

MITTEILUNGEN

**Institut für Geotechnik (IGtH)
Leibniz Universität Hannover**

Heft 72

**Untersuchungen zur inneren Erosionsstabilität
nichtbindiger Böden**

von

Marx Ferdinand Ahlinhan

Hannover 2011

INHALT

SYMBOLVERZEICHNIS	V
1 EINFÜHRUNG	1
1.1 Allgemeines.....	1
1.2 Motivation.....	3
1.3 Problemstellung.....	4
1.4 Zielsetzung.....	6
1.5 Lösungsweg.....	7
2 STAND DES WISSENS	9
2.1 Einführung.....	9
2.2 Untersuchungen zur rückschreitenden Erosion.....	9
2.3 Untersuchungen zum kritischen Durchströmungsgradienten von stabilen Erdstoffen.....	21
2.3.1 Allgemeines.....	21
2.3.2 Vertikal nach oben gerichtete Durchströmung.....	23
2.3.3 Horizontal gerichtete Strömung.....	30
2.3.4 Zusammenfassung.....	31
2.4 Untersuchungen zur Erosionsstabilität von instabilen Erdstoffen.....	33
2.4.1 Allgemeines.....	33
2.4.2 Geometrische Instabilitätskriterien.....	34
2.4.3 Hydraulische Kriterien.....	49
2.4.3.1 Durchströmung in horizontaler Richtung.....	49
2.4.3.2 Durchströmung in vertikaler Richtung.....	53
2.4.3.3 Durchströmung in allgemeiner Richtung.....	61
2.5 Vergleich der Verfahren.....	62
2.5.1 Vergleich der geometrischen Kriterien an Referenzkörnungslinien.....	62
2.5.2 Vergleich der hydraulischen Kriterien.....	66
2.6 Zusammenfassung.....	68

3	EIGENE EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN	71
3.1	Experimentelle Untersuchungen zur Erosion infolge vertikaler Durchströmung	71
3.1.1	Allgemeines	71
3.1.2	Versuchserdstoffe	73
3.1.2.1	Potentiell stabile enggestufte Erdstoffe	73
3.1.2.2	Potentiell instabile Erdstoffe	74
3.1.3	Versuchseinrichtung	75
3.1.4	Probeneinbau	77
3.1.5	Versuchsdurchführung und Bestimmung des kritischen hydraulischen vertikalen Gradienten	78
3.1.5.1	Versuchsergebnisse für potentiell stabile enggestufte Erdstoffe	80
3.1.5.2	Versuchsergebnisse für potentiell instabile Erdstoffe	86
3.1.6	Bewertung der Versuchsergebnisse	90
3.1.6.1	Potentiell stabile Erdstoffe	90
3.1.6.2	Potentiell instabile Erdstoffe	91
3.2	Experimentelle Untersuchungen zur Erosion infolge horizontaler Durchströmung	93
3.2.1	Allgemeines	93
3.2.2	Versuchseinrichtung	93
3.2.3	Probeneinbau und Versuchsdurchführung	96
3.2.4	Ergebnisse und Bestimmung des kritischen hydraulischen horizontalen Gradienten	96
3.3	Triaxialversuche an den Erdstoffen A1 und E2	102
3.4	Zusammenfassende Bewertung der Versuchsergebnisse	104
4	ENTWICKLUNG EINES EIGENEN KOMBINIERTEN KRITERIUMS.....	107
4.1	Allgemeines	107
4.2	Eigener Vorschlag eines kombinierten geometrischen Kriteriums	107
4.2.1	Einführung des Instabilitätsindex $(d_{15f}/d_{85h})_{mod}$	108
4.2.2	Anwendung des kombinierten geometrischen Kriteriums auf Referenzkörnungslinien	110
4.3	Bewertung der Versuchsergebnisse beim Einbeziehen des Instabilitätsindex $(d_{15f}/d_{85h})_{mod}$ und eigener Vorschlag	114
4.4	Empfehlung eines kombinierten geometrisch und hydraulisch Kriteriums	120

5	NUMERISCHE UNTERSUCHUNG DES SPANNUNGS- REDUKTIONS-KONZEPTE	123
5.1	Allgemeines	123
5.2	Methode der Diskreten Elemente	124
5.2.1	Allgemeines	124
5.2.2	Particle Flow Code	124
5.2.2.1	Kontaktmodelle	125
5.2.2.2	Kraft-Verschiebungs-Gesetz	126
5.2.2.3	Bewegungsgesetz.....	127
5.2.3	Grundgleichungen der Spannung	128
5.3	Eigene numerische Untersuchungen zum Spannungs-Reduktions- Konzept	129
5.3.1	Allgemeines	129
5.3.2	Modellbildung	130
5.3.2.1	Geometrie des numerischen Modells und Korngrößenverteilung	131
5.3.2.2	Bestimmung des Partikelsteifigkeitsverhältnisses	132
5.3.2.3	Generierung des Partikelhaufwerks	136
5.3.3	Ermittlung der Porosität im Partikelhaufwerk	139
5.3.4	Ausgangszustand	141
5.3.5	Kalibrierung der Partikelparameter	143
5.3.5.1	Allgemeines	143
5.3.5.2	Numerische Triaxialversuche	143
5.3.5.3	Ergebnisse der Modellkalibrierung	145
5.3.6	Parameterstudie zur Bestimmung des Reduktionsfaktors	149
5.3.6.1	Allgemeines	149
5.3.6.2	Sensitivität des numerischen Modells hinsichtlich der Partikelanzahl	150
5.3.6.3	Einfluss der Körnungslinie und der Lagerungsdichte auf den Reduktionsfaktor α	152
5.4	Vergleich und Bewertung der Ergebnisse	155
5.4.1	Validierung des numerischen Ansatzes zur Ermittlung des Reduktionsfaktors	155
5.4.1.1	Potentiell stabile Erdstoffe.....	155
5.4.1.2	Potentiell instabile Erdstoffe	156
5.4.2	Zusammenfassende Bewertung	158
6	ZUSAMMENFASSUNG	161
7	AUSBLICK	164
8	LITERATURVERZEICHNIS	165

ANHANG A	179
ANHANG B	181
ANHANG C	185