



Herausgeber:
Professor Dr.-Ing. H.-G. Kempfert

**Bodengewölbe unter ruhender
und nicht ruhender Belastung
bei Berücksichtigung von
Bewehrungseinlagen aus Geogittern**

Claas Heitz

Heft 19

November 2006

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Vorhandene Gewölbemodelle für verschiedene Anwendungsfälle bei ruhender und nichtruhender Beanspruchung	6
2.1	Allgemeines	6
2.2	Gewölbemodelle aus dem Bereich der GEP-Tragsysteme	6
2.3	Gewölbemodelle aus dem Bereich von Erdfallsystemen	10
2.4	Gewölbeausbildung in siloartigen Behältern	12
2.5	Gewölbeausbildung im Tunnelbau	13
2.6	Erkenntnisse zur Gewölbeausbildung unter nichtruhender Beanspruchung	14
2.6.1	Zyklische Erdfall-Großversuche	14
2.6.2	In situ-Messungen und zyklische GEP-Großversuche	16
2.6.3	Zusammenfassung der bisherigen Erkenntnisse zur Gewölbeausbildung unter nichtruhenden Lasten	19
3	Zum Kenntnisstand über das mechanische Verhalten des Verbundsystems Füllboden-Geokunststoff unter nichtruhenden Lasteinwirkungen	21
3.1	Allgemeines	21
3.2	Zyklisch-dynamisches Materialverhalten von nichtbindigen Böden.....	21
3.3	Ermüdungsverhalten von Geokunststoffen unter zyklischer Zugbeanspruchung	24
3.4	Verbundverhalten von Geokunststoff und Füllboden unter zyklisch-dynamischen Beanspruchungen	26
3.5	Dynamische Stabilität	27
3.6	Ableitung von zyklisch-dynamischen Belastungsrandbedingungen für die Modellversuche.....	29
3.6.1	Allgemeines.....	29
3.6.2	Festlegung der Grundlast	29
3.6.3	Festlegung der Belastungsamplitude.....	29
3.6.4	Festlegung der Belastungsfrequenz.....	31
3.6.5	Festlegung der maximalen Lastzyklenzahl	32
3.6.6	Festlegung des Belastungsschemas	33
4	Bestimmung der Materialparameter für Modellversuche und Berechnungen	35
4.1	Standardlaborversuche	35
4.1.1	Pfahlelemente	35
4.1.2	Weichschicht (Torf)	35
4.1.3	Modellsand	36

4.1.4	Geokunststoffe	40
4.2	Bestimmung der zyklischen Materialkennwerte	43
4.2.1	Zyklische Triaxialversuche am Modellsand	43
4.2.2	Zyklische Ödometerversuche am Torf	46
4.2.3	Materialverhalten der Geokunststoffe sowie Verbundverhalten Geokunststoff-Füllboden unter zyklischer Beanspruchung	47
5	Modellversuche zur Gewölbeausbildung am Pfahlrasterausschnitt	49
5.1	Versuchsrandbedingungen und Zielsetzung	49
5.2	Versuchsumfang und Durchführung	53
5.2.1	Versuchseinbau	53
5.2.2	Statische Belastung	53
5.2.3	Zyklisch-dynamische Belastung	54
5.2.4	Zusammenstellung des Versuchsumfangs für Pfahlrasterausschnitt	57
5.3	Zusammenstellung der Versuchsergebnisse	59
5.3.1	Statische Referenzversuche (Versuche S01 – S03)	59
5.3.2	Zyklische Modellversuche ohne Geogitterbewehrung (Versuche Z01 – Z03)	63
5.3.3	Ein- und mehrlagig bewehrte zyklische Modellversuche (Versuche Z04 – Z09)	71
5.3.4	Untersuchung des Einflusses der Dehnsteifigkeit (Versuche Z10 und Z11) ..	83
5.3.5	Untersuchung eines Bettungsausfalls (Versuche Z12 und Z13)	85
5.3.6	Untersuchung des Einflusses der Lastmittelstellung (Versuche Z14 – Z16) ..	88
5.3.7	Untersuchung des Einflusses der Lastamplitude (Versuche Z17 und Z18) ...	89
5.3.8	Untersuchung des Belastungsschemas II	91
5.3.9	Untersuchung des Einflusses der Geogitterstruktur (Versuche Z19 – Z21)	92
5.4	Zusammenfassende Bewertung der Modellversuchsergebnisse zur Gewölbeausbildung unter nichtruhender Belastung	97
5.4.1	Qualitative Beurteilung	97
5.4.2	Beurteilung der Gewölbeausbildung unter zyklisch-dynamischer Belastung im unbewehrten GEP-System	98
5.4.3	Beurteilung der Wirkungsweise einer ein- bis dreilagigen Geogitterbewehrung unter zyklisch-dynamischer Belastung	100
6	Modellversuche am Dammquerschnitt	103
6.1	Versuchsrandbedingungen, Zielsetzung und Versuchsprogramm	103
6.2	Untersuchung der Lastausbreitung im Böschungsbereich bei zyklischer Belastung (Phase A bis C) in den Versuchen D01 und D02	105
6.3	Untersuchung der Spreizdruckentwicklung im Böschungsbereich unter statischer Belastung (Phase D) in den Versuchen D01 und D02	108

6.3.1	Darstellung ausgewählter Versuchsergebnisse	108
6.3.2	Zusammenstellung und Bewertung von Ansätzen zur Berücksichtigung von Spreizkräften im Böschungsbereich.....	112
6.4	Systemverhalten bei Anordnung der vertikalen Tragelemente im Dreieckraster....	119
7	Numerische Berechnung ausgewählter Versuche	124
7.1	Allgemeine Anmerkungen zur FEM.....	124
7.1.1	Zielsetzung und Allgemeines.....	124
7.1.2	Zyklisch-viskoplastischer Stoffansatz nach <i>Stöcker (2002)</i>	125
7.1.3	Kritische Anmerkungen zur Verwendung der FEM für die vorliegende Problemstellung	128
7.2	Ableitung und Validierung der Elementparameter	129
7.2.1	Allgemeines	129
7.2.2	Modellsand-, Weichschicht-, Pfahlbereiche und Lastplatte	130
7.2.3	Modellierung der Geogitterlagen.....	132
7.2.4	Modellierung des Verbundverhaltens	135
7.3	Berechnungsergebnisse	136
7.3.1	Übersicht über die FEM-Modelle zu Modellversuchsstand M1	136
7.3.2	Rotationssymmetrisches unbewehrtes Modell.....	136
7.3.3	Vereinfachtes ebenes, bewehrtes und unbewehrtes Ersatzmodell.....	141
7.3.4	Unbewehrtes und bewehrtes räumliches Modell	147
8	Analytische Berechnungsmodelle	153
8.1	Allgemeines	153
8.2	Analytische Ansätze zur Spannungsermittlung	153
8.2.1	Beurteilung der Gültigkeit derzeitiger Gewölbeansätze unter nichtruhender Belastung.....	153
8.2.2	Vereinfachter Ansatz mittels Gewölbereduktionsfaktor (GRF-Verfahren). 155	
8.2.3	Bruchmodell nach <i>Russel et al. (1997)</i> mit modifizierten Reibungsansätzen	160
8.3	Berechnungsmodelle für mehrlagige Bewehrungsanordnung	168
8.3.1	Allgemeines.....	168
8.3.2	Zur Anwendbarkeit des Membranmodells nach <i>Zaeske (2001)</i> für ein- bis dreilagige Bewehrung unter zyklisch-dynamischer Belastung	169
8.3.3	Berechnungsmodelle nach <i>Collin (2004)</i> und <i>Wang et al. (1996)</i> für Lastübertragungsmatratzen.....	171
8.4	Analytischer Ansatz zur Bestimmung der erforderlichen Verankerungslänge bei GEP-Dammbauwerken	175
9	Dokumentation des Erkenntnisfortschritts	180