871	0,909	0,909	0,909
	1,50	0,795	0,889	0,933	0,940	0,945	1,50	0,624	0,729	0,769	0,790	0,795	1,50	0,624	0,729	0,769	0,790	0,795
	2,00	0,762	0,842	0,881	0,897	0,900	2,00	0,546	0,631	0,667	0,700	0,700	2,00	0,546	0,631	0,667	0,700	0,700
	3,00	0,736	0,785	0,824	0,840	0,840	3,00	0,454	0,517	0,563	0,583	0,583	3,00	0,454	0,517	0,563	0,583	0,583
5,00	0,736	0,767	0,778	0,796	0,803	5,00	0,418	0,442	0,466	0,485	0,490	5,00	0,418	0,442	0,466	0,485	0,490	
0,5	B/H						B/H						B/H					
	0,25	0,970	1,130	1,132	1,132	1,137	0,25	0,961	1,110	1,132	1,132	1,137	0,25	0,951	1,110	1,110	1,110	1,110
	0,50	0,891	1,024	1,04	1,05	1,050	0,50	0,864	0,990	1,020	1,025	1,025	0,50	0,843	0,974	1,000	1,000	1,000
	1,00	0,811	0,911	0,955	0,96	0,965	1,00	0,692	0,799	0,835	0,85	0,850	1,00	0,634	0,741	0,791	0,791	0,805
	1,50	0,772	0,842	0,881	0,894	0,909	1,50	0,591	0,684	0,711	0,731	0,749	1,50	0,500	0,588	0,640	0,654	0,664
	2,00	0,749	0,800	0,842	0,860	0,871	2,00	0,526	0,596	0,623	0,650	0,662	2,00	0,447	0,512	0,550	0,573	0,585
	3,00	0,736	0,778	0,789	0,816	0,818	3,00	0,450	0,507	0,534	0,553	0,556	3,00	0,410	0,44	0,469	0,486	0,500
5,00	0,730	0,763	0,778	0,783	0,783	5,00	0,410	0,444	0,457	0,475	0,487	5,00	0,400	0,415	0,425	0,436	0,439	
0,3	B/H						B/H						B/H					
	0,25	0,961	1,122	1,122	1,122	1,122	0,25	0,951	1,100	1,122	1,122	1,122	0,25	0,933	1,090	1,100	1,100	1,100
	0,50	0,877	1,006	1,021	1,031	1,031	0,50	0,850	0,966	0,997	1,002	1,006	0,50	0,799	0,918	0,945	0,945	0,950
	1,00	0,811	0,890	0,928	0,951	0,955	1,00	0,683	0,786	0,812	0,820	0,833	1,00	0,570	0,667	0,720	0,728	0,741
	1,50	0,76	0,828	0,864	0,885	0,894	1,50	0,586	0,664	0,699	0,714	0,721	1,50	0,473	0,535	0,575	0,600	0,605
	2,00	0,747	0,800	0,828	0,850	0,850	2,00	0,528	0,591	0,618	0,637	0,650	2,00	0,427	0,480	0,512	0,526	0,535
	3,00	0,736	0,778	0,789	0,814	0,818	3,00	0,450	0,504	0,536	0,556	0,556	3,00	0,407	0,429	0,447	0,463	0,473
5,00	0,736	0,763	0,778	0,783	0,783	5,00	0,418	0,442	0,459	0,475	0,487	5,00	0,407	0,409	0,418	0,426	0,434	



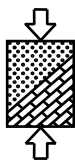
Anhang F4: Günstiger Baugrund, $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$, $k_{f,1}/k_{f,2} = 5$, $h = 0 \cdot H$

B/L	Ecke					Stirnseite					Längsseite							
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	0,25	0,980	1,152	1,169	1,169	1,169	0,25	0,975	1,152	1,152	1,152	1,152	0,25	0,975	1,152	1,152	1,152	1,152
	0,50	0,933	1,079	1,090	1,090	1,090	0,50	0,914	1,044	1,054	1,072	1,072	0,50	0,914	1,044	1,054	1,072	1,072
	1,00	0,850	0,963	0,993	1,001	1,001	1,00	0,748	0,871	0,909	0,909	0,909	1,00	0,748	0,871	0,909	0,909	0,909
	1,50	0,783	0,879	0,922	0,931	0,947	1,50	0,624	0,721	0,765	0,772	0,789	1,50	0,624	0,721	0,765	0,772	0,789
	2,00	0,760	0,828	0,871	0,894	0,909	2,00	0,530	0,618	0,666	0,685	0,695	2,00	0,530	0,618	0,666	0,685	0,695
	3,00	0,736	0,776	0,810	0,824	0,842	3,00	0,454	0,511	0,540	0,566	0,588	3,00	0,454	0,511	0,540	0,566	0,588
5,00	0,727	0,756	0,774	0,776	0,789	5,00	0,400	0,432	0,447	0,470	0,481	5,00	0,400	0,432	0,454	0,470	0,481	
0,5	0,25	0,970	1,130	1,132	1,132	1,154	0,25	0,961	1,110	1,132	1,132	1,132	0,25	0,951	1,110	1,110	1,110	1,110
	0,50	0,891	1,019	1,04	1,05	1,050	0,50	0,864	0,990	1,020	1,025	1,025	0,50	0,837	0,974	1,000	1,000	1,000
	1,00	0,811	0,92	0,951	0,955	0,960	1,00	0,692	0,799	0,833	0,85	0,850	1,00	0,621	0,741	0,782	0,791	0,791
	1,50	0,765	0,842	0,875	0,894	0,909	1,50	0,585	0,669	0,702	0,721	0,742	1,50	0,500	0,588	0,636	0,642	0,660
	2,00	0,745	0,810	0,828	0,856	0,864	2,00	0,519	0,580	0,624	0,635	0,648	2,00	0,436	0,500	0,540	0,572	0,583
	3,00	0,736	0,774	0,789	0,810	0,810	3,00	0,441	0,495	0,525	0,540	0,553	3,00	0,4	0,427	0,458	0,479	0,486
5,00	0,727	0,756	0,771	0,774	0,775	5,00	0,400	0,428	0,443	0,461	0,469	5,00	0,390	0,400	0,411	0,419	0,427	
0,3	0,25	0,961	1,122	1,122	1,122	1,122	0,25	0,951	1,090	1,122	1,122	1,122	0,25	0,933	1,090	1,100	1,100	1,100
	0,50	0,877	1,006	1,026	1,041	1,050	0,50	0,850	0,966	0,992	0,997	1,002	0,50	0,786	0,918	0,945	0,945	0,959
	1,00	0,799	0,890	0,928	0,946	0,951	1,00	0,674	0,765	0,812	0,816	0,833	1,00	0,559	0,655	0,713	0,728	0,728
	1,50	0,754	0,824	0,864	0,875	0,888	1,50	0,577	0,667	0,695	0,702	0,717	1,50	0,454	0,524	0,572	0,588	0,594
	2,00	0,745	0,795	0,824	0,842	0,856	2,00	0,510	0,588	0,611	0,631	0,642	2,00	0,420	0,466	0,495	0,520	0,535
	3,00	0,736	0,768	0,782	0,795	0,810	3,00	0,441	0,495	0,524	0,535	0,556	3,00	0,395	0,411	0,436	0,444	0,466
5,00	0,727	0,756	0,767	0,774	0,778	5,00	0,400	0,428	0,449	0,456	0,471	5,00	0,390	0,394	0,407	0,411	0,415	



Anhang F5: Günstiger Baugrund, $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$, $k_{f,1}/k_{f,2} = 2$, $h = 0 \cdot H$

B/L	Ecke					Stirnseite					Längsseite							
	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H B/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	0,25	0,980	1,152	1,152	1,169	1,169	0,25	0,975	1,152	1,152	1,152	1,152	0,25	0,975	1,152	1,152	1,152	1,152
	0,50	0,933	1,069	1,090	1,090	1,090	0,50	0,905	1,039	1,054	1,054	1,072	0,50	0,905	1,039	1,054	1,054	1,072
	1,00	0,850	0,958	0,990	0,998	1,001	1,00	0,738	0,850	0,894	0,909	0,909	1,00	0,738	0,850	0,894	0,909	0,909
	1,50	0,782	0,875	0,913	0,927	0,927	1,50	0,600	0,714	0,750	0,768	0,772	1,50	0,600	0,714	0,750	0,768	0,772
	2,00	0,745	0,813	0,856	0,875	0,879	2,00	0,515	0,600	0,650	0,669	0,689	2,00	0,515	0,600	0,650	0,669	0,689
	3,00	0,718	0,765	0,789	0,816	0,824	3,00	0,427	0,481	0,530	0,550	0,566	3,00	0,427	0,481	0,530	0,550	0,566
	5,00	0,709	0,732	0,742	0,750	0,765	5,00	0,370	0,400	0,421	0,440	0,450	5,00	0,370	0,400	0,428	0,440	0,450
0,5	0,25	0,970	1,130	1,132	1,132	1,132	0,25	0,961	1,110	1,132	1,132	1,132	0,25	0,951	1,110	1,110	1,110	1,110
	0,50	0,891	1,019	1,039	1,05	1,050	0,50	0,864	0,990	1,014	1,020	1,025	0,50	0,837	0,974	0,990	1,000	1,000
	1,00	0,799	0,905	0,946	0,955	0,955	1,00	0,674	0,774	0,816	0,835	0,850	1,00	0,605	0,72	0,759	0,791	0,791
	1,50	0,750	0,824	0,850	0,875	0,879	1,50	0,567	0,650	0,695	0,700	0,717	1,50	0,474	0,563	0,612	0,642	0,642
	2,00	0,727	0,776	0,810	0,828	0,842	2,00	0,491	0,563	0,594	0,618	0,635	2,00	0,409	0,481	0,512	0,535	0,550
	3,00	0,718	0,742	0,768	0,776	0,802	3,00	0,422	0,47	0,498	0,515	0,535	3,00	0,37	0,397	0,428	0,444	0,461
	5,00	0,709	0,724	0,736	0,742	0,750	5,00	0,370	0,400	0,412	0,428	0,440	5,00	0,360	0,362	0,374	0,385	0,389
0,3	0,25	0,961	1,117	1,133	1,133	1,133	0,25	0,951	1,090	1,100	1,116	1,116	0,25	0,933	1,072	1,100	1,100	1,100
	0,50	0,877	0,996	1,011	1,021	1,041	0,50	0,837	0,956	0,987	0,997	0,997	0,50	0,786	0,909	0,940	0,945	0,945
	1,00	0,799	0,885	0,920	0,928	0,937	1,00	0,665	0,765	0,793	0,812	0,816	1,00	0,542	0,649	0,692	0,720	0,728
	1,50	0,745	0,812	0,842	0,85	0,871	1,50	0,568	0,642	0,669	0,695	0,700	1,50	0,427	0,495	0,535	0,572	0,583
	2,00	0,727	0,772	0,800	0,820	0,824	2,00	0,495	0,561	0,588	0,612	0,615	2,00	0,390	0,428	0,461	0,481	0,500
	3,00	0,718	0,750	0,763	0,772	0,789	3,00	0,422	0,470	0,498	0,512	0,530	3,00	0,360	0,378	0,397	0,412	0,428
	5,00	0,709	0,736	0,736	0,749	0,756	5,00	0,370	0,400	0,418	0,428	0,444	5,00	0,360	0,360	0,368	0,374	0,378

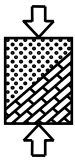


Anhang G

Prozentuale Abweichung zwischen mit FEFLOW® berechneter und mittels Formel bzw. Interpolation erhaltener Einbindetiefe für geschichteten, isotropen Baugrund

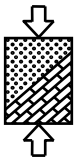
Anhang G1: Günstiger Baugrund, $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$, $k_{f,1}/k_{f,2} = 10$, $h = 0 \cdot H$

B/L	Ecke						Stirnseite						Längsseite					
	S/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	B/H						B/H						B/H					
	0,25	0,50	-0,02	-0,96	0,50	0,50	0,25	1,35	0,72	1,25	1,25	1,25	0,25					
	0,50	0,78	0,06	0,07	1,00	1,00	0,50	1,38	2,01	2,01	0,78	0,78	0,50					
	1,00	0,44	0,01	1,29	1,18	1,80	1,00	1,91	2,47	1,07	3,27	5,00	1,00					
	1,50	-0,89	-0,48	-1,31	0,59	0,17	1,50	0,26	3,08	2,33	1,92	4,66	1,50					
	2,00	-0,78	-0,94	-1,90	0,17	-0,16	2,00	-2,29	1,63	4,72	1,83	4,03	2,00					
	3,00	0,82	-0,62	-1,08	-1,07	1,20	3,00	-0,45	-0,57	-0,52	1,98	5,53	3,00					
5,00	2,23	0,68	0,67	0,74	0,82	5,00	-0,42	2,94	3,00	2,58	6,89	5,00						
	Ecke						Stirnseite						Längsseite					
	S/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
0,5	B/H						B/H						B/H					
	0,25	0,19	0,06	0,32	0,50	0,06	0,25	0,93	1,25	0,71	1,25	0,80	0,25	2,72	2,50	2,50	2,50	2,50
	0,50	1,23	0,11	-0,46	-0,06	1,00	0,50	1,43	1,57	1,39	1,40	2,00	0,50	4,25	2,74	3,95	3,95	5,00
	1,00	-1,14	-0,91	-0,88	0,51	0,52	1,00	-0,01	1,71	2,61	0,80	1,29	1,00	3,41	5,84	5,55	7,77	7,13
	1,50	-2,20	-1,89	-1,91	-0,46	-0,97	1,50	-0,87	-1,30	0,70	0,74	0,32	1,50	1,89	4,44	3,68	8,49	8,94
	2,00	-1,42	-0,68	-3,41	-2,05	-1,61	2,00	-1,71	-1,44	-0,06	0,52	2,52	2,00	2,01	4,06	5,82	7,85	8,72
	3,00	-0,34	-2,04	-1,52	-1,79	-0,09	3,00	-1,10	-1,10	-0,51	0,24	3,42	3,00	4,32	5,48	6,44	8,87	11,28
5,00	3,07	0,92	-0,18	0,03	0,73	5,00	0,30	0,51	2,30	2,37	3,95	5,00	18,88	14,94	14,35	16,28	18,56	
	Ecke						Stirnseite						Längsseite					
	S/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
0,3	B/H						B/H						B/H					
	0,25	0,60	0,05	0,05	0,50	1,49	0,25	1,04	0,33	0,80	1,25	1,52	0,25	2,28	0,81	1,57	2,50	2,50
	0,50	-0,04	-0,51	0,51	1,00	1,00	0,50	0,93	1,44	0,03	0,97	1,07	0,50	1,58	3,97	3,44	4,44	4,45
	1,00	-2,78	-2,01	-2,18	-1,32	-0,88	1,00	-1,61	-2,35	0,09	1,54	-0,04	1,00	-1,77	2,74	1,44	4,56	2,73
	1,50	-2,15	-2,72	-1,77	-2,94	-1,95	1,50	-1,49	-2,05	-1,57	-0,03	1,98	1,50	-5,67	-0,69	0,00	2,54	3,60
	2,00	-1,29	-3,28	-2,28	-3,46	-1,87	2,00	-3,54	-1,54	-0,15	-0,36	-0,49	2,00	-3,61	-4,00	-0,63	0,84	4,30
	3,00	-0,91	-2,99	-1,52	-3,64	-2,03	3,00	-1,36	-2,34	-1,09	-1,96	0,73	3,00	2,53	0,61	1,50	5,01	6,09
5,00	2,68	0,92	-0,18	-0,82	0,31	5,00	-1,02	1,81	1,85	1,84	1,64	5,00	15,72	15,16	15,19	13,03	14,06	



Anhang G2: Günstiger Baugrund, $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$, $k_{f,1}/k_{f,2} = 10$, $h = 0,5 \cdot H$

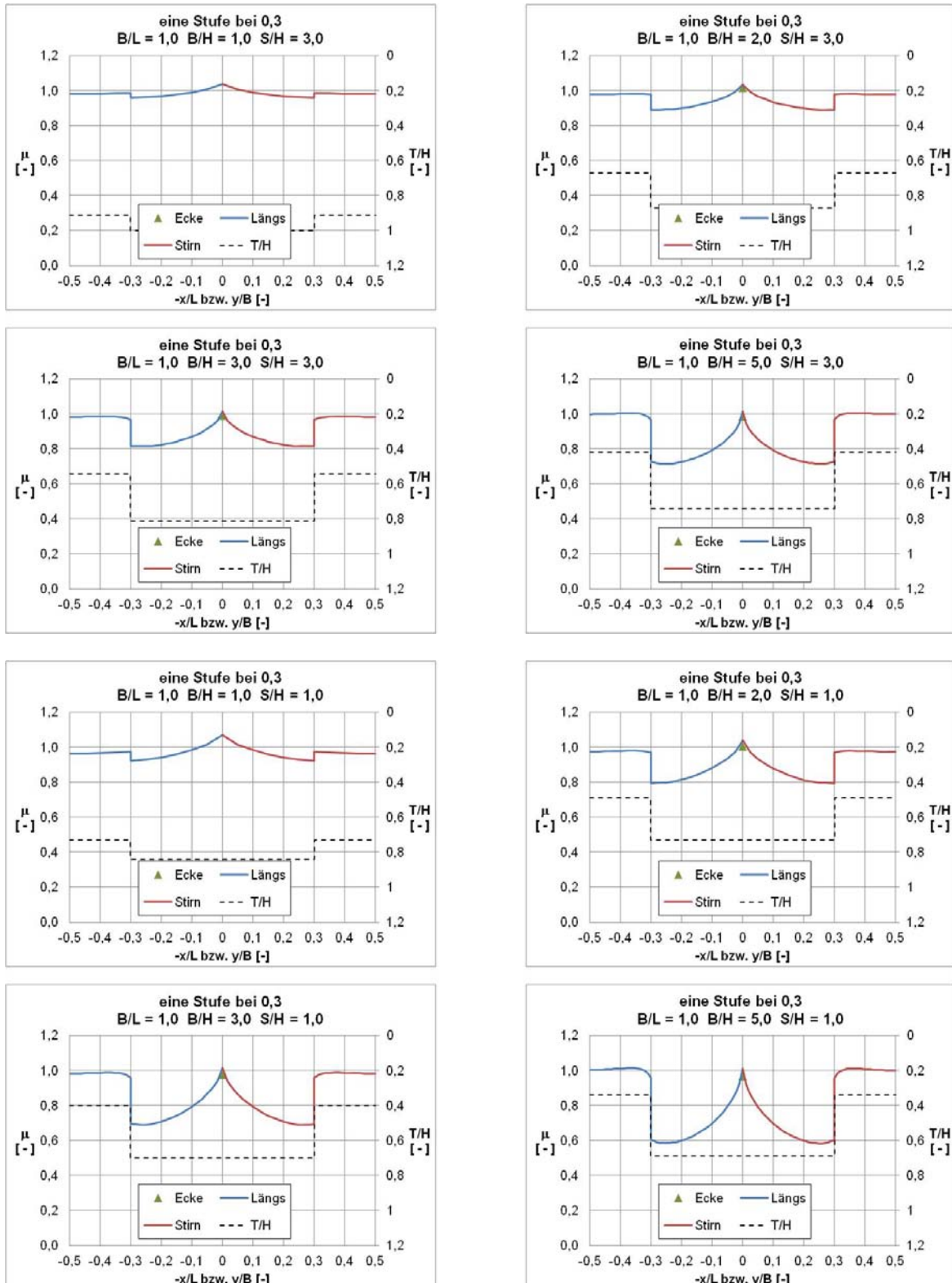
B/L	Ecke						Stirnseite						Längsseite					
	S/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	S/H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
	B/H						B/H						B/H					
1,0	0,25	0,25	-0,27	0,25	0,25	0,25	0,25	0,73	0,10	0,62	0,62	0,62	0,25					
	0,50	0,28	0,50	-0,42	0,50	0,50	0,50	1,14	1,25	0,77	1,25	1,25	0,50					
	1,00	1,00	0,47	0,19	0,29	0,90	1,00	2,08	2,50	0,32	0,81	2,50	1,00					
	1,50	0,84	0,91	0,60	1,50	-0,77	1,50	0,64	2,72	-0,20	-0,12	2,95	1,50					
	2,00	0,62	0,62	-0,98	0,72	-0,76	2,00	-0,54	2,03	3,86	1,40	1,92	2,00					
	3,00	0,42	0,28	0,90	-0,06	1,23	3,00	1,07	0,74	2,25	3,88	4,00	3,00					
	5,00	2,60	1,81	1,58	1,79	1,82	5,00	2,92	5,00	4,85	4,61	5,69	5,00					
0,5	0,25	-0,06	-0,19	0,07	0,25	0,25	0,25	0,31	0,63	0,09	0,62	0,62	0,25	1,46	1,25	1,25	1,25	1,25
	0,50	0,73	0,11	-0,85	-0,55	0,50	0,50	0,20	0,33	0,75	0,65	0,76	0,50	2,50	1,97	2,50	1,48	2,50
	1,00	-0,64	-1,23	1,00	0,05	0,58	1,00	0,22	2,50	2,50	0,17	-1,12	1,00	3,95	3,98	4,04	2,88	4,07
	1,50	-0,80	-0,73	-0,52	0,22	0,92	1,50	0,79	-0,37	1,32	1,53	1,15	1,50	1,32	3,81	3,04	4,29	5,32
	2,00	-0,11	1,07	-1,28	-0,58	0,06	2,00	1,33	0,85	0,05	2,25	3,66	2,00	3,21	5,03	3,59	5,30	6,58
	3,00	0,53	0,62	-0,13	-0,30	0,52	3,00	0,25	0,58	0,74	1,60	3,37	3,00	5,10	5,54	4,40	6,62	9,38
	5,00	2,60	1,94	0,72	0,35	0,51	5,00	2,81	2,98	3,13	4,20	5,96	5,00	13,21	10,42	10,96	11,77	13,55
0,3	0,25	0,35	0,25	-1,17	-0,72	0,25	0,25	0,41	0,62	2,18	1,17	1,44	0,25	1,03	1,25	0,33	1,25	1,25
	0,50	-0,53	0,00	1,00	1,48	1,48	0,50	1,25	1,25	-0,19	0,23	0,74	0,50	0,80	2,50	1,52	1,96	2,50
	1,00	-0,67	-1,98	-2,29	0,13	1,00	1,00	-0,15	0,17	0,04	0,10	-0,39	1,00	1,03	1,89	0,75	2,92	1,76
	1,50	-1,90	-0,78	-0,67	-0,41	-0,83	1,50	-0,51	-0,52	0,00	0,86	1,38	1,50	-0,22	2,61	1,61	4,00	1,54
	2,00	-0,25	-2,08	-0,81	-0,89	-1,56	2,00	-0,17	-0,28	1,21	0,98	0,88	2,00	0,35	0,33	2,73	1,93	5,46
	3,00	-0,05	-0,36	-0,13	-1,65	-0,68	3,00	1,45	-0,41	2,39	1,91	1,66	3,00	4,58	2,91	3,71	5,94	5,94
	5,00	3,05	1,94	0,72	0,04	0,09	5,00	2,30	4,38	3,13	3,66	3,60	5,00	14,43	11,19	12,71	9,33	11,79

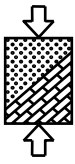


Anhang H

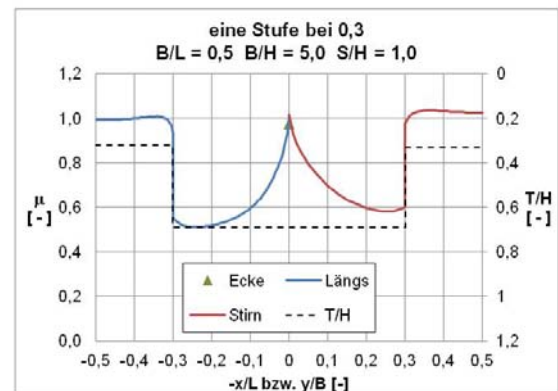
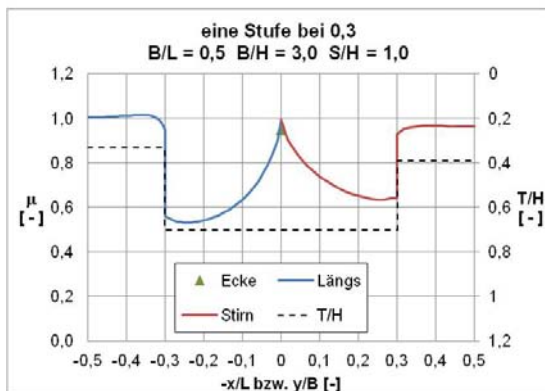
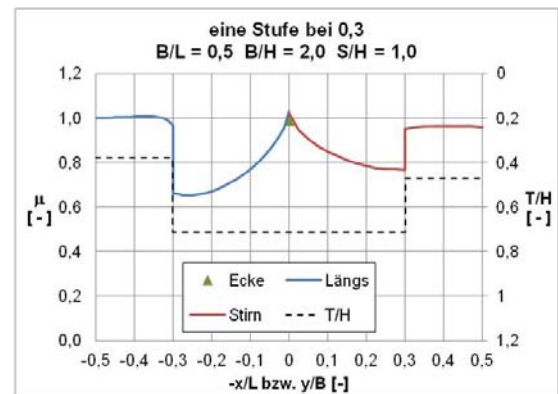
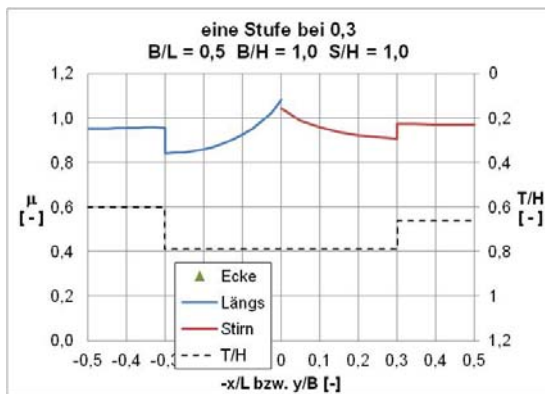
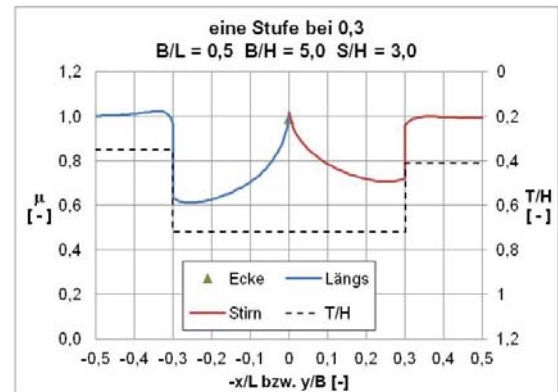
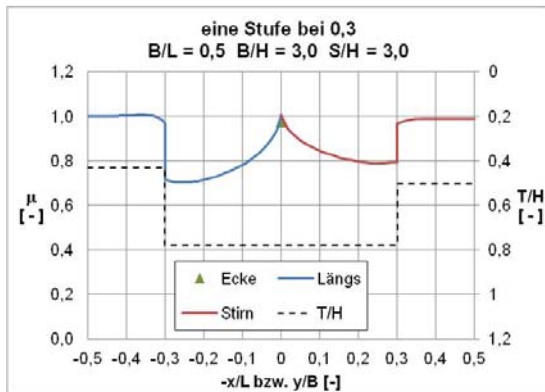
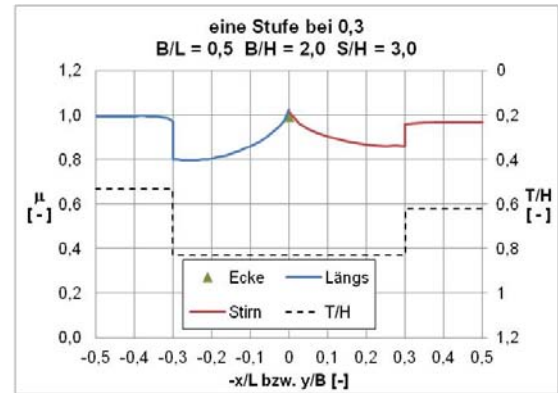
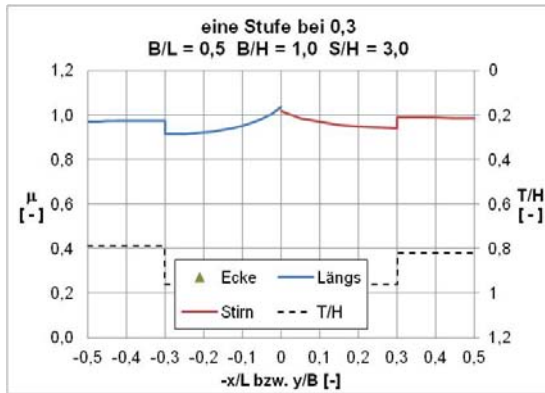
Ausnutzungsgrad bei abgetreppten Verbauwänden

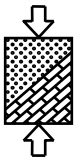
Anhang H1: Eine Stufe je Seite bei $x/L = 0,3 = y/B$ und $B/L = 1,0$



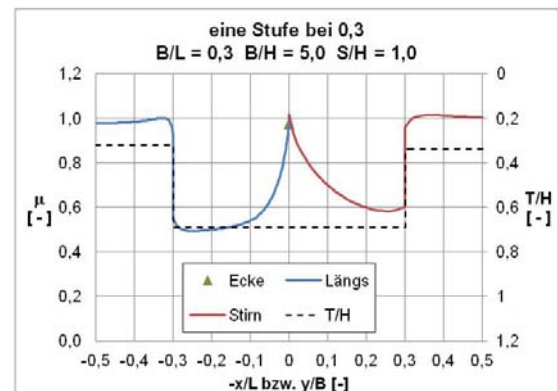
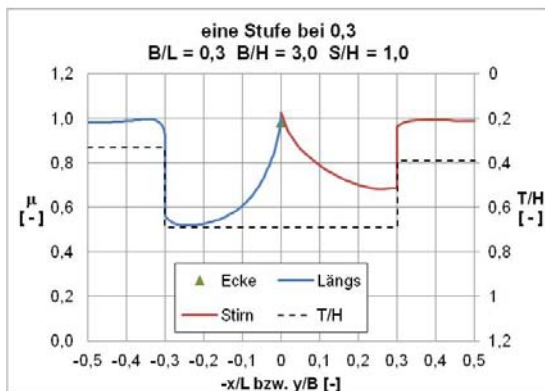
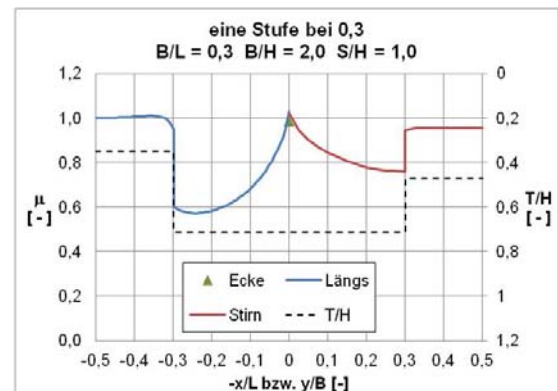
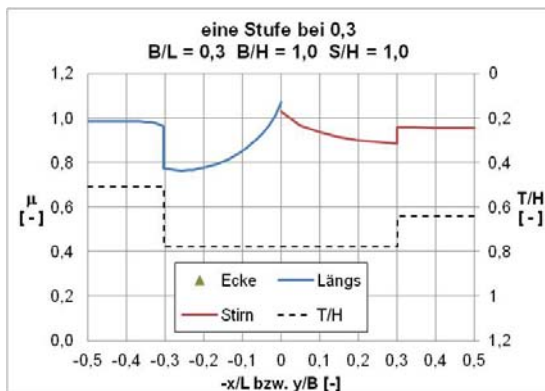
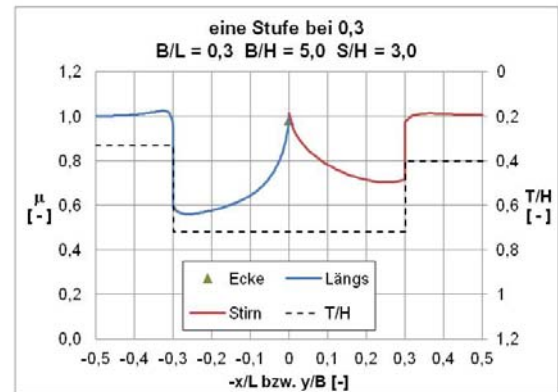
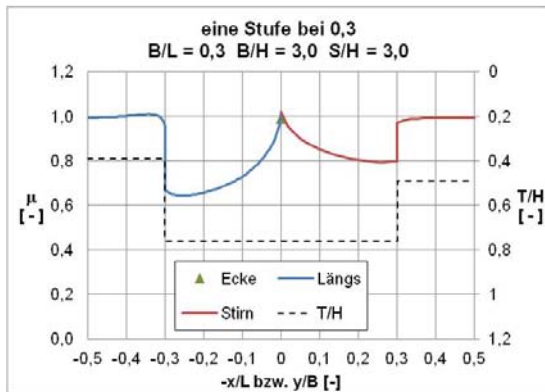
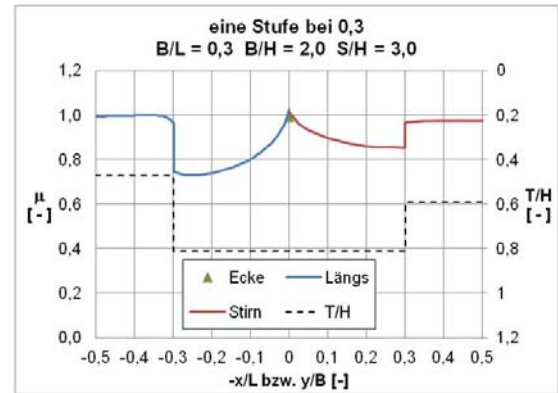
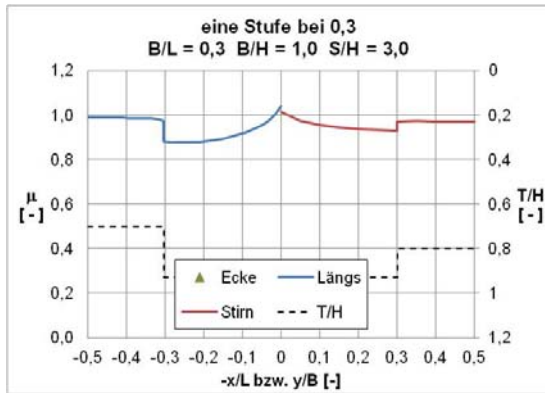


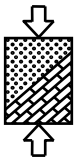
Anhang H2: Eine Stufe je Seite bei $x/L = 0,3 = y/B$ und $B/L = 0,5$



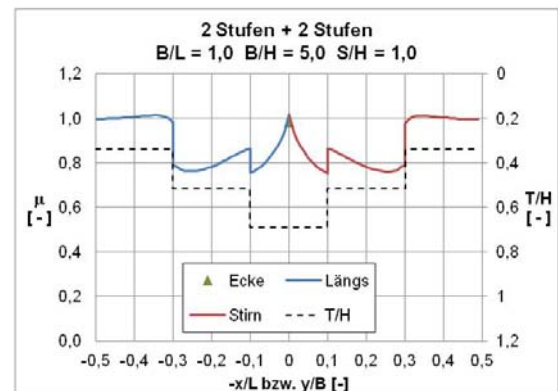
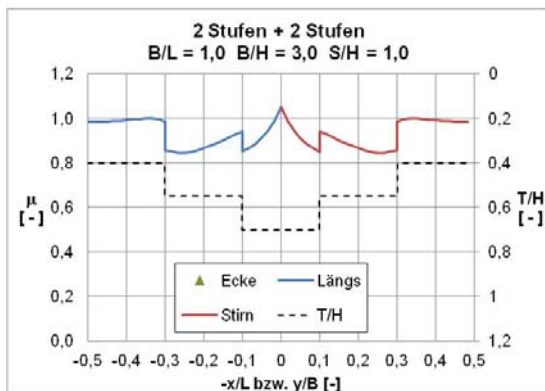
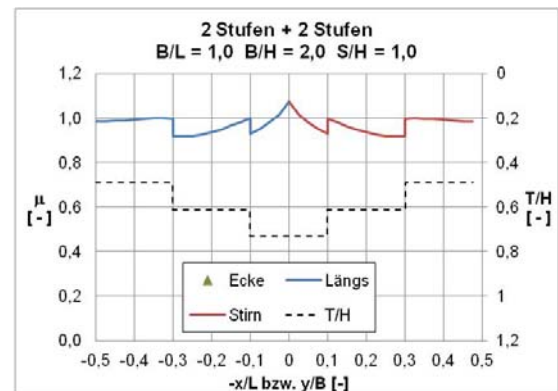
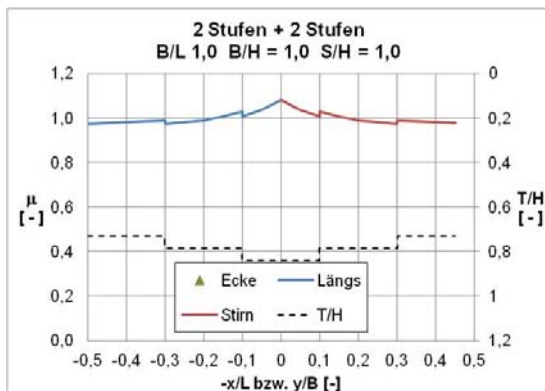
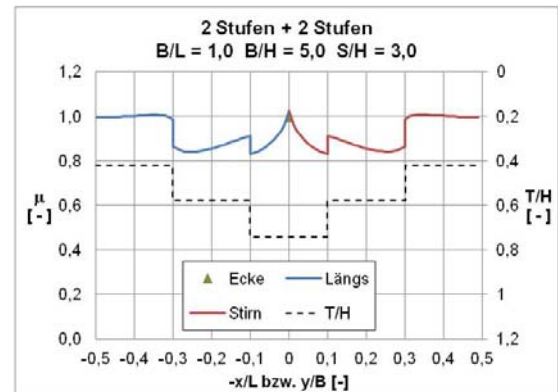
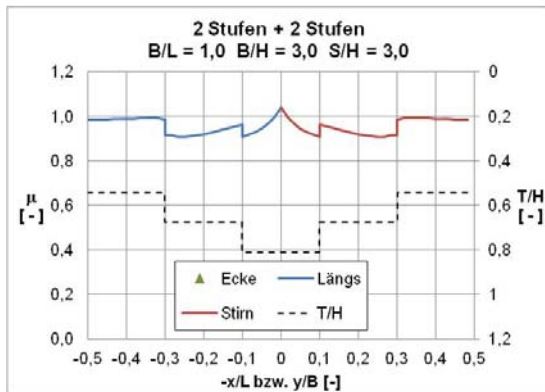
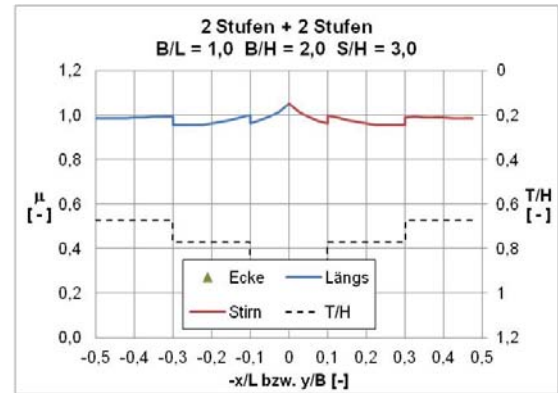
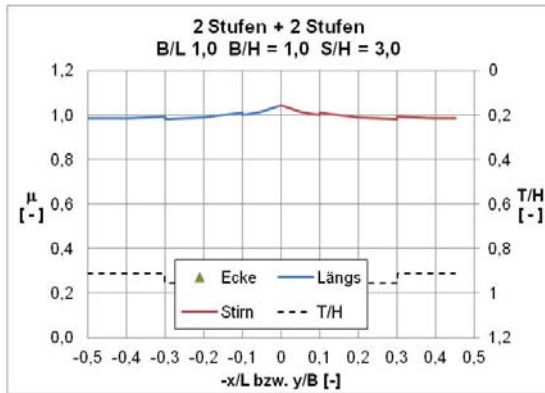


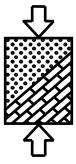
Anhang H3: Eine Stufe je Seite bei $x/L = 0,3 = y/B$ und $B/L = 0,3$



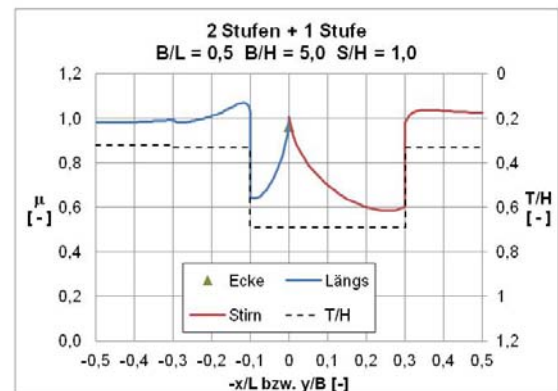
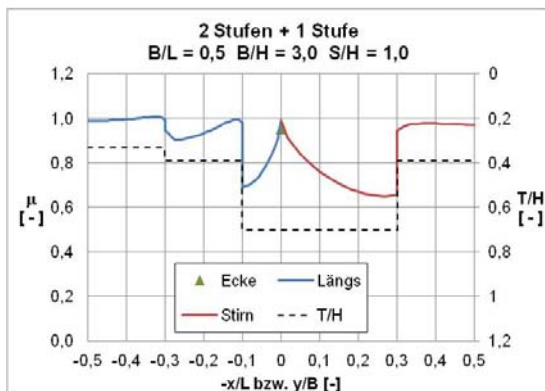
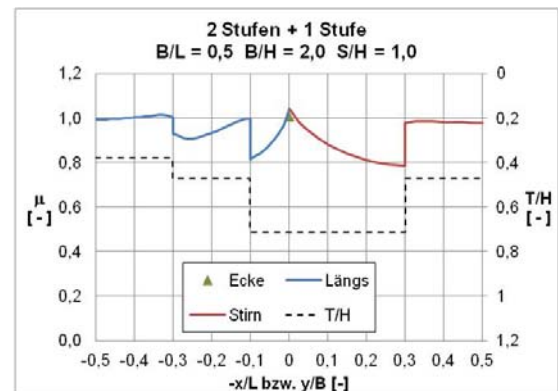
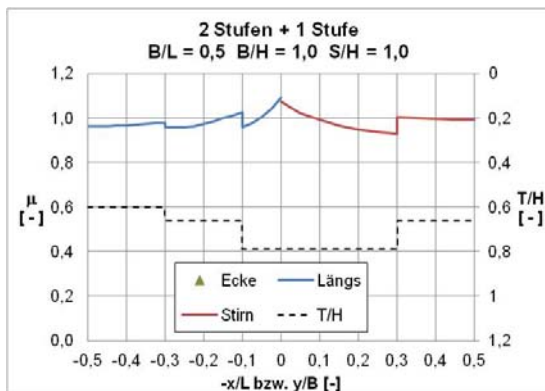
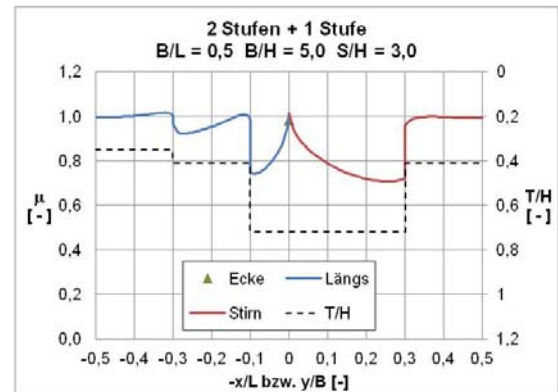
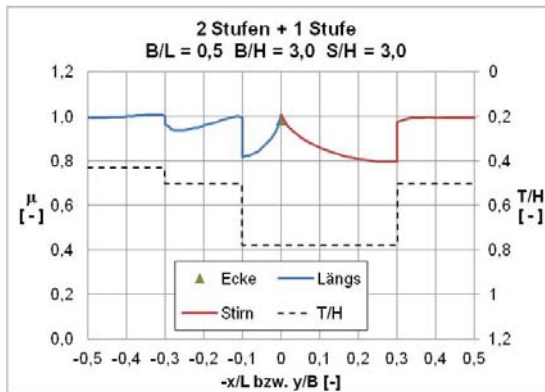
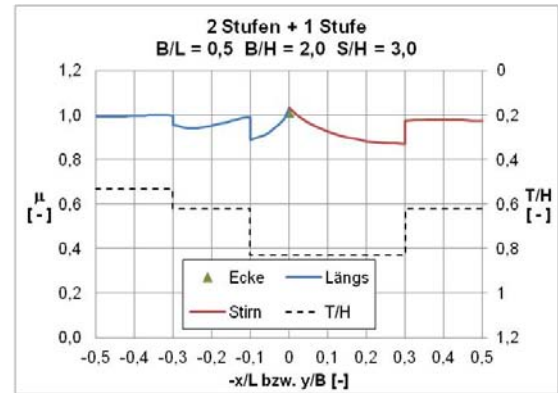
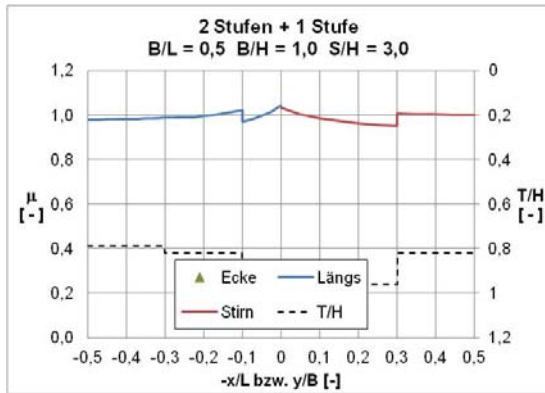


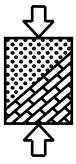
Anhang H4: Zwei Stufen je Seite bei $B/L = 1,0$



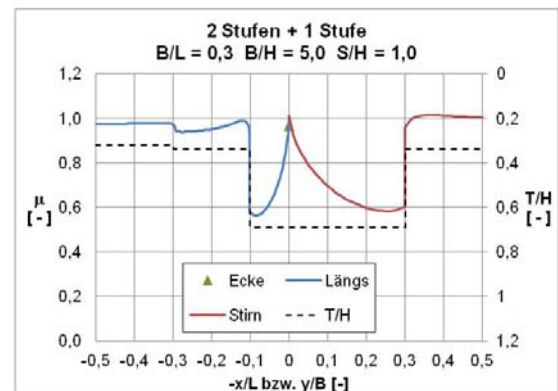
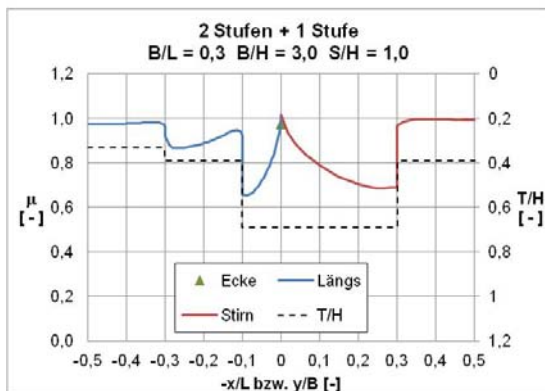
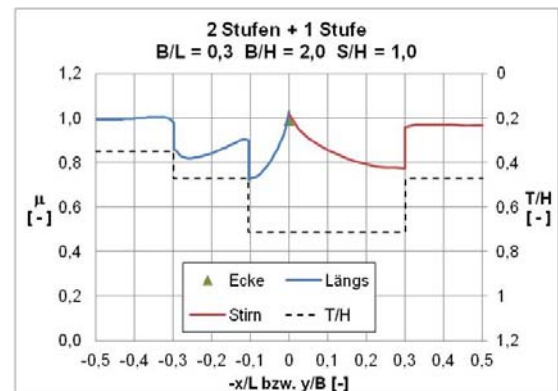
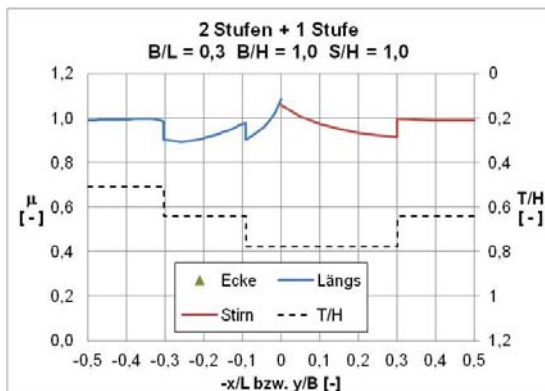
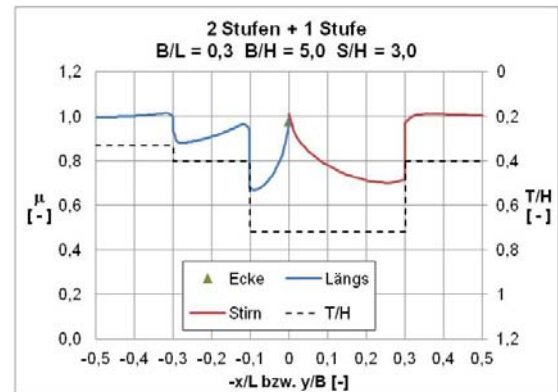
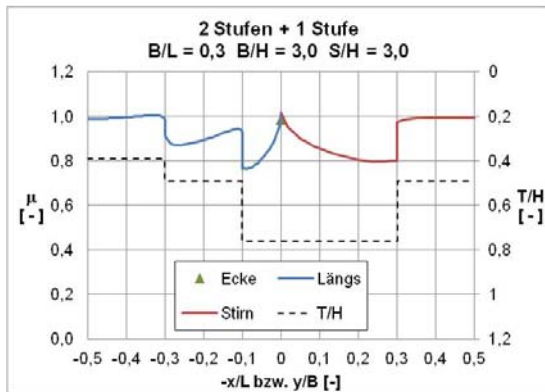
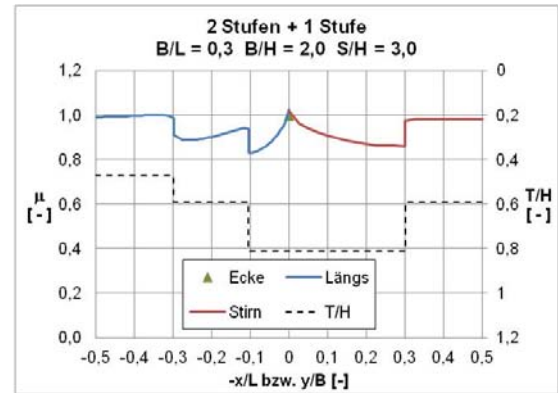
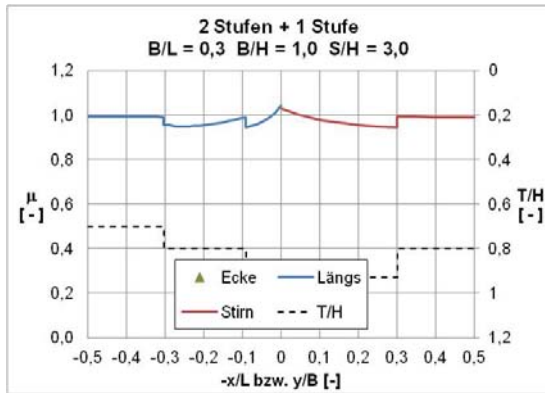


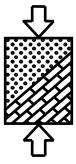
Anhang H5: Zwei Stufen auf der Längs- und eine auf der Stirnseite bei $B/L = 0,5$



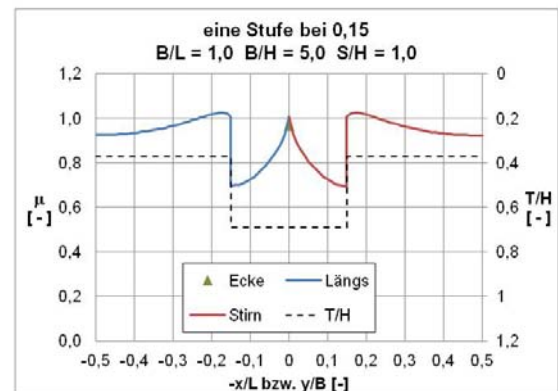
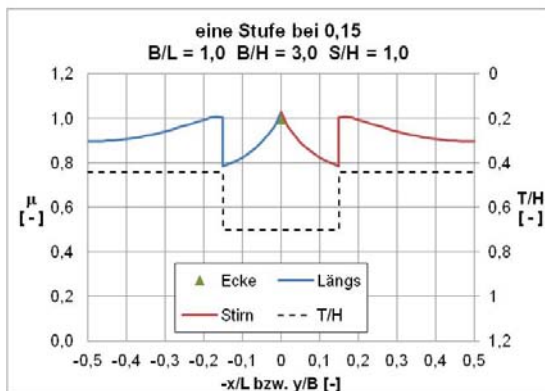
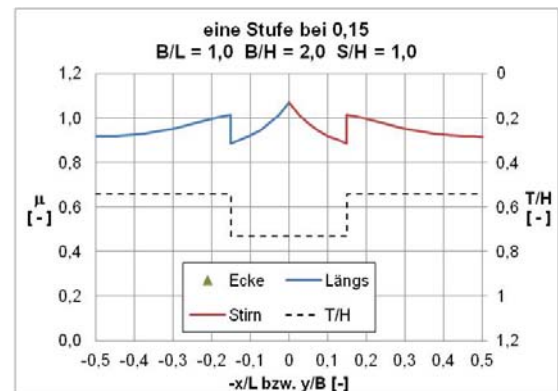
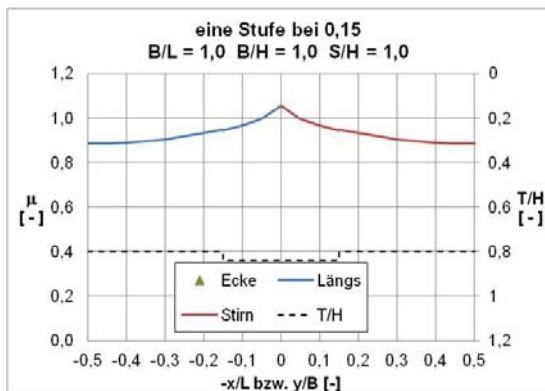
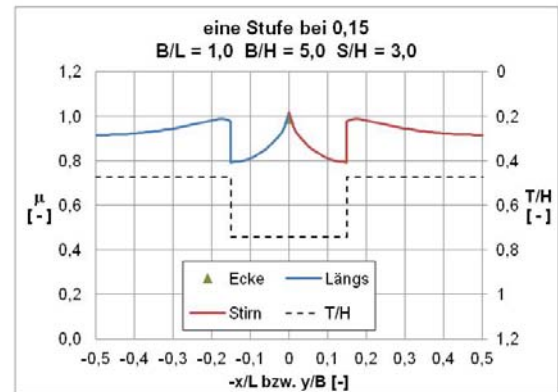
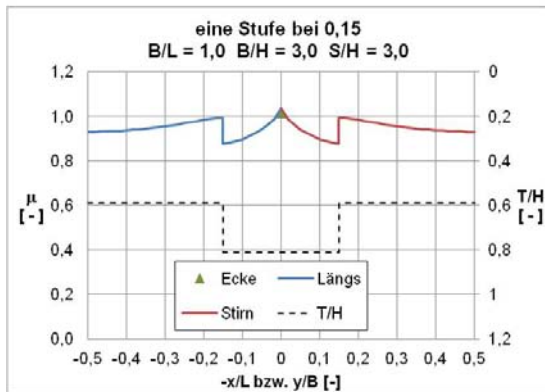
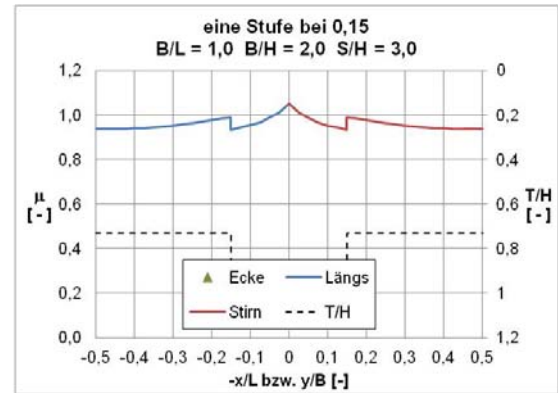
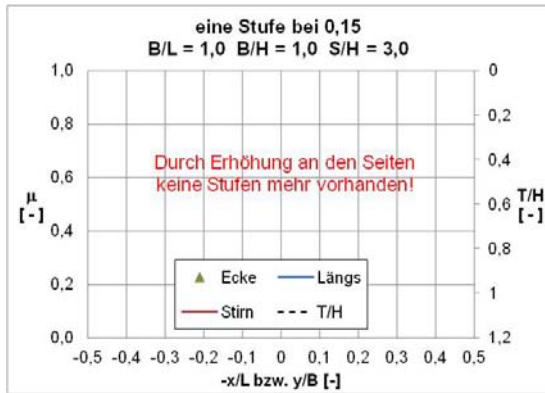


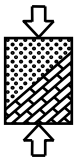
Anhang H6: Zwei Stufen auf der Längs- und eine auf der Stirnseite bei $B/L = 0,3$



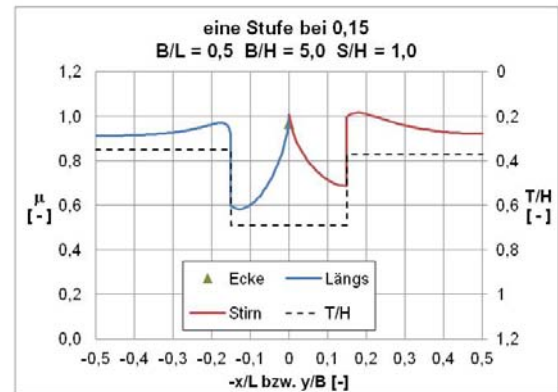
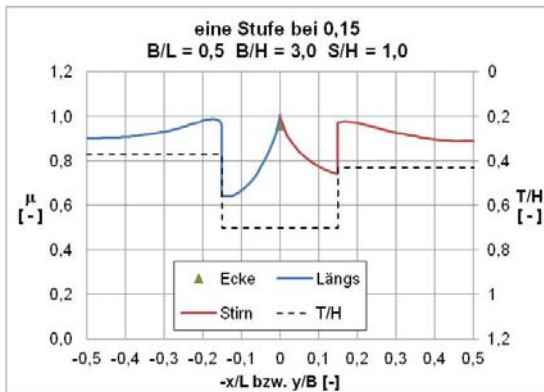
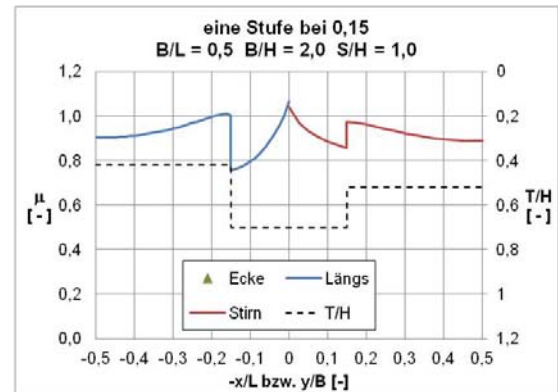
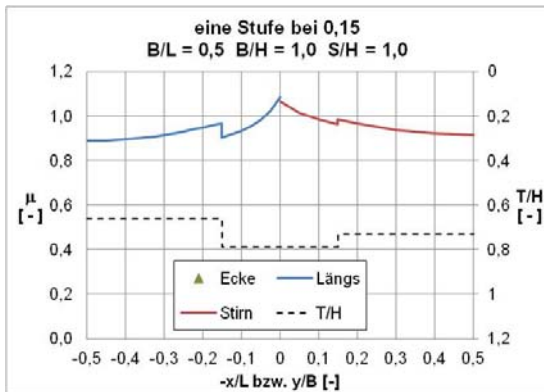
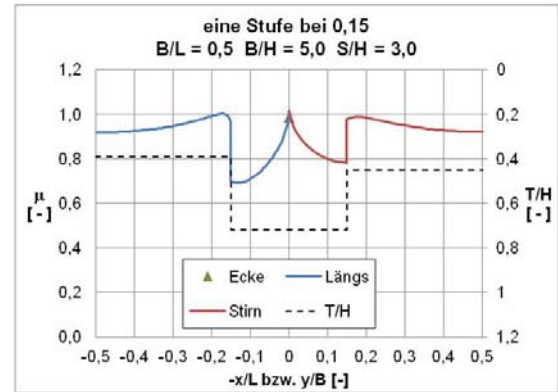
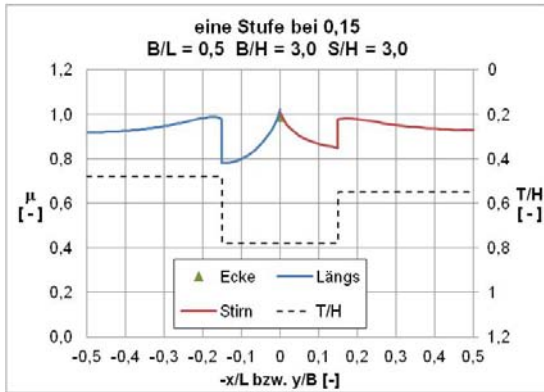
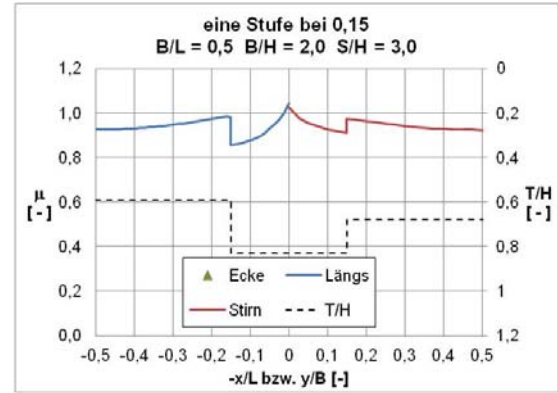
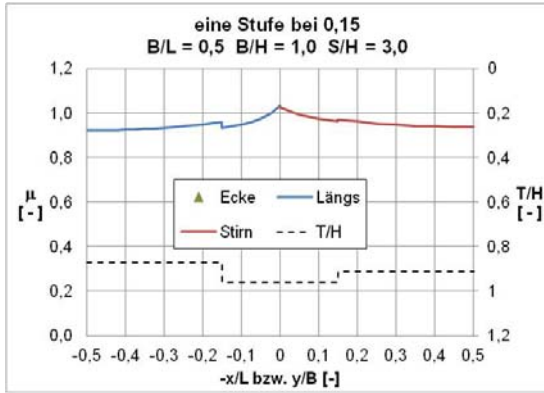


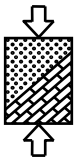
Anhang H7: Eine Stufe je Seite bei $x/L = 0,15 = y/B$ und $B/L = 1,0$



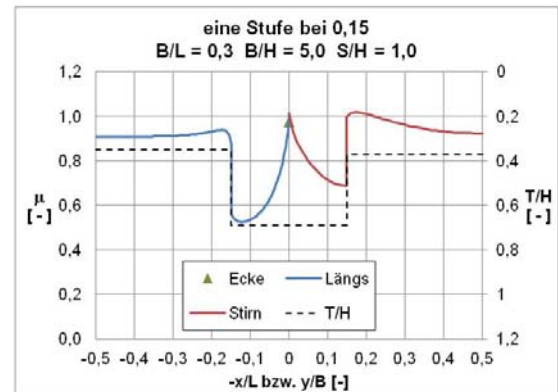
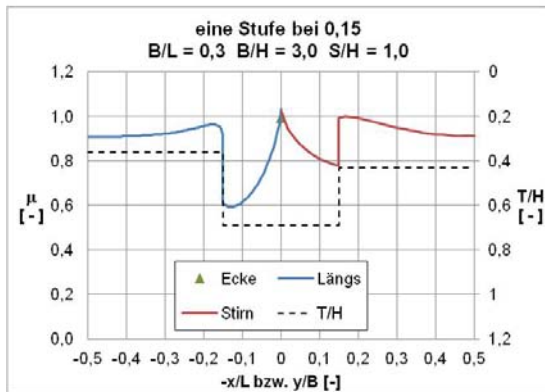
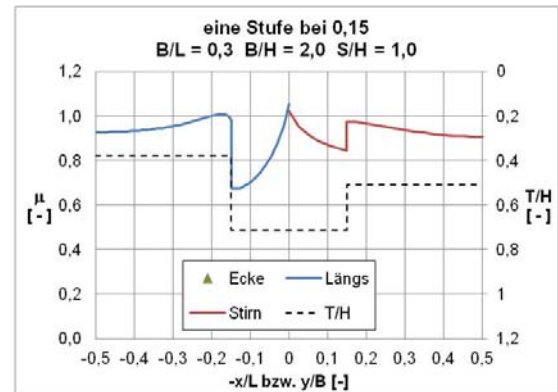
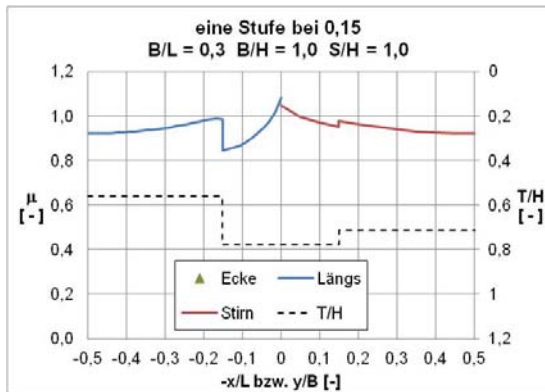
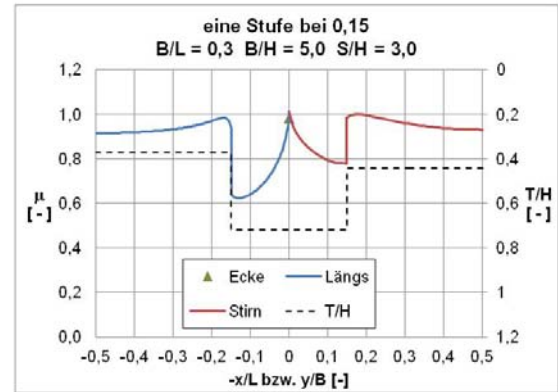
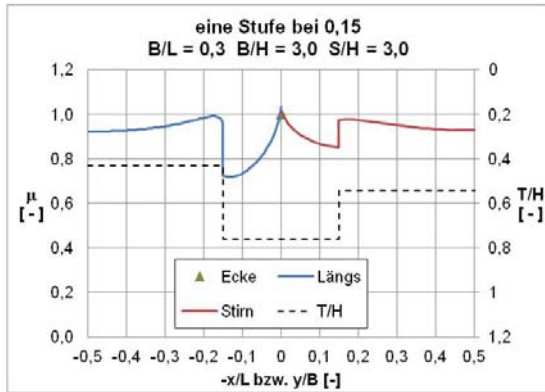
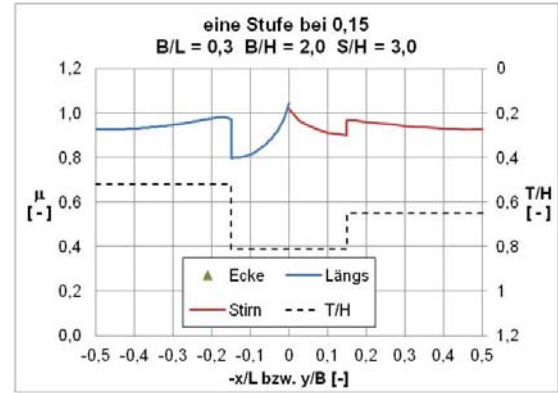
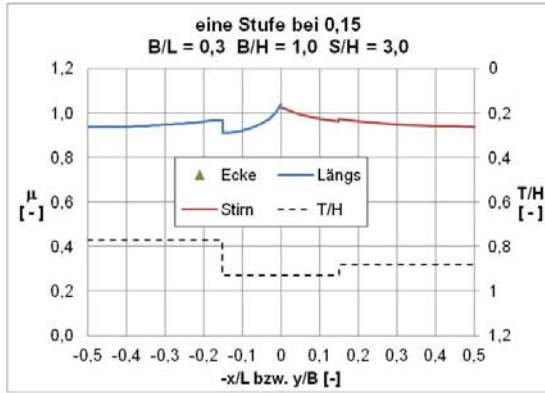


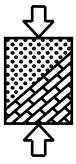
Anhang H8: Eine Stufe je Seite bei $x/L = 0,15 = y/B$ und $B/L = 0,5$





Anhang H9: Eine Stufe je Seite bei $x/L = 0,15 = y/B$ und $B/L = 0,3$





Anhang I

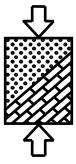
Format der Input- und Output-Dateien des FEFLOW®-Moduls

Anhang I1: Input-Datei für Simulationen mit geraden Verbauwänden

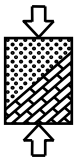
- **ID**: ID der Variante, max. 255 Zeichen
- **B/H**: Verhältnis B/H, Gleitkommazahl
- **S/H**: Verhältnis S/H, Gleitkommazahl
- **B/L**: Verhältnis B/L, Gleitkommazahl
- **gamma' [kN/m³]**: Wichte des Bodens unter Auftrieb, Gleitkommazahl
- **gamma_H**: Teilsicherheitsbeiwert für die Strömungskraft, Gleitkommazahl
- **gamma_G_stb**: Teilsicherheitsbeiwert für die Gewichtskraft, Gleitkommazahl
- **TL_Schaetz [cm]**: Schätzwert für TL, Ganzzahl
- **TS_Schaetz [cm]**: Schätzwert für TS, Ganzzahl
- **TE_Schaetz [cm]**: Schätzwert für TE, Ganzzahl
- **Kxx_1 [m/d]**: Durchlässigkeitsbeiwert Schicht 1 in x-Richtung, Gleitkommazahl
- **Kyy_1 [m/d]**: Durchlässigkeitsbeiwert Schicht 1 in y-Richtung, Gleitkommazahl, darf leer sein
- **Kzz_1 [m/d]**: Durchlässigkeitsbeiwert Schicht 1 in z-Richtung, Gleitkommazahl, darf leer sein
- **Kxx_2 [m/d]**: Durchlässigkeitsbeiwert Schicht 2 in x-Richtung, Gleitkommazahl, darf leer sein
- **Kyy_2 [m/d]**: Durchlässigkeitsbeiwert Schicht 2 in y-Richtung, Gleitkommazahl, darf leer sein
- **Kzz_2 [m/d]**: Durchlässigkeitsbeiwert Schicht 2 in z-Richtung, Gleitkommazahl, darf leer sein
- **h [m]**: Lage der Schichtgrenze Schicht 1 – Schicht 2, Gleitkommazahl, darf leer sein
- **Kxx_3 [m/d]**: Durchlässigkeitsbeiwert Schicht 3 in x-Richtung, Gleitkommazahl
- **Kyy_3 [m/d]**: Durchlässigkeitsbeiwert Schicht 3 in y-Richtung, Gleitkommazahl, darf leer sein
- **Kzz_3 [m/d]**: Durchlässigkeitsbeiwert Schicht 3 in z-Richtung, Gleitkommazahl, darf leer sein
- **Abstand max. T - S [cm]**: Abstand der maximalen Einbindetiefe T und S
- **Erg.dateien?**: Sollen Ergebnisdateien erstellt werden? 0 (Nein) oder 1 (Ja)

Anhang I2: Input-Datei für Simulationen mit abgetreppten Verbauwänden

- **ID**: ID der Variante; max. 255 Zeichen
- **B/H**: Verhältnis B/H; Gleitkommazahl
- **S/H**: Verhältnis S/H; Gleitkommazahl
- **B/L**: Verhältnis B/L; Gleitkommazahl
- **gamma' [kN/m³]**: Wichte des Bodens unter Auftrieb; Gleitkommazahl
- **gamma_H**: Teilsicherheitsbeiwert für die Strömungskraft; Gleitkommazahl
- **gamma_G_stb**: Teilsicherheitsbeiwert für die Gewichtskraft; Gleitkommazahl

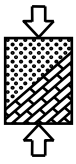


- **TL_0 [cm]**: Einbindetiefe TL_0; Ganzzahl
- **TL_1 [cm]**: Einbindetiefe TL_1; Ganzzahl, darf leer sein
- **TL_2 [cm]**: Einbindetiefe TL_2; Ganzzahl, darf leer sein
- **TL_3 [cm]**: Einbindetiefe TL_3; Ganzzahl, darf leer sein
- **TL_4 [cm]**: Einbindetiefe TL_4; Ganzzahl, darf leer sein
- **TS_0 [cm]**: Einbindetiefe TS_0; Ganzzahl
- **TS_1 [cm]**: Einbindetiefe TS_1; Ganzzahl, darf leer sein
- **TS_2 [cm]**: Einbindetiefe TS_2; Ganzzahl, darf leer sein
- **TS_3 [cm]**: Einbindetiefe TS_3; Ganzzahl, darf leer sein
- **TE [cm]**: Einbindetiefe TE; Ganzzahl
- **Kxx_1 [m/d]**: Durchlässigkeitsbeiwert Schicht 1 in x-Richtung; Gleitkommazahl
- **Kyy_1 [m/d]**: Durchlässigkeitsbeiwert Schicht 1 in y-Richtung; Gleitkommazahl, darf leer sein
- **Kzz_1 [m/d]**: Durchlässigkeitsbeiwert Schicht 1 in z-Richtung; Gleitkommazahl, darf leer sein
- **Kxx_2 [m/d]**: Durchlässigkeitsbeiwert Schicht 2 in x-Richtung; Gleitkommazahl, darf leer sein
- **Kyy_2 [m/d]**: Durchlässigkeitsbeiwert Schicht 2 in y-Richtung; Gleitkommazahl, darf leer sein
- **Kzz_2 [m/d]**: Durchlässigkeitsbeiwert Schicht 2 in z-Richtung; Gleitkommazahl, darf leer sein
- **h [m]**: Lage der Schichtgrenze Schicht 1 – Schicht 2; Gleitkommazahl; darf leer sein
- **Kxx_3 [m/d]**: Durchlässigkeitsbeiwert Schicht 3 in x-Richtung; Gleitkommazahl
- **Kyy_3 [m/d]**: Durchlässigkeitsbeiwert Schicht 3 in y-Richtung; Gleitkommazahl, darf leer sein
- **Kzz_3 [m/d]**: Durchlässigkeitsbeiwert Schicht 3 in z-Richtung; Gleitkommazahl, darf leer sein
- **Iteration?**: Soll die Lage der Stufen iterativ ermittelt werden? 0 (Nein) oder 1 (Ja)
- **mu_Stufe**: Sicherheitskriterium für Einfügen einer Stufe; Gleitkommazahl; darf leer sein
- **mu_Pruefung**: Sicherheitskriterium für Prüfung des Systems; Gleitkommazahl; darf leer sein
- **mu_L_Soll**: Sollwert für mu_L, damit Sicherheit gegeben; Gleitkommazahl; darf leer sein
- **mu_B_Soll**: Sollwert für mu_B, damit Sicherheit gegeben; Gleitkommazahl; darf leer sein
- **mu_E_Soll**: Sollwert für mu_E, damit Sicherheit gegeben; Gleitkommazahl; darf leer sein
- **xL_1 [m]**: Lage der Stufe xL_1; Gleitkommazahl; wird auf halbe Meter gerundet; darf leer sein
- **xL_2 [m]**: Lage der Stufe xL_2; Gleitkommazahl; wird auf halbe Meter gerundet; darf leer sein
- **xL_3 [m]**: Lage der Stufe xL_3; Gleitkommazahl; wird auf halbe Meter gerundet; darf leer sein
- **xL_4 [m]**: Lage der Stufe xL_4; Gleitkommazahl; wird auf halbe Meter gerundet; darf leer sein
- **xL_E [m]**: Lage der Stufe xL_E; Gleitkommazahl; wird auf halbe Meter gerundet; darf leer sein
- **xS_1 [m]**: Lage der Stufe xS_1; Gleitkommazahl; wird auf halbe Meter gerundet; darf leer sein
- **xS_2 [m]**: Lage der Stufe xS_2; Gleitkommazahl; wird auf halbe Meter gerundet; darf leer sein
- **xS_3 [m]**: Lage der Stufe xS_3; Gleitkommazahl; wird auf halbe Meter gerundet; darf leer sein
- **xS_E [m]**: Lage der Stufe xS_E; Gleitkommazahl; wird auf halbe Meter gerundet; darf leer sein
- **Erg.datei?**: Soll eine Ergebnisdatei erstellt werden? 0 (Nein) oder 1 (Ja)

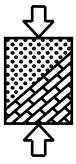


Anhang I2: Output-Datei für Simulationen mit geraden Verbauwänden

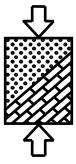
- **ID:** ID der Variante
- **Version:** Programmversion, mit der die Variante gerechnet wurde
- **Rechnername:** Name des Rechners, auf dem die Variante gerechnet wurde
- **Fall L:** Nachweisfall für die Längsseite
- **x L1:** x-Koordinate des Knotens L1
- **y L1:** y-Koordinate des Knotens L1
- **z L1:** z-Koordinate des Knotens L1
- **Pot. 1 (L):** Potential 1 (Längsseite) = Potential an Knoten L1
- **x L2** oder **x L2a:** x-Koordinate des Knotens L2 oder L2a
- **y L2** oder **y L2a:** y-Koordinate des Knotens L2 oder L2a
- **z L2** oder **z L2a:** z-Koordinate des Knotens L2 oder L2a
- **Pot. L2** oder **Pot. L2a:** Potential an Knoten L2 oder L2a
- **x L2b:** x-Koordinate des Knotens L2b oder leer
- **y L2b:** y-Koordinate des Knotens L2b oder leer
- **z L2b:** z-Koordinate des Knotens L2b oder leer
- **Pot. L2b:** Potential an Knoten L2b oder leer
- **Pot. 2 (L):** Potential 2 (Längsseite), bei Bedarf interpoliert zwischen Nachweisknoten L2a und L2b
- **deltah (L):** delta_h für die Längsseite
- **mu (L):** Ausnutzungsgrad für die Längsseite bei Einbindetiefe TL
- **TL/H:** Einbindetiefe für die Längsseite
- **Anz. It. TL/H:** Gesamtanzahl der Iterationen bis zur Ermittlung von TL
- **mu (B) (TL):** Ausnutzungsgrad für die Stirnseite bei Einbindetiefe TL
- **mu (E) (TL):** Ausnutzungsgrad für die Ecke bei Einbindetiefe TL
- **Fall B:** Nachweisfall für die Stirnseite
- **x B1:** x-Koordinate des Knotens B1
- **y B1:** y-Koordinate des Knotens B1
- **z B1:** z-Koordinate des Knotens B1
- **Pot. 1 (B):** Potential 1 (Stirnseite) = Potential an Knoten B1
- **x B2** oder **x B2a:** x-Koordinate des Knotens B2 oder B2a
- **y B2** oder **y B2a:** y-Koordinate des Knotens B2 oder B2a
- **z B2** oder **z B2a:** z-Koordinate des Knotens B2 oder B2a
- **Pot. B2** oder **Pot. B2a:** Potential an Knoten B2 oder B2a
- **x B2b:** x-Koordinate des Knotens B2b oder leer
- **y B2b:** y-Koordinate des Knotens B2b oder leer
- **z B2b:** z-Koordinate des Knotens B2b oder leer



- **Pot. B2b:** Potential an Knoten B2b oder leer
- **Pot. 2 (B):** Potential 2 (Stirnseite), bei Bedarf interpoliert zwischen Nachweisknoten B2a und B2b
- **deltah (B):** delta_h für die Stirnseite
- **mu (B):** Ausnutzungsgrad für die Stirnseite bei Einbindetiefe TS
- **TS/H:** Einbindetiefe für die Stirnseite
- **Anz. It. TS/H:** Gesamtanzahl der Iterationen bis zur Ermittlung von TS
- **mu (L) (TS):** Ausnutzungsgrad für die Längsseite bei Einbindetiefe TS
- **mu (E) (TS):** Ausnutzungsgrad für die Ecke bei Einbindetiefe TS
- **Fall Ecke:** Nachweisfall für die Ecke
- **x E1:** x-Koordinate des Knotens E1
- **y E1:** y-Koordinate des Knotens E1
- **z E1:** z-Koordinate des Knotens E1
- **Pot. 1 (E):** Potential 1 (Ecke) = Potential an Knoten E1
- **x E2 oder x E2a:** x-Koordinate des Knotens E2 oder E2a
- **y E2 oder y E2a:** y-Koordinate des Knotens E2 oder E2a
- **z E2 oder z E2a:** z-Koordinate des Knotens E2 oder E2a
- **Pot. E2 oder Pot. E2a:** Potential an Knoten E2 oder E2a
- **x E2b:** x-Koordinate des Knotens E2b oder leer
- **y E2b:** y-Koordinate des Knotens E2b oder leer
- **z E2b:** z-Koordinate des Knotens E2b oder leer
- **Pot. E2b:** Potential an Knoten E2b oder leer
- **Pot. 2 (E):** Potential 2 (Ecke), bei Bedarf interpoliert zwischen Nachweisknoten E2a und E2b
- **x E3 oder x E3a:** x-Koordinate des Knotens E3 oder E3a
- **y E3 oder y E3a:** y-Koordinate des Knotens E3 oder E3a
- **z E3 oder z E3a:** z-Koordinate des Knotens E3 oder E3a
- **Pot. E3 oder Pot. E3a:** Potential an Knoten E3 oder E3a
- **x E3b:** x-Koordinate des Knotens E3b oder leer
- **y E3b:** y-Koordinate des Knotens E3b oder leer
- **z E3b:** z-Koordinate des Knotens E3b oder leer
- **Pot. E3b:** Potential an Knoten E3b oder leer
- **Pot. 3 (E):** Potential 3 (Ecke), bei Bedarf interpoliert zwischen Nachweisknoten E3a und E3b
- **x E4:** x-Koordinate des Knotens E4 oder leer
- **y E4:** y-Koordinate des Knotens E4 oder leer
- **z E4:** z-Koordinate des Knotens E4 oder leer
- **Pot. 4 (E):** Potential 4 (Ecke) = Potential an Knoten E4 oder leer
- **deltah (E):** delta_h für die Ecke
- **mu (E):** Ausnutzungsgrad für die Ecke bei Einbindetiefe TE
- **TE/H:** Einbindetiefe für die Ecke

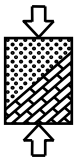


- **Anz. It. TE/H:** Gesamtanzahl der Iterationen bis zur Ermittlung von TE
- **mu L (TE):** Ausnutzungsgrad für die Längsseite bei Einbindetiefe TE
- **mu B (TE):** Ausnutzungsgrad für die Stirnseite bei Einbindetiefe TE
- **Laufzeit [s]:** zur Ermittlung von TL, TS und TE benötigte Laufzeit
- **x M1:** x-Koordinate des Knotens M1
- **y M1:** y-Koordinate des Knotens M1
- **z M1:** z-Koordinate des Knotens M1
- **x M2:** x-Koordinate des Knotens M2
- **y M2:** y-Koordinate des Knotens M2
- **z M2:** z-Koordinate des Knotens M2
- **x M3:** x-Koordinate des Knotens M3
- **y M3:** y-Koordinate des Knotens M3
- **z M3:** z-Koordinate des Knotens M3
- **x M4:** x-Koordinate des Knotens M4
- **y M4:** y-Koordinate des Knotens M4
- **z M4:** z-Koordinate des Knotens M4
- **x A1:** x-Koordinate des Knotens A1
- **y A1:** y-Koordinate des Knotens A1
- **z A1:** z-Koordinate des Knotens A1
- **x A2:** x-Koordinate des Knotens A2
- **y A2:** y-Koordinate des Knotens A2
- **z A2:** z-Koordinate des Knotens A2
- **x A3:** x-Koordinate des Knotens A3
- **y A3:** y-Koordinate des Knotens A3
- **z A3:** z-Koordinate des Knotens A3
- **x A4:** x-Koordinate des Knotens A4
- **y A4:** y-Koordinate des Knotens A4
- **z A4:** z-Koordinate des Knotens A4
- **Kommentar:** enthält bei Bedarf einen Kommentar, sonst leer



Anhang I2: Output-Datei für Simulationen mit abgetreppten Verbauwänden

- **ID:** ID der Variante
- **Version:** Programmversion, mit der die Variante gerechnet wurde
- **Rechnername:** Name des Rechners, auf dem die Variante gerechnet wurde
- **TL_0 [cm]:** Einbindetiefe TL_0
- **TL_1 [cm]:** Einbindetiefe TL_1
- **TL_2 [cm]:** Einbindetiefe TL_2
- **TL_3 [cm]:** Einbindetiefe TL_3
- **TL_4 [cm]:** Einbindetiefe TL_4
- **TS_0 [cm]:** Einbindetiefe TS_0
- **TS_1 [cm]:** Einbindetiefe TS_1
- **TS_2 [cm]:** Einbindetiefe TS_2
- **TS_3 [cm]:** Einbindetiefe TS_3
- **TE [cm]:** Einbindetiefe TE
- **xL_1 [m]:** Lage der Stufe xL_1
- **xL_2 [m]:** Lage der Stufe xL_2
- **xL_3 [m]:** Lage der Stufe xL_3
- **xL_4 [m]:** Lage der Stufe xL_4
- **xL_E [m]:** Lage der Stufe xL_E
- **xS_1 [m]:** Lage der Stufe xS_1
- **xS_2 [m]:** Lage der Stufe xS_2
- **xS_3 [m]:** Lage der Stufe xS_3
- **xS_E [m]:** Lage der Stufe xS_E
- **vorgegebene Anzahl Stufen L:** vorgegebene Anzahl der Stufen auf der Längsseite
- **Anzahl Stufen L:** Anzahl der auf der Längsseite vorhandenen Stufen
- **vorgegebene Anzahl Stufen B:** vorgegebene Anzahl der Stufen auf der Stirnseite
- **Anzahl Stufen B:** Anzahl der auf der Stirnseite vorhandenen Stufen
- **Anzahl Iterationen:** „-“ oder Anzahl der zur Ermittlung der Lage der Stufen benötigten Iterationen
- **Laufzeit [s]:** Laufzeit
- **Kommentar:** enthält bei Bedarf einen Kommentar, sonst leer
- **x-Koord.; y-Koord.; z-Koord.; mu; Seite**



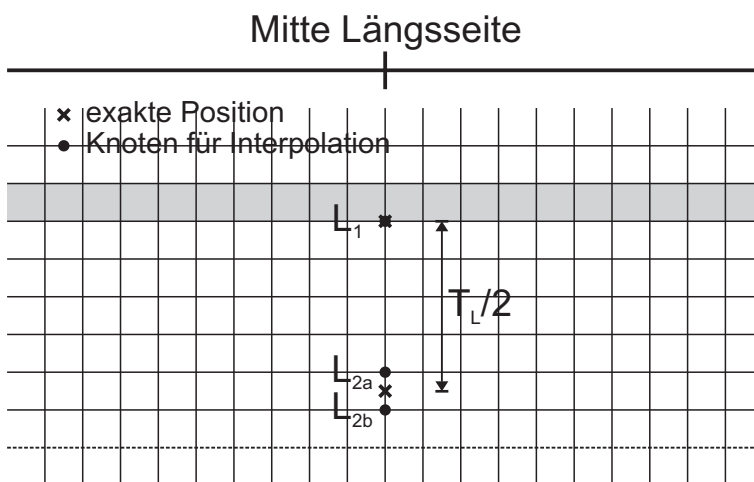
Anhang J

Interpolation für die Ermittlung der Potentiale

1) Nachweis in der Mitte der Längsseite

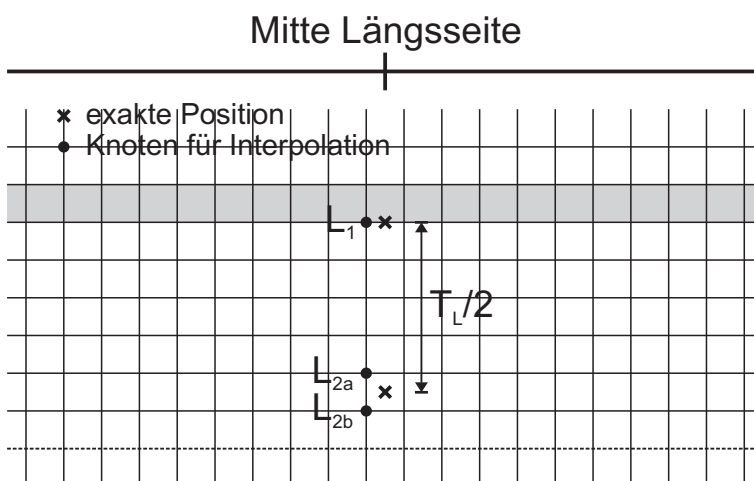
1.1) $T \leq B$

- a) Mitte der Längsseite fällt mit einer Knotenreihe zusammen
($L/2 = n \cdot 0,5$ mit $n \in \mathbb{N}$)

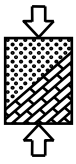


→ L_1 vorhanden, L_2 durch Interpolation zwischen L_{2a} und L_{2b}

- b) Mitte der Längsseite zwischen zwei Knotenreihen
($L/2 = n \cdot 0,25$ und $L/2 \neq m \cdot 0,5$ mit $n, m \in \mathbb{N}$)

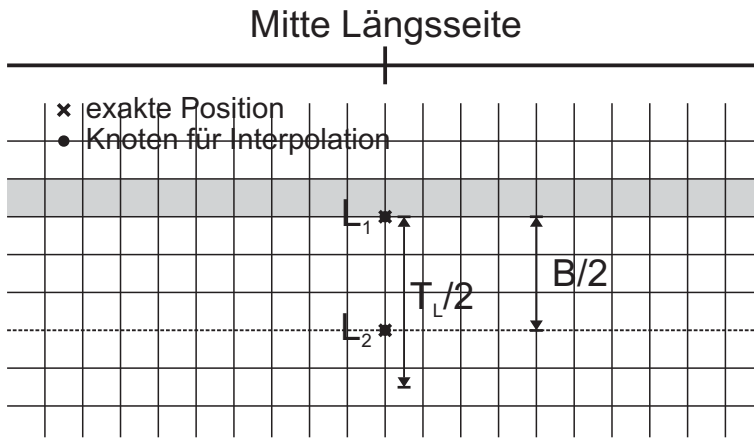


→ L_1 ist nächster Knoten links oder rechts Mitte (gleicher Wert am Knoten links und rechts der Mitte aufgrund der Symmetrie), L_2 durch Interpolation zwischen L_{2a} und L_{2b} in gleicher Entfernung von der Stirnseite wie L_1

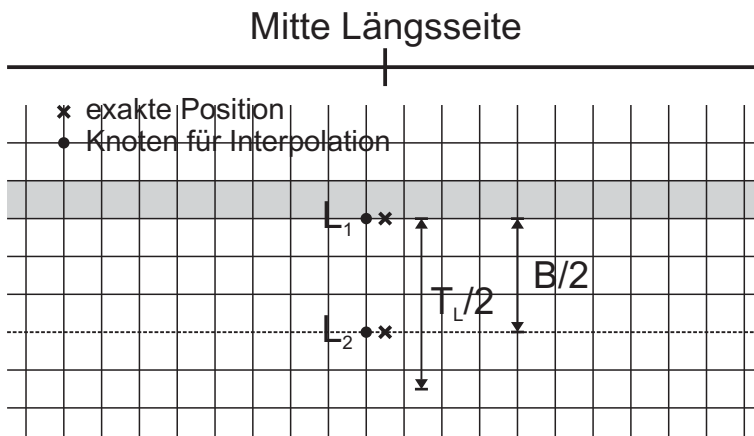


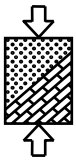
1.2) $T > B$

- a) Mitte der Längsseite fällt mit einer Knotenreihe zusammen
($L/2 = n \cdot 0,5$ mit $n \in \mathbb{N}$)



- b) Mitte der Längsseite zwischen zwei Knotenreihen
($L/2 = n \cdot 0,25$ und $L/2 \neq m \cdot 0,5$ mit $n, m \in \mathbb{N}$)

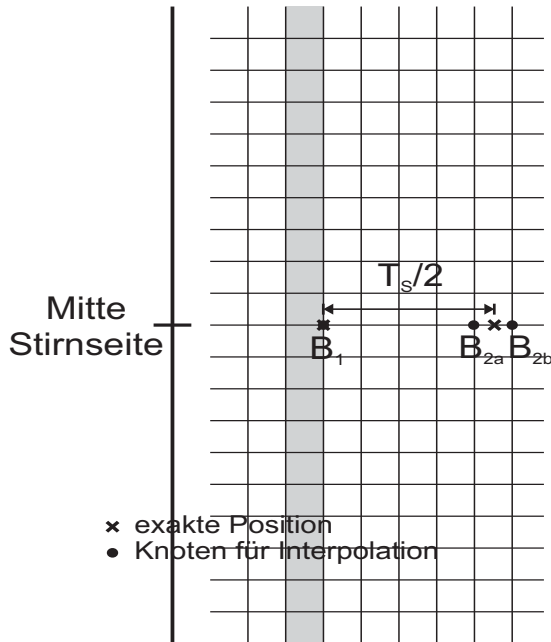




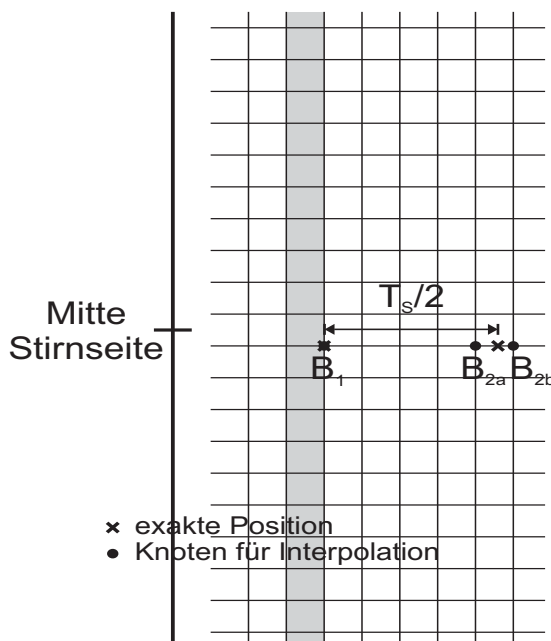
2) Nachweis in der Mitte der Stirnseite

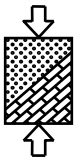
2.1) $T \leq B$

- a) Mitte der Stirnseite fällt mit einer Knotenreihe zusammen
($B/2 = n \cdot 0,5$ mit $n \in \mathbb{N}$)



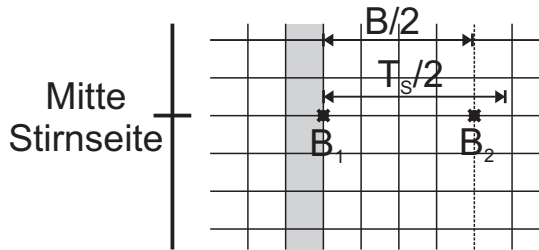
- b) Mitte der Stirnseite zwischen zwei Knotenreihen
($L/2 = n \cdot 0,25$ und $L/2 \neq m \cdot 0,5$ mit $n, m \in \mathbb{N}$)





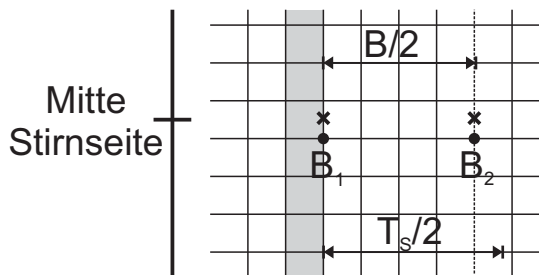
2.2) $T > B$

- a) Mitte der Stirnseite fällt mit einer Knotenreihe zusammen
($B/2 = n \cdot 0,5$ mit $n \in \mathbb{N}$)

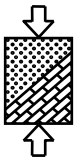


- × exakte Position
- Knoten für Interpolation

- b) Mitte der Stirnseite zwischen zwei Knotenreihen
($L/2 = n \cdot 0,25$ und $L/2 \neq m \cdot 0,5$ mit $n, m \in \mathbb{N}$)

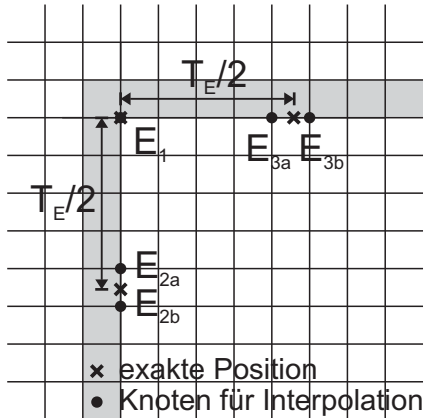


- × exakte Position
- Knoten für Interpolation



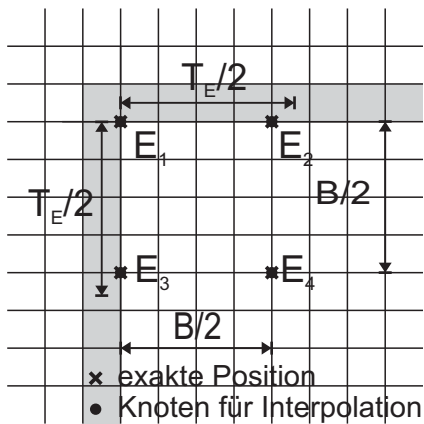
3) Nachweis in der Ecke

3.1) $T \leq B$



3.2) $T > B$

- a) Mitte der Stirnseite fällt mit einer Knotenreihe zusammen
 ($B/2 = n \cdot 0,5$ mit $n \in \mathbb{N}$)



- b) Mitte der Stirnseite zwischen zwei Knotenreihen
 ($L/2 = n \cdot 0,25$ und $L/2 \neq m \cdot 0,5$ mit $n, m \in \mathbb{N}$)

