



MITTEILUNGEN
HEFT 28

**Bodenzustandsindex und
zustandsabhängige Kennwerte für
gemischtkörnige Böden**

**Soil state index and state
dependent soil parameters for
coarse-fine mixtures**

von
Carsten Lauer

DRESDEN 2021

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis	VI
1 Einführung - Gegenstand der Arbeit	1
2 Bautechnische Relevanz gemischtkörniger Böden	8
2.1 Einleitung	8
2.2 Flussdeiche	9
2.2.1 Grundlagen - Entstehungsgeschichte	9
2.2.2 Deichaufbau und -baustoffe	12
2.3 Seedeiche	15
2.3.1 Grundlagen, Entstehungsgeschichte	15
2.3.2 Verwendete Bodenarten in Seedeichen	18
2.4 Dämme im Verkehrswegebau	22
2.4.1 Grundlagen	22
2.4.2 Verwendete Bodenarten in Verkehrsdämmen	25
2.5 Bodenarten in Bergbaufolgelandschaften	27
3 Klassifizierung und Grenzen der Zustandsbeschreibung	32
3.1 Klassifizierung von Böden	33
3.1.1 Grundlagen	33
3.1.2 Klassifizierungssystem im Erdbau	36
3.2 Zustandsbeschreibung grobkörniger Böden	38
3.2.1 Grundlagen	38
3.2.2 Probleme bei der experimentellen Bestimmung des Zustands	39
3.3 Beschreibung des Zustands feinkörniger Böden	42
3.3.1 Grundlagen	42
3.3.2 Probleme bei der experimentellen Bestimmung der Konsistenzzahl	43
3.3.3 Kopplung von Festigkeitskennwerten an die Zustandsbeschreibung	45
3.3.4 Einfluss des Überkornanteils auf die Konsistenz von Böden	48

3.4	Grenzen der beschriebenen Verfahren zur Zustandsbeschreibung	50
3.5	Beschreibung des Zustands gemischtkörniger Böden	51
3.5.1	Grundlagen	51
3.5.2	Zustandsbeschreibung auf Grundlage des Proctorversuchs	53
3.5.3	Modifiziertes Klassifizierungssystem für gemischtkörnige Böden	53
3.5.4	Zustandsbeschreibung gemischtkörniger Böden mit den Grenzporozahlen	59
3.6	Bedeutung der Zustandsbeschreibung im Erdbau	66
3.6.1	Grobkörnige Böden	66
3.6.2	Feinkörnige Böden Proctorversuch	67
3.6.3	Gemischtkörnige Böden	69
4	Näherungsverfahren für fein- und grobkörnige Böden	74
4.1	Einleitung	74
4.2	Klassifizierungskennwerte	75
4.2.1	Korndichte und Glühverlust	75
4.2.2	Fließ- und Ausrollgrenze mineralischer Böden	75
4.2.3	Schrumpfgrenze	78
4.2.4	Kornrauhigkeit	79
4.3	Undrainierte Kohäsion feinkörniger Böden	80
4.3.1	Näherungsweise Angabe der undrainierten Kohäsion gestörter Böden	80
4.4	Einfluss des Überkorns auf die Beschreibung feinkörniger Böden	84
4.4.1	Grundlagen	84
4.4.2	Neues Konzept zur Überkornkorrektur	87
4.4.3	Überprüfung des neuen Konzepts	90
4.5	Näherungsweise Angabe von Verdichtungskennwerten	91
4.5.1	Grundlagen	91
4.5.2	Verdichtungskennwerte grobkörniger Böden	91
4.5.3	Verdichtungskennwerte feinkörniger Böden	102
4.5.4	Verdichtungskennwerte gemischtkörnige Böden	104
4.5.5	Verdichtungskennwerte in Abhängigkeit von der Verdichtungsenergie	107
4.5.6	Überprüfung der Korrelationen für Verdichtungskennwerten	111
4.6	Näherungsweise Angabe der Kennwerte der Zusammendrückbarkeit	113
4.6.1	Grundlagen	113
4.6.2	Näherungen für den Referenzsteifemodul grobkörniger Böden	116

4.6.3	Näherungen für Kennwerte der Zusammendrückbarkeit feinkörniger Böden	121
4.7	Näherungsweise Angabe der Scherfestigkeit grobkörniger Böden .	126
4.7.1	Einleitung	126
4.7.2	Korrelationen zur näherungsweisen Angabe des Reibungswinkels	127
4.7.3	Überprüfung des vorgeschlagenen Verfahrens	131
4.8	Korrelationen für die drainierte Scherfestigkeit feinkörniger Böden	133
4.8.1	Bestehende Ansätze zur näherungsweisen Angabe der Scherfestigkeit feinkörniger Böden	134
4.8.2	Neue Ansätze zur näherungsweise Angabe der Scherfestigkeit feinkörniger Böden	135
4.8.3	Kontrolle der Korrelationen der Scherfestigkeit feinkörniger Böden	135
4.9	Näherungen für den Wasserdurchlässigkeitsbeiwert grobkörniger Böden	137
4.9.1	Bestehende Ansätze	137
4.9.2	Eigene Näherungen für den zustandsabhängigen Wasserdurchlässigkeitsbeiwert	138
4.9.3	Überprüfung der Näherung	139
4.10	Näherungen für den Wasserdurchlässigkeitsbeiwert feinkörniger Böden	139
4.10.1	Einführung	139
4.10.2	Bestehende Korrelationen für aufbereitete Böden	140
4.10.3	Neue Ansätze für aufbereitete feinkörnige Böden	143
4.10.4	Verdichtete feinkörnige Böden	144
5	Allgemeines Konzept zustandsabhängiger Kennwerte gemischtkörniger Böden	147
5.1	Grundlagen	147
5.2	Aufteilung des gemischtkörnigen Bodens in Grob- und Feinkorn .	149
5.3	Festlegung der Referenzzustände für Grob- und Feinkorn	152
5.4	Bestimmung des Grenzfeinkornanteils	152
5.5	Zustandsbeschreibung gemischtkörniger Böden	157
5.6	Zusammendrückbarkeit in Abhängigkeit vom Bodenzustandsindex	160
5.7	Scherfestigkeit in Abhängigkeit vom Bodenzustandsindex	163
5.8	Wasserdurchlässigkeit in Abhängigkeit vom Bodenzustandsindex .	167
5.9	Lockerste Lagerung gemischtkörniger Böden	169

6	Modellvalidierung anhand eigener und publizierter Versuchsergebnisse	173
6.1	Vorstellung der untersuchten Böden und des Laborprogramms . . .	175
6.1.1	Ausgangsböden und Mischungen	175
6.1.2	Versuchsprogramm	178
6.2	Zustandsbeschreibung gemischtkörniger Böden	180
6.2.1	Validierung anhand experimenteller Ergebnisse	180
6.2.2	Überprüfung mit publizierten Daten	185
6.3	Zusammendrückbarkeit	192
6.3.1	Validierung anhand eigener Kompressionsversuche	192
6.3.2	Validierung mit publizierten Daten	195
6.4	Scherfestigkeit	198
6.4.1	Validierung anhand eigener direkter Scherversuche	199
6.4.2	Überprüfung mit publizierten Daten	203
6.5	Wasserdurchlässigkeit	208
6.5.1	Überprüfung anhand eigener Wasserdurchlässigkeitsversuche	208
6.5.2	Überprüfung mit publizierten Daten	211
6.6	Lockerste Lagerung gemischtkörniger Böden	214
6.6.1	Verdichtungsenergie und Porenzahlen feinkörniger Böden	214
6.6.2	Verdichtungsenergie und Porenzahlen grobkörniger Böden	216
6.6.3	Verdichtungsenergie und Porenzahlen gemischtkörniger Böden	218
6.7	Anwendungsbeispiele	221
6.7.1	Beispiel 1: Mineralische Dichtung 1	221
6.7.2	Beispiel 2: Mineralische Dichtung 2	222
6.7.3	Beispiel 3: Dammbaumaterial	224
6.7.4	Beispiel 4: Tunnelausbruchmaterial	226
6.7.5	Beispiel 5: Leicht plastischer Ton, Güteklasse 1-2	227
6.7.6	Beispiel 6: Lehmdichtung, Dammbauwerk	228
7	Zusammenfassung und Ausblick	230
7.1	Zusammenfassung	230
7.2	Ausblick	233
	Summary	238
	Literaturverzeichnis	240
A	Klassifizierung und Grenzen der Zustandsbeschreibung	274
A.1	Näherungsweise Angabe der Parameter a und b	274

A.2	Zustandsbeschreibung im Erdbau: grobkörnige Böden	275
A.3	Feinkörnige Böden Proctorversuch	276
B	Näherungsweise Angabe bodenmechanischer Kennwerte	277
B.1	Korndichte	277
B.2	Fließ- und Ausrollgrenze mineralischer Böden	278
B.3	Undrainierte Kohäsion	279
B.4	Versuche zum Einfluss des Überkorns	280
B.5	Verdichtungskennwerte	283
B.5.1	Grobkörnige Böden	283
B.5.2	Feinkörnige Böden	287
B.5.3	Gemischtkörnige Böden	288
B.5.4	Verdichtungskennwerte in Abhängigkeit von der Verdichtungsenergie	289
B.5.5	Überprüfung der Näherungen für Verdichtungskennwerte .	291
B.6	Zusammendrückbarkeit grobkörnige Böden	294
B.7	Zusammendrückbarkeit feinkörniger Böden	296
B.8	Scherfestigkeit grobkörniger Böden	296
B.9	Wasserdurchlässigkeitsbeiwert feinkörniger Böden	300
C	Anwendungsbeispiele	301
C.1	Beispiel 1: Mineralische Dichtung 1	301
C.2	Beispiel 2: Mineralische Dichtung 2	302
C.3	Beispiel 3: Dammmaterial	303
C.4	Beispiel 4: Tunnelausbruchmaterial	304
C.5	Beispiel 5: Leicht plastischer Ton, Güteklasse 1-2	305
C.6	Beispiel 6: Lehmdichtung	306