

Bewertung biologischer Bodenmechanik

Ernst Scheid, Ingenieurbüro für Boden- und Gewässerschutz,
Außenstelle Berlin-Brandenburg

Einleitung

Die Aussagen des Großteils der gedruckten Beiträge sind der konventionellen wissenschaftlichen Bodenmechanik zugeordnet.

Als Ergänzung und weiterführende Entwicklung sei hier die biologische Bodenmechanik angesprochen.

Mit diesem Begriff ist der Einfluß biologischer Einsätze auf die Bodenmechanik und deren Zusammenhang mit den Umwelttechnologien zur Erhaltung der allgemeinen Lebensprozesse bezeichnet.

Umweltschutz basierte bislang vorwiegend auf der Minimierung der Umweltbelastung durch nachgeschaltete Reinigungstechniken. Für eine nachhaltig wirksame Umwelt- und Ressourcenpflege bedarf es einer neuen Generation von Umweltschutzmaßnahmen.

Diese neue Generation enthält insbesondere:

Übersicht und Auswertung der sozio-ökologischen Gegebenheiten der Bedürfnis- und der Nutzungsgrenzwerte.

Dies bedeutet Lösungsansätze und Problemlösungen für umweltverträgliche

- Versorgung
- Entsorgung
- Abfallwirtschaft
- Wiederverwertung
- Deponietechnik
- Sanierung
- Recycling
- Produktionsintegrierte Umweltschutzmaßnahmen
- Übergreifende Informatik gesicherter Erkenntnisse und deren Auswertung auf globalem Niveau
- Einflußnahme auf die unsere gesamte Lebensfähigkeit bestimmenden Parameter.

Gefährdungen des Bodens und der bestehenden bodenmechanischen Verhältnisse können verursacht werden:

- durch Veränderungen des Grundwasserspiegels
- durch außerlandwirtschaftliche Stoffeinträge aus Industrie, Siedlung und Verkehr
- durch landwirtschaftliche Maßnahmen (übermäßiger Stoffeintrag durch Düngung und Pflanzenschutz, Förderung von Erosion, Bodenverdichtung und Monokulturen).

Bodenschutz und Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit waren und sind ein wesentliches Anliegen jeder Volkswirtschaft und die weltweiten Ereignisse, die durch Umweltschäden ausgelöst wurden und stän-

dig zunehmen werden, fordern bedingungslos, Boden und Wasser nicht nur zu schützen, sondern dringlichst auch bei Schädigungen in lebenserhaltende Funktionen zurückzusetzen.

Zunehmende Industrialisierung und geänderte wirtschaftliche und agrarpolitische Rahmenbedingungen für die Landwirtschaft haben zu stärkeren Belastungen von Umwelt und Naturhaushalt und damit auch des Bodens geführt. Der Boden ist unvermehrbar, aber nicht -wie früher häufig behauptet wurde- „unzerstörbar“, so daß dem Schutz des Bodens besondere Aufmerksamkeit gelten muß. Der Schutz des Bodens ist daher zu Recht zu einem Schwerpunkt der Umweltpolitik geworden und stellt eine Aufgabe für die gesamte Gesellschaft dar.

Bodenschutz

Der Bodenschutz hat die Sicherung der Funktionsfähigkeit des Bodens zum Inhalt - in seiner Eigenschaft als

- Produktionsgrundlage für die Land- und Forstwirtschaft,
- Teil des Naturhaushaltes und der Landschaft,
- Speicher und Filter für den Wasserhaushalt,
- Siedlungs- und Verkehrsfläche,
- Träger von Bodenschätzen.

Vorsorgende Maßnahmen und Abwägung der an den Boden gestellten Ansprüche sind notwendig, um auf Dauer Gefährdungen und Schäden dieser unersetzlichen Bodenfunktionen zu vermeiden.

Es ist mittlerweile klar erkannt worden, daß z.B. Düngereintrag in der Landwirtschaft größtenteils überdimensioniert wird. Die Struktur erodierter Böden -auch durch Dünger erodiert- ist so verändert, daß Nährstoffauswaschungen und Verlagerung von Feinstpartikeln zu Schichtbildungen bis zu Sperrschichten und zu erheblichen Veränderungen der einzelnen Horizonte führen.

Die Erforschung der Ursachen ist bei uns besonders intensiviert worden und hat zu eindeutigen Erkenntnissen geführt.

Es wird unterschieden zwischen **innerer Erosion** und **äußerer Erosion**.

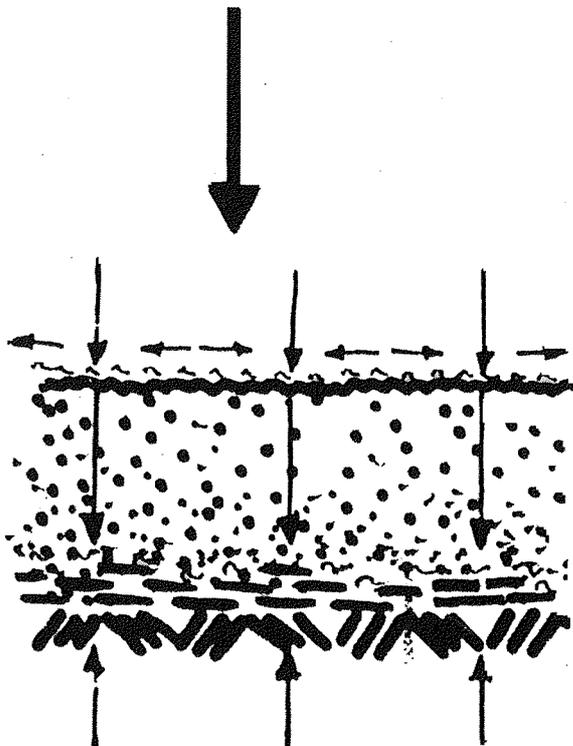
Die **äußere Erosion** wird gestaltet von den Parametern wie

- Temperatur
- Klima

- Bodenfeuchtigkeit
- Evaporation
- Strahlung
- meteorologische Einflüsse

wogegen die **innere Erosion** durch physikalische Veränderungen und Verlagerungsvorgänge gekennzeichnet ist, die auch auf mechanische, chemische, biologische und andere Entwicklungen in der Folge Einfluß nehmen.

ENTSTEHUNG ANAEROBER HORIZONTE UND SPERRSCHICHTEN DURCH VERLAGERUNG



Kationen-Austausch-Kapazität und Polyuronsäuren

Von besonderer Bedeutung ist die Erkennung des schematischen Aufbaus von Tonen.

Tone sind Mehrschichtminerale.

Die Kristallschichten werden durch Kationen wie z.B. K^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , $Fe^{++(+++)}$, NH_4^+ und Anionen wie z.B. OH^- zusammengehalten.

Wasser kann als Dipol in einer Hülle angelagert werden. Tone werden dadurch im Boden beweglich und können in Fließkanälen -Wurzelkanälen, Regenwurm-gängen- oder im Bodengefüge -Groporen- verlagert werden.

Quellfähige Tone weiten sich bei Wasseraufnahme aus und dichten den Boden ab.

Durch Fehlbelegung in den Zwischenschichten treten negative Bindungsstellen auf. Daher haben Tone sowohl Bindungsstellen für Kationen (+) als auch Anionen (-) und Seitenketten von organischen Säuren.

Mit Kationen und Anionen wird ebenfalls Wasser gebunden und somit z.B. Strukturverlust durch Na^+ vermieden.

Die folgenden Abbildungen zeigen den schematischen Aufbau von Polyuronsäuren.

Polyuronsäuren sind langkettige organische Säuren, die

- durch Verzehrprouesse von organischer Substanz im Magen/Darmtrakt von Bodentieren -Makro-edaphon- entstehen
- als Schleimmantel Bakterien vor dem Austrocknen schützen
- von Regenwürmern als Schleime ausgeschieden werden, um Gänge und Wurzelkanäle zu stabilisieren
- in allen Schleimen, Schnecken, Gummien und Ausscheidungen an Kernobst enthalten sind
- Zellstrukturen -Pektine- festigen und
- Lebensvorgänge -Zellsaft, Protoplasma- steuern.

Weil Wasser als Dipol in einer Hülle angelagert werden kann, werden Polyuronsäuren dadurch im Boden beweglich.

Bei Wasseraufnahme quellen Polyuronsäuren und können den Boden abdichten.

Durch Abspalten von H^+ aus Seitenketten können Kationen angelagert werden. Durch Eintauschen von H^+ durch die Pflanze werden Kationen als Nährstoffe pflanzenverfügbar.

Die biologische Bodenmechanik ist im wesentlichen gekennzeichnet durch eine Gefügestabilisierung mittels Ton/Humuskomplexen.

Tone und Polyuronsäuren gehen durch ihre Austauschkapazität sehr stabile Verbindungen -Ton/Humuskomplexe- ein. Die organische Komponente wird dabei so in die Bodenmatrix eingebaut, daß sie vor bakteriellem Verzehr -Humuszehrung- geschützt sind.

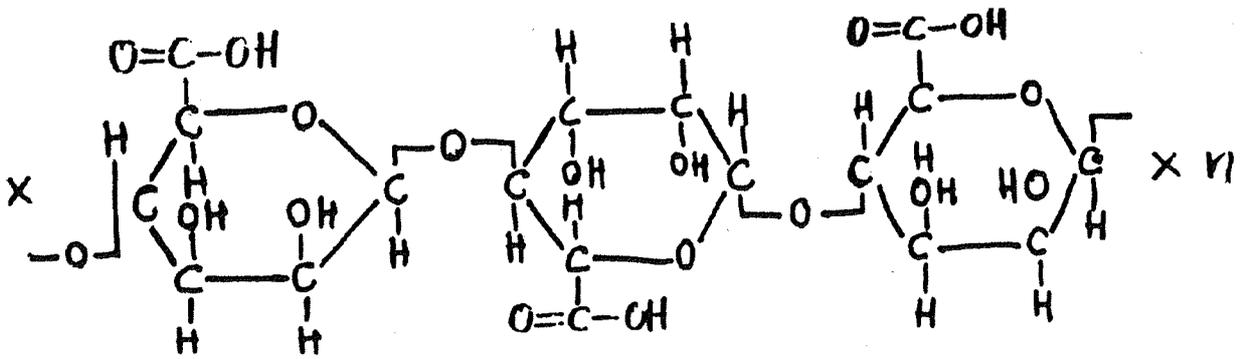
Praktische Anwendung:

Die Umsetzung der vorangegangenen Abläufe in die Praxis erfolgt durch die Nutzung Polyuronsäure-bildender natürlicher und aufbereiteter Pflanzen marinen Ursprungs, die den Ionenaustausch auslösen.

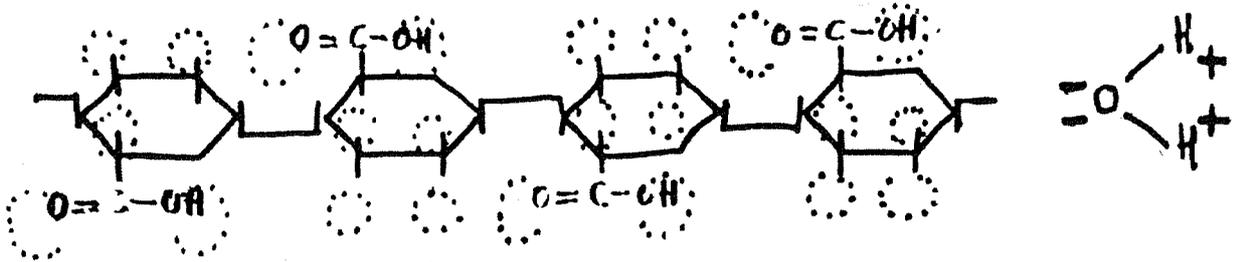
Das Untersuchungsprogramm wurde mit

- Geschiebelehm
- Löß
- sandigem Lehm
- Feinsand-Flugsand durchgeführt.

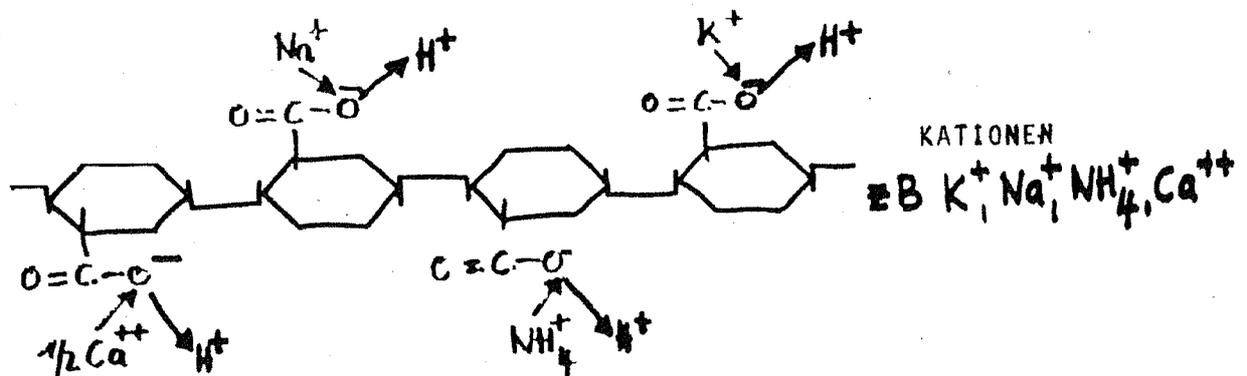
Schematischer Aufbau von Polyuronsäure



Polyuronsäuren lagern Wasser an



Polyuronsäuren tauschen Kationen aus (Pufferung)



Es wurden folgende Zusatzkonzentrationen jeweils eingesetzt:

Zusatzmittel	0,5 kg/m ³
	1,0 kg/m ³
	3,0 kg/m ³
	5,0 kg/m ³ .

Ermittelt wurden:

- die Kornverteilung an den vier unbehandelten und sieben behandelten Böden nach DIN 18 123
- der Wassergehalt w , die Fließ- und Ausrollgrenze w_L und w_P sowie die Plastizitäts- und Konsistenzzahl nach DIN 18 122 an den bindigen Bodenarten; insgesamt kamen 20 Versuche zur Durchführung
- der Reibungswinkel φ' und die Kohäsion c' im drainierten Versuch (D-Versuch) nach DIN 18 137 an vier unbehandelten und zehn behandelten Böden
- die einaxiale Druckfestigkeit q_u bei unbehinderter Seitenausdehnung nach DIN 18 136 an den bindigen Bodenarten; 11 Proben wurden untersucht
- der Kalkgehalt nach DIN 4022 (Salzsäureversuch).

Sandiger Lehm, unbehandelt

Das gewählte Versuchsmaterial stammt östlich von Freising bzw. Weihenstephan. Es stellt das Verwitterungsprodukt der im Postglazial entstandenen Lößablagerungen dar. Als sogenannter Lößlehm ist er nahezu kalkfrei und von der Kornzusammensetzung her ein schwach toniger, schwach sandiger Schluff. (Abb. 1)

Die Entnahme des Lehmes erfolgte zu verschiedenen Zeitpunkten. Demgemäß sind in-situ Wassergehalte von 19,0% und 26,6% festgestellt worden.

Die Konsistenz des Materials ist weich bis steif. Der Wassergehalt an der Fließgrenze (w_L) wurde mit 37,4% und 37,9% bestimmt. Vom Grad seiner Pla-

stizität ist der Boden als mittelpastisch anzusprechen.

Im einaxialen Druckversuch wurden Druckfestigkeiten zwischen 150 und 260 kN/m² ermittelt. Bei einem Versuch kam es zur Ausbildung einer Gleitfläche, deren Winkel wir mit 70° gemessen haben. Mit Hilfe des Spannungskreises nach Mohr ist die Kohäsion mit $c_u = 30$ kN/m² und der Reibungswinkel mit $\varphi_u = 50^\circ$ bestimmt worden (scheinbare Scherparameter) (Abb. 2).

Die wirksamen oder effektiven Scherparameter φ' und c' sind im Rahmenscherversuch ermittelt worden. Der Winkel der inneren Reibung beträgt $\varphi' = 30,5^\circ$ und die Kohäsion $c' = 17,5$ kN/m² (Abb. 3).

Sandiger Lehm, behandelt

Dem Lehm wurden die genannten Konzentrationen zugemischt. Ausschlaggebend für die Zumischung war die Tatsache, daß sich in den einaxialen Druckversuchen bei der Zugabe keine eindeutigen Bruchwinkel ausgebildet hatten. Die Ursache hierfür wurde in der Kalkarmut des Bodens gesehen.

Die Kornverteilung der behandelten Böden ist in Abb. 1 (Körnungslinien 2-5) mitgeteilt. Die Körnungslinien werden im Gegensatz zum Kornaufbau des natürlichen Bodens (Körnungslinie 1) steiler, wobei die gewählte Konzentration keinen wesentlichen Einfluß zu haben scheint.

Bei der Bestimmung der Fließgrenzen und Plastizitätszahlen wird der Zusammenhang gemäß Abb. 4 gefunden: Fließgrenze und Plastizitätszahl erhöhen sich unabhängig vom zugesetzten Zusatz mit steigender Konzentration.

Die Zugabe in der Konzentration von 1,0 - 3,0 und 5,0 kg/m³ bewirkt eine Erhöhung der einaxialen

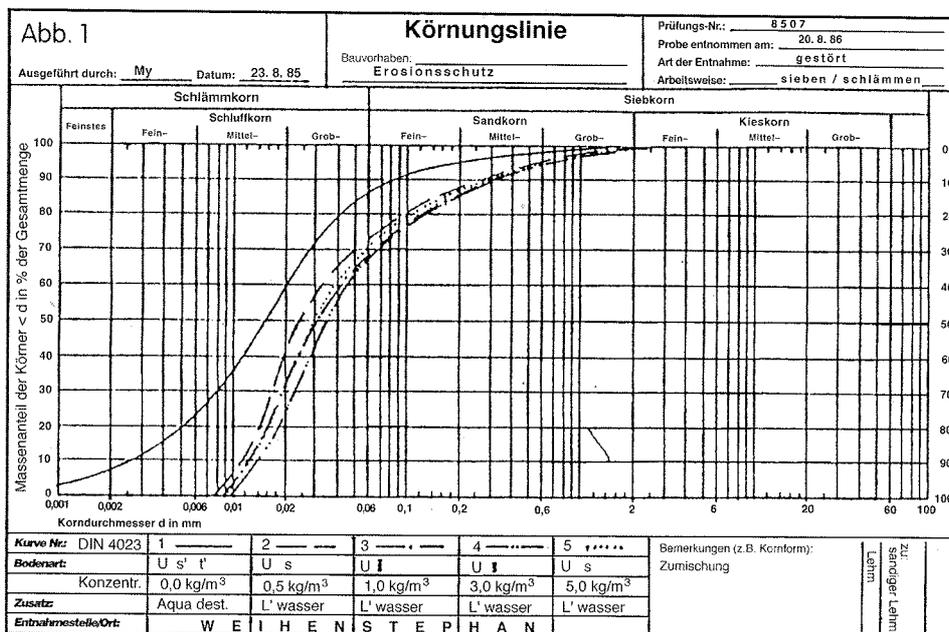
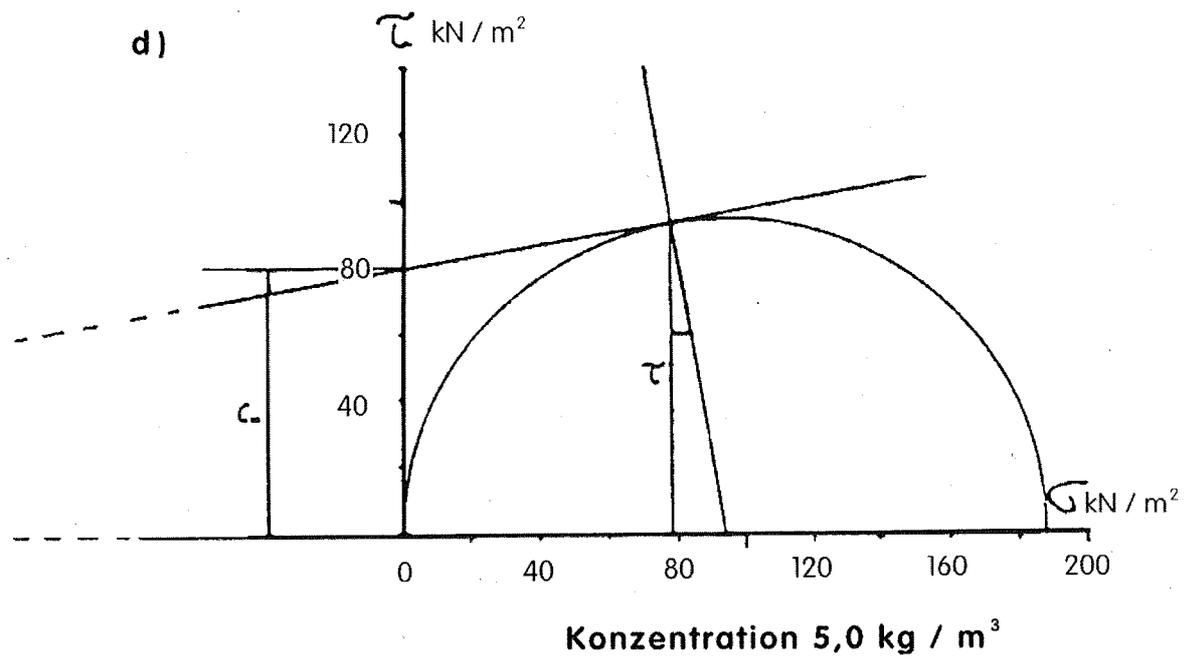
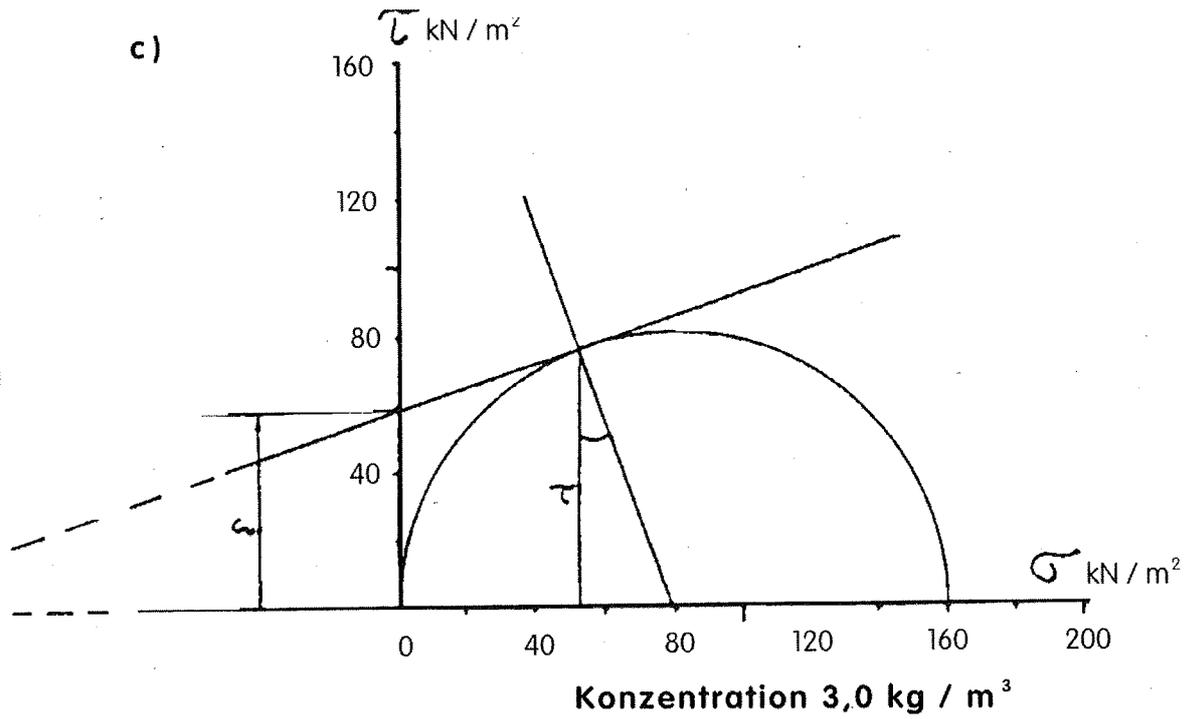


Abb. 2

Bodenart: sandiger Lehm



Scherlinien aus einaxialen Druckversuchen
(Mohrsche Kreise)

Abb. 3

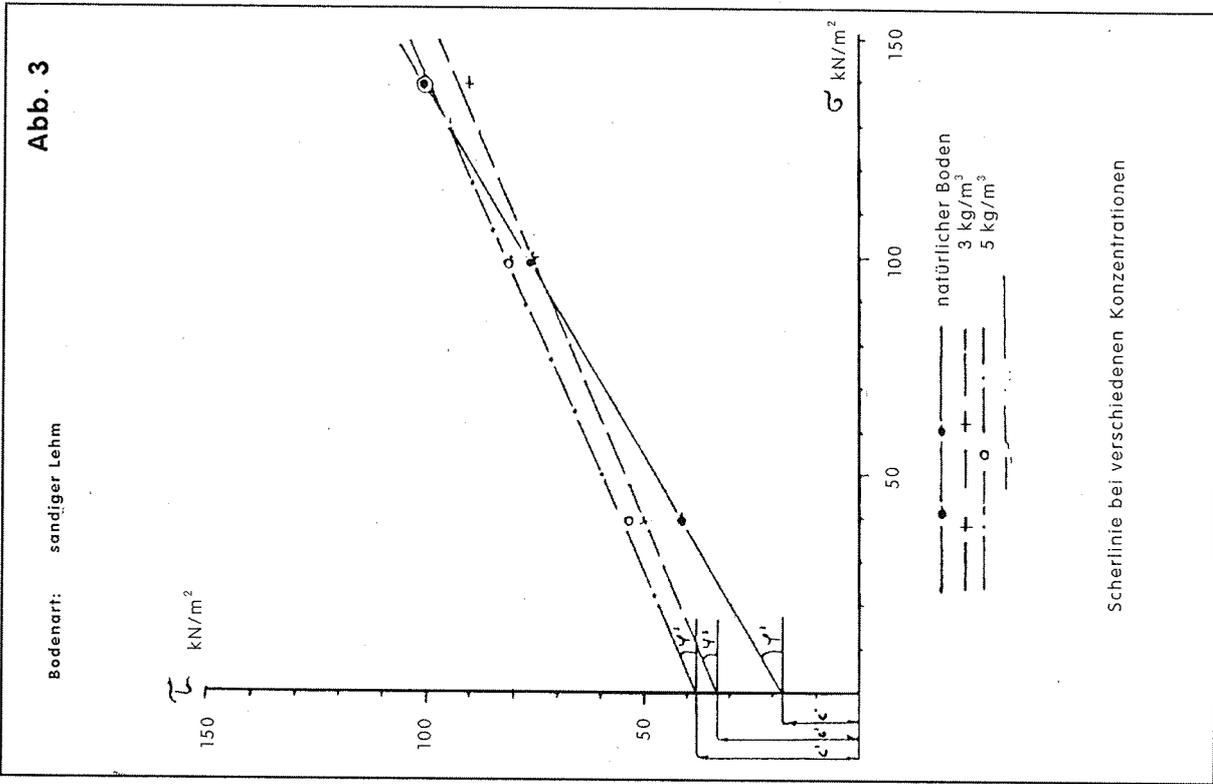
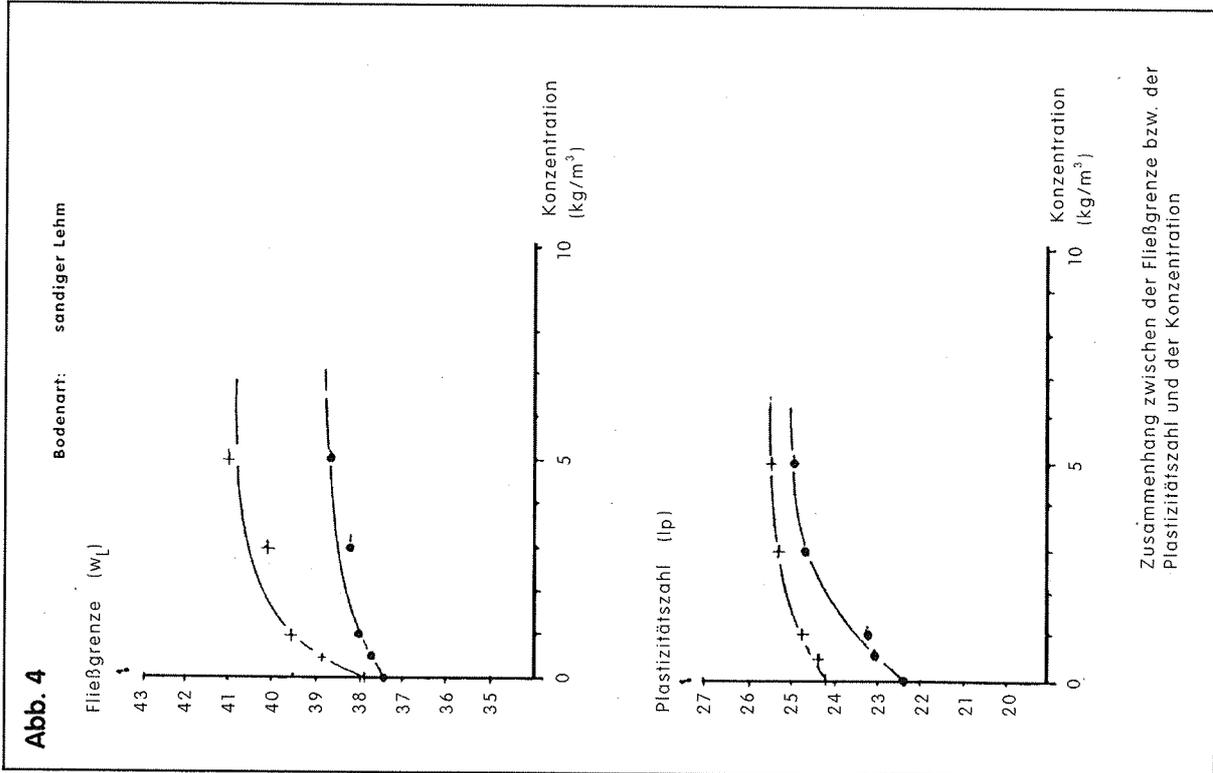


Abb. 4



Druckfestigkeit auf 190 kN/m². Gleichzeitig ist ein Anstieg der Kohäsion auf 69 kN/m² und eine Verringerung des Winkels der inneren Reibung auf 10° festzustellen. Diese mit Hilfe der Mohrschen Kreise gefundenen Zusammenhänge werden in der Abb. 2 dargestellt.

Sand, unbehandelt

Zur Untersuchung gelangten sogenannte Flugsande mit Dünenbildungen aus Abensberg. Der hellgelbe bis ockerbraune Dünenand ist vom Kornaufbau her sehr einheitlich (U = 1,7). Die Hauptkörnung liegt im Mittel- bis Feinsandbereich (Abb. 5 Kurve 1). Er besteht nahezu zu 100% aus farblosen, eckigen Quarzkörnern. Die Bestimmung des natürlichen Wassergehaltes ergab 4,7%.

Der innere Reibungswinkel ist im Rahmenschergerät mit $\phi' = 38^\circ$ ermittelt worden. Der Sand hat wegen

seiner Feuchte (Wassersättigung der Poren) eine scheinbare Kohäsion, die unter Wasser oder bei Austrocknung verloren geht. Sie beträgt $c_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$.

Sand behandelt

Der Sand wurde mit den Konzentrationen von 3 kg/m³ und 5 kg/m³ in Wasser gelöst und dem Boden zugesetzt. Die Verweildauer im Boden war unterschiedlich; sie betrug mindestens 48 Stunden.

Im Scherversuch ist mit der Einbringung von 3,0 bzw. 5,0 kg/m³ ein Reibungswinkel von 36° ermittelt worden. Dieser liegt um 2° niedriger als beim unbehandelten Boden. Die Kohäsion beträgt einheitlich 7 kN/m², was einer Erhöhung gegenüber dem unbehandelten Boden um 71,4 % entspricht (Abb. 6).

Die folgenden Tabellen 1-3 zeigen weitergehende Zusammenhänge der Kationen-Austausch-Kapazitäten mit den verschiedenen Stoffqualitäten.

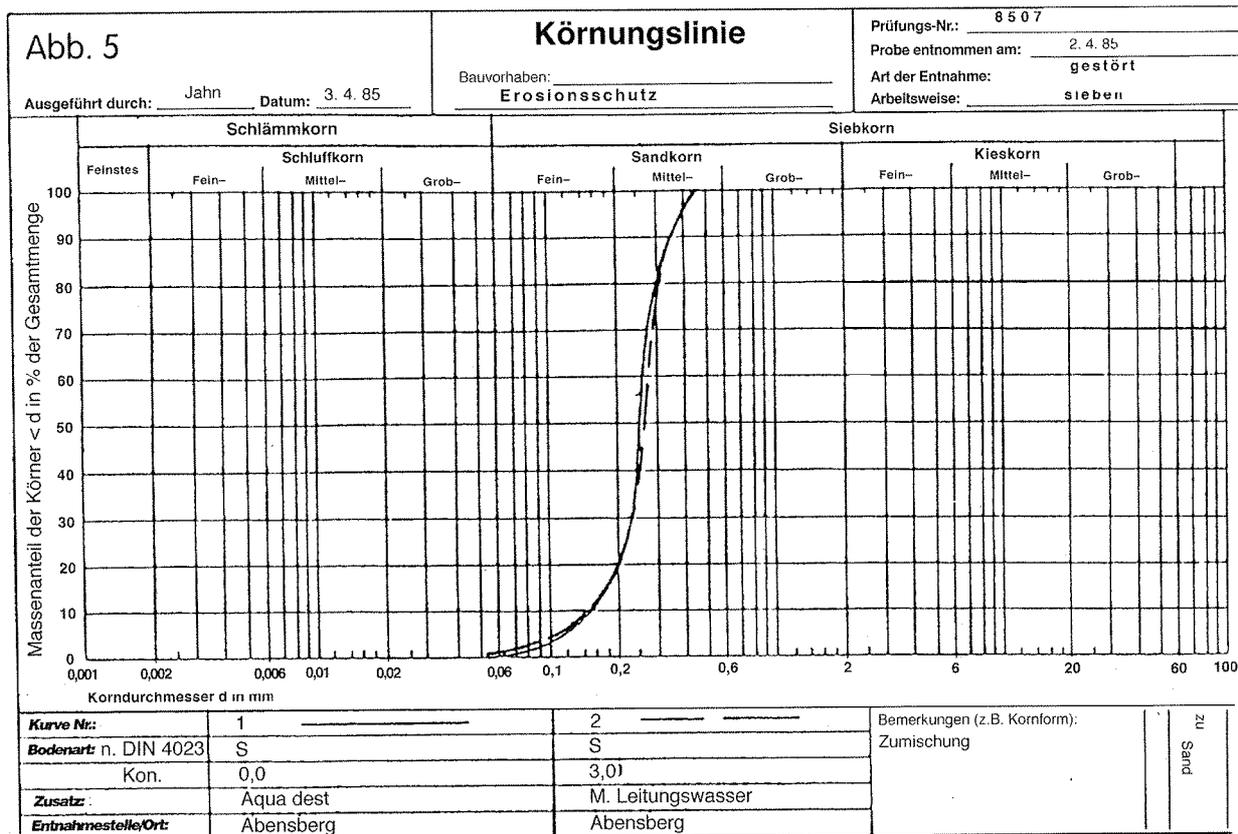


Abb. 6

Zusammenstellung der BODENKENNWERTE
Bodenart : Sand

Versuchswerte Konzentration kg/m ³	Konsistenzgrenzen					Scherparameter		einaxiale Druckfestigkeit				
	w %	w _L %	w _p %	I _p %	I _C -	φ' °	c' kN/m ²	q _u kN/m ²	θ °	c _u kN/m ²	φ _u °	τ kN/m ²
0,0						38	2					
0,5												
1,0												
3,0						36	7					
5,0						36	7					

Abb. 7

INAKTIVIERUNG VON CADMIUM DURCH IONEN-
AUSTAUSCH

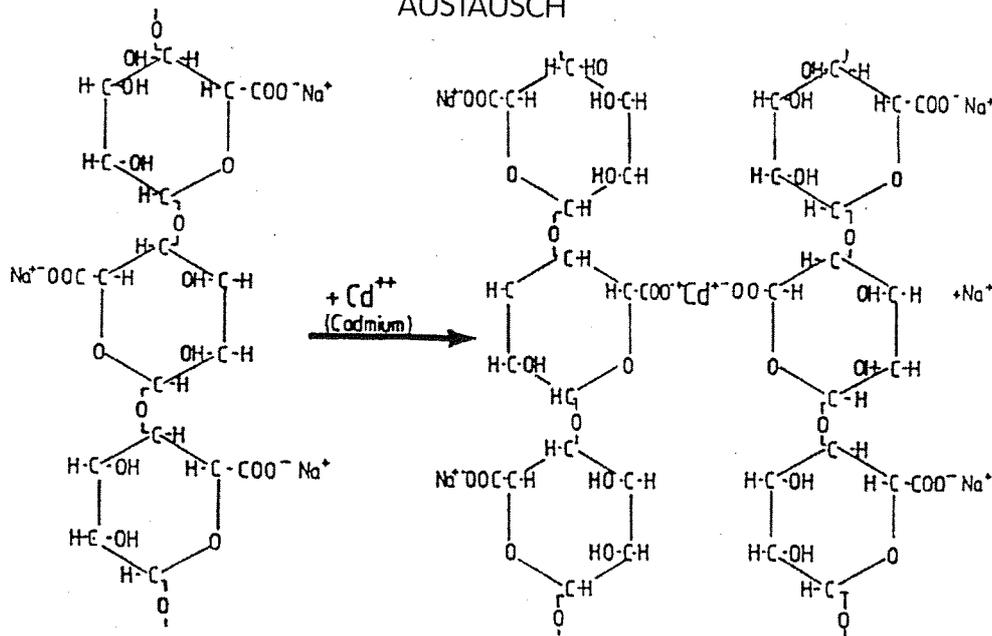


Tabelle 1

Puffervermögen von TANGINAT im Vergleich zu anderen Ionenaustauschern

CHEM. BEZEICHNUNG BZW. FORMEL (ungepufferte Nährsalze sind auch belastend und schädlich)

g/Val		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kalziumchlorid 55,50	Ca Cl ₂ von	0,2	0,6	0,6	0,3	0,0	4,4	5,5	bis	bis	bis
	bis	0,8	2,2	2,2	2,8	5,5	8,3	8,3	19,4	183,7	1110,0
Kalziumsulfat 68,07	CaSO ₄ von	0,2	0,7	0,7	0,3	0,0	5,4	6,8	bis	bis	bis
	bis	1,0	2,7	2,2	3,4	6,8	10,2	10,2	23,8	225,3	1361,4
Gips 86,09	CaSO ₄ 2H ₂ O von	0,3	0,9	0,9	0,4	0,0	6,9	8,6	bis	bis	bis
	bis	1,3	3,4	3,4	4,3	8,6	12,9	12,9	30,1	284,9	1721,8
Kalziumkarbonat 50,04	CaCO ₃ von	0,2	0,5	0,5	0,3	0,0	4,0	5,0	bis	bis	bis
	bis	0,7	2,0	2,0	2,5	5,0	7,5	7,5	17,5	165,6	1000,8
Magnesiumchlorid 47,62	MgCl ₂ von	0,2	0,5	0,5	0,2	0,0	3,8	4,7	bis	bis	bis
	bis	0,7	1,9	1,9	2,4	4,8	7,1	7,1	15,6	157,6	952,4
Magnesiumsulfat 60,19	MgSO ₄ von	0,2	0,6	0,6	0,3	0,0	4,8	6,0	bis	bis	bis
	bis	0,9	2,4	2,4	3,0	6,0	9,0	9,0	21,1	199,2	1203,8
Magnesiumkarbonat 42,16	MgCO ₃ von	0,1	0,4	0,4	0,2	0,0	3,4	4,2	bis	bis	bis
	bis	0,6	1,7	1,7	2,1	4,2	5,3	5,3	14,8	139,5	843,2
Natriumchlorid 58,45	NaCl von	0,2	0,6	0,6	0,3	0,0	4,7	5,8	bis	bis	bis
	bis	0,9	2,3	2,3	2,9	5,8	8,8	8,8	20,5	193,5	1169,0
Natriumsulfat 71,03	Na ₂ SO ₄ von	0,2	0,7	0,7	0,4	0,0	5,7	7,1	bis	bis	bis
	bis	1,1	2,8	2,8	3,6	7,1	10,7	10,7	24,9	235,1	1420,6
Natriumkarbonat 53,00	NaHCO ₃ von	0,2	0,5	0,5	0,3	0,0	4,2	5,3	bis	bis	bis
	bis	0,8	2,1	2,1	2,7	5,3	8,0	8,0	18,6	175,4	1060,0
Natriumbikarbonat 84,01	NaHCO ₃ von	0,3	0,8	0,8	0,4	0,0	6,7	8,4	bis	bis	bis
	bis	1,2	3,4	3,4	4,2	8,4	12,6	12,6	29,4	278,1	1680,2
Kaliumchlorid 74,56	KCl von	0,2	0,8	0,8	0,4	0,0	6,0	7,5	bis	bis	bis
	bis	1,1	3,0	3,0	3,7	7,4	11,2	11,2	26,1	246,8	1491,2
Kaliumsulfat 87,13	K ₂ SO ₄ von	0,3	0,9	0,9	0,4	0,0	7,0	8,7	bis	bis	bis
	bis	1,3	3,5	3,5	4,4	8,7	13,1	13,1	30,5	288,4	1742,6
Kaliumcarbonat 69,10	K ₂ CO ₃ von	0,2	0,7	0,7	0,4	0,0	5,5	6,9	bis	bis	bis
	bis	1,0	2,8	2,8	3,5	6,9	10,4	10,4	24,2	228,7	1382,0
Kaliumbikarbonat 100,11	KHCO ₃ von	0,3	1,0	1,0	0,5	0,0	8,0	10,0	bis	bis	bis
	bis	1,5	4,0	4,0	5,0	10,0	15,0	15,0	35,0	331,4	2002,2
Ammoniumsulfat 66,06	(NH ₄) ₂ SO ₄ von	0,2	0,7	0,7	0,3	0,0	5,3	6,6	bis	bis	bis
	bis	1,0	2,8	2,8	3,3	6,6	9,9	9,9	23,1	218,7	1321,2

CHEM. BEZEICHNUNG BZW. FORMEL (ungepufferte Nährsalze sind auch belastend und schädlich)

g/Val		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ammoniumnitrat NH_4NO_3 80,03	von	0,2	0,8	0,8	0,4	0,0	6,4	8,0	bis	bis	bis
	bis	1,2	3,0	3,2	4,0	8,0	12,0	12,0	28,0	264,9	1600,6
Ammoniumkarbonat $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 48,03	von	0,1	0,5	0,5	0,2	0,0	3,8	4,8	bis	bis	bis
	bis	0,7	2,0	2,0	2,4	4,8	7,2	7,2	16,8	159,0	960,6
Ammoniumphosphat $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ 49,69	von	0,1	0,5	0,5	0,3	0,0	4,0	5,0	bis	bis	bis
	bis	0,7	2,0	2,0	2,5	5,0	7,5	7,5	17,4	164,5	993,8
Ammoniumhydrogenphosphat $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 114,00	von	0,3	1,2	1,2	0,6	0,0	9,1	11,4	bis	bis	bis
	bis	1,7	4,6	4,6	5,7	11,4	17,1	17,1	39,9	377,3	2280,0
Natriumnitrat NaNO_3 84,99	von	0,3	0,9	0,9	0,4	0,0	6,8	8,5	bis	bis	bis
	bis	1,3	3,4	3,4	4,3	8,5	12,7	12,7	29,7	281,3	1699,8
Kalziumnitrat $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 82,05	von	0,2	0,8	0,8	0,4	0,0	6,6	8,2	bis	bis	bis
	bis	1,2	3,3	3,3	4,1	8,2	12,3	12,3	28,7	271,6	1641,0
Ammoniumbikarbonat NH_4HCO_3 79,05	von	0,2	0,8	0,8	0,4	0,0	6,3	7,9	bis	bis	bis
	bis	1,2	3,2	3,2	3,9	7,9	11,9	11,9	27,7	261,7	1581,0

BODENWIRKSTOFFE (CHEMISCH)

Schwefel S 16,03	von	0,05	0,16	0,16	0,08	0,00	1,28	1,60	bis	bis	bis
	bis	0,24	0,64	0,64	0,80	1,60	2,40	2,40	5,61	53,1	320,6
Schwefelsäure H_2SO_4 49,04	von	0,15	0,44	0,44	0,24	0,00	3,92	4,90	bis	bis	bis
	bis	0,74	1,96	1,96	2,45	4,90	7,36	7,36	17,16	162,4	980,8
Aluminiumsulfat $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ 111,07	von	0,33	1,11	1,11	0,55	0,00	8,89	11,11	bis	bis	bis
	bis	1,67	4,44	4,44	5,55	11,11	16,66	16,66	38,87	367,9	2221,4
Eisensulfat $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ 139,01	von	0,42	1,39	1,39	0,69	0,00	11,12	13,90	bis	bis	bis
	bis	2,09	5,56	5,56	6,95	13,90	20,85	20,85	48,65	460,4	2780,2

Tabelle 2

Spaltennummer in vorheriger Tabelle:	Ionenaustauscher	Kationenaustausvermögen (KAK) mVal//100 g
1	Kaolinit (Tonkolloid)	3 - 15
2	Chlorit (Tonkolloid)	10 - 40
3	Illit (Tonkolloid)	10 - 40
4	Halloysit (Tonkolloid)	5 - 50
5	Weißtorf (organ. Kolloid)	0 - 100
6	Montmorillonit (Tonkolloid)	80 - 150
7	Vermiculit (Tonkolloid)	100 - 150
8	Gut verrotteter Stallmist (organ. Kolloid)	bis 350
9	TANGINAT-WEM (organ.-mineral. Kolloid)	bis 3312
10	TANGINAT-Bodengranulat (organ. Kolloid)	bis 20000

Tabelle 3

TANGINAT PUFFERVERMÖGEN BEI TOXISCHEN SCHWERMETALLEN

Thallium		bis
Tl	204	4080 g
Cadmium		bis
Cd	56	1120 g
Strontium		bis
Sr	43,8	876 g
Quecksilber		bis
Hg	100,3	2006 g
Blei		bis
Pb	103,6	2072 g
Chrom		bis
Cr	26,0	520 g
Vanadium		bis
V	25,47	509 g
Kupfer		bis
Cu	63,54	1270 g

Inzwischen sind zahlreiche **erfolgreiche Anwendungen dieser Technologie** erfolgt. So z.B. wurden Bodennägel und Verklebungen der Mutterbodenkappe oder anderer Oberschichten durchgeführt, wobei die Zusätze jeweils als deutliche Wirkungserhöhung dadurch erkennbar waren, daß die Wurzelbildung der Vegetationsauflage zu erheblich erweiterter Stabilisierung beigetragen haben.

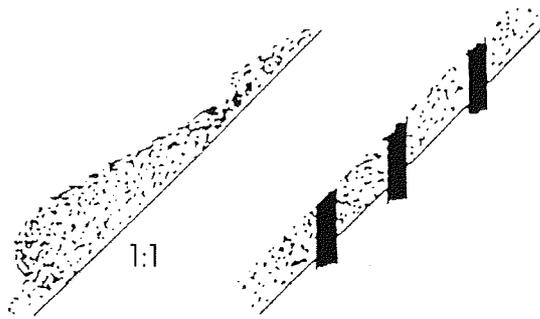
Das vorgenannte Zusatzmittel verfügt außerdem über die Eigenschaft der Pufferung von Schwerme-

tallen (Abb. 7) mit einer Austauschkapazität von 20.000 - 36.000 mVa/100 g als Dimensionsgröße. Die Einbringung der Zusätze geschieht durch Vermischen oder durch Injektion.

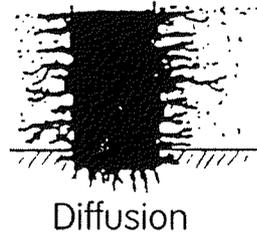
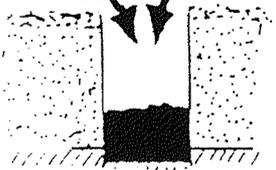
Es wurden von uns bereits erfolgreiche Problemlösungen für die Lausitzer Braunkohle Aktiengesellschaft in Senftenberg und das Institut für Bergbau- und Umweltschutz in Finsterwalde erstellt.

EROSIONSSCHUTZ DURCH TANGINAT

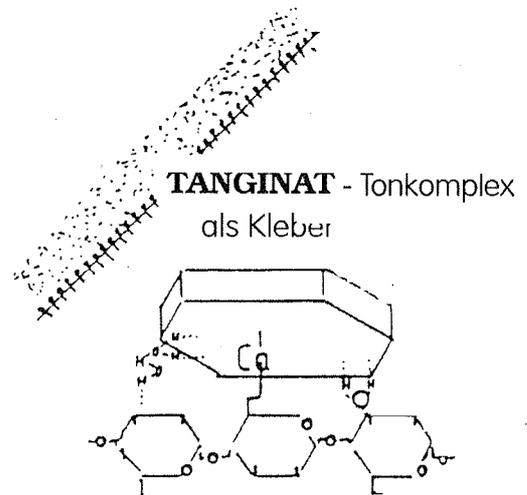
TANGINAT - BODENNAGEL gegen
Oberbodenrutschung



TANGINAT Sand
+Wasser



Verklebung der Mutterbodenkappe
mit dem Unterboden



Literatur

CANAWAY, P.M. : The effects of two rootzone amendments. Research Institute Bingley-West Yorkshire, 1986

BASCK, K.; SEYDLITZ, E. : Erosionsschutz - Forschungsauftrag. Baugrundlabor München, 1986

KASELOW: Elimination mit Algenpräparaten, 1988

SCHMID, R. : Kationenaustauschkapazität. Universität Hohenheim, 1987

HÜLSENBERG, C. : Bodenökologische Untersuchungen. Justus Liebig Universität, 1989

BLUNDEN: Optimal Growth of Plants. Portsmouth-Polytec, 1987

HASSAN, ESMAT A. and EL-MOURSI, E.: Vegetative Growth. National Research Centre - Cairo - Dokki, 1981

SCHEID, E. : Umweltschutztechnik - Bodentechnologien, Berlin, 1990

Dipl. Ing. Ernst Scheid
E. SCHEID GmbH
Ingenieurbüro für Boden- und Gewässerschutz,
Messen und Prüfen im Bausektor
Außenstelle Berlin - Brandenburg, Berlin

Geotechnische Eignungsprüfungen von Deponiematerialien

Hans-Volker Huth, Ingenieurbüro für Boden- und Gewässerschutz, Außenstelle Berlin - Brandenburg

1. Einleitung

Die Standortfindung, Entwurfsbearbeitung, Bauausführung, Überwachung sowie das Betreiben und die Sanierung von Deponien erfordern die konsequente Anwendung und Weiterentwicklung der analytischen und numerischen Berechnungsmethoden in der Geotechnik des Umweltschutzes.

Die Anwendung von geotechnischen Berechnungsverfahren setzt Kenntnisse der Stoffgesetze von Deponiestandorten und -baumaterialien voraus. Nur dann lassen sich die Berechnungsergebnisse zutreffend interpretieren und wirtschaftlich in die Planung und bei der Ausführung von Deponien umsetzen. Der Arbeitskreis „Geotechnik der Deponien und Altlasten“ (JESSBERGER, 1990) fordert daher u.a. das Spannungs-Verformungs-Verhalten des Untergrundes als Deponiebaugrund, der Basis- sowie Oberflächendichtungssysteme und des Abfallkörpers theoretisch und experimentell zu untersuchen.

In der theoretischen Bodenmechanik existiert seit einigen Jahren ein eigenständiger Forschungsbereich, der die Aufgabe hat, theoretisch und experimentell abgesicherte Stoffgesetze für Geomaterialien zu entwickeln (DESAI, GALLAGHER, 1984; DESAI, SIRIWADANCE, 1984; CHEN, BALADI, 1985). Einen besonderen Schwerpunkt in der Stoffgesetzerforschung von Geomaterialien bildet die rationelle, zeit- und kostengünstige experimentelle Bestimmung der in den Materialgleichungen enthaltenen Parameter durch geeignete geotechnische Eignungsprüfungen. Gegenwärtig sind noch keine allgemeinen und standardisierten Verfahren bekannt, mit denen sich unter Verwendung von geotechnischen Prüfeinrichtungen, von Rechentechnik und geeigneter Software die Materialparameter verschiedener Stoffgesetze für Deponiematerialien bestimmen lassen.

2. Anforderungen an Stoffgesetze von Deponiematerialien

Jeder Lösung einer kontinuumsmechanischen Randwertaufgabe, welche die Größe der Spannungen

und Verformungen im Deponiebereich angibt, liegen folgende Bedingungen zugrunde:

- **Gleichgewichtsbedingungen** für eine statische Berechnung bzw. Bewegungsgleichungen für eine dynamische Berechnung
- **geometrische Bedingungen** zwischen den Deformationen und Verschiebungen (Kompatibilitätsbedingungen)
- **Anfangs- und Randbedingungen**
- **Stoffbeziehungen.**

Für die Formulierung von Stoffgesetzen gelten folgende, vom konkreten Materialverhalten unabhängige Forderungen (TRUESDALL, 1955; DESAI, 1977, GUDEHUS, 1979):

- Objektivität
- Eindeutigkeit
- Existenz
- Stabilität
- Beschreibung eines allgemeinen Spannungs- und Verformungszustandes
- Handhabbarkeit und ökonomische Durchführung der Berechnungen.

Mathematische Modelle für Prozesse der Deponiegeotechnik (z.B. Stabilität, Setzungsverhalten) verlangen Stoffbeziehungen, die für alle Beanspruchungen geeignet sind, die im betrachteten System auftreten können. Da das wirkliche mechanische Verhalten der Deponiematerialien bei solchen Prozessen vorher nicht exakt bekannt ist, müssen bei der experimentellen Bestimmung des Materialverhaltens möglichst zahlreiche Versuche bei den verschiedensten Spannungs- und Deformationsbedingungen durchgeführt werden. Bei den Experimenten dürfen nur solche kraft- bzw. verformungsgesteuerte Versuchsgeräte verwendet werden, die homogene bzw. weitgehend homogene Verschiebungs- bzw. Spannungsfelder in den Bodenproben erzeugen. Diese Forderung erfüllen strenggenommen nur die „echten“ Triaxialgeräte (GUDEHUS, 1979).

Bei den in der bodenmechanischen Laborpraxis üblichen Versuchsgeräten sind die Homogenitätsforderungen nur teilweise erfüllt (Tab. 1).

Versuchsart	Versuchsdurchführung	Volumenmessung durch	Homogenitätsforderung
	KS-Kraftsteuerung WS-Wegsteuerung	W-Wegmessung V-Volumeter B-Bandage Z-Zellwasser	
echter Triaxialversuch	KS, WS	W	erfüllt
Biaxialversuch	KS, WS	W, Z	nahezu erfüllt
Kompressionsversuch	KS	V	teilweise erfüllt
Zylinderdruckversuch	KS, WS	B, Z	teilweise erfüllt
Zugversuch	KS	-	kaum erfüllt
Ödometerversuch	KS, WS	W	kaum erfüllt
konventioneller triaxialer Kompressionsversuch	KS, WS	B, Z	teilweise erfüllt
konventioneller triaxialer Extensionsversuch	KS, WS	B, Z	teilweise erfüllt
direkter Scherversuch	KS, WS	-	nicht erfüllt
Rotationsscherversuch	KS, WS	-	kaum erfüllt
Einfachserversuch	KS, WS	W	nahezu erfüllt

Tabelle 1: Geotechnische Eignungsprüfungen für Stoffgesetze von Deponiematerialien

3. Anforderungen an geotechnische Eignungsprüfungen von Deponiematerialien

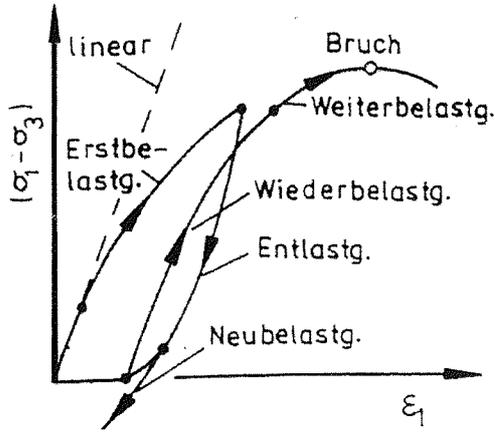
Zwischen den verwendeten Verfahren zur Lösung geotechnischer Probleme der Deponietechnik, der Aufstellung von Stoffgesetzen und der Versuchstechnik besteht ein enger Zusammenhang.

Der einzige Weg, der zur Bestimmung der in den Stoffgesetzen enthaltenen Materialparameter gangbar ist, besteht in der Durchführung geeigneter Labor- und Feldversuche. Dabei ist zu beachten, daß Experimente nur auf der Grundlage eines theoretischen Konzepts geplant, interpretiert und hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit eingeschätzt werden können.

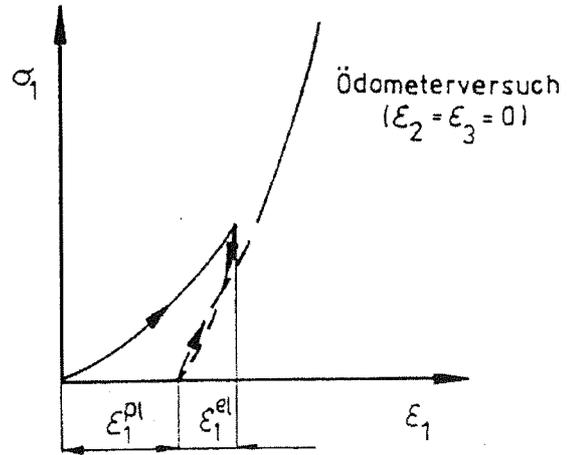
Das alleinige Aufzeichnen von Meßwerten und deren Interpretation ist im Hinblick auf die Anwendung analytischer und numerischer Verfahren in der Geotechnik der Deponien nicht sinnvoll. Eine aus kontinuumsmechanischer Sicht aussagekräftige Versuchsauswertung kann nur erfolgen, wenn die Lösung der entsprechenden Randwertaufgabe des geotechnischen Versuches, nämlich die Verzerrungsgeschichte und die Spannungsverteilung, bekannt ist. Andernfalls kann keine eindeutige Unterscheidung zwischen Materialeigenschaft und Einfluß, der aus der geometrischen Form des Probekörpers herrührt, getroffen werden. Hieraus folgt, daß es angebracht

ist, wenige, jedoch qualitativ hochwertige Versuche durchzuführen, statt einer Vielzahl unter im strengen Sinne falschen Randbedingungen. Bei der Auswahl geeigneter Prüfmaschinen, geotechnischer Versuchsgeräte sowie des durchzuführenden Versuchsplanes sollte sich an den komplexen stofflichen Eigenschaften von Geomaterialien orientiert werden:

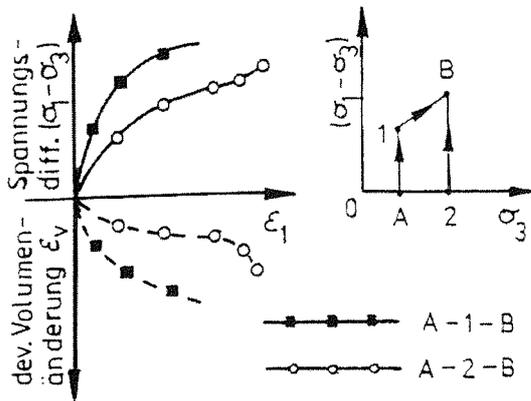
- ausgeprägte physikalische und geometrische Nichtlinearität im Spannungs-Verformungs-Verhalten bei Erstbelastung, Entlastung sowie Wiederbelastung (Abb. 1a)
- unterschiedliches Materialverhalten im Druck- und Zugbereich
- gekoppelte elastische und plastische Formänderungen auch bei geringen Belastungen (Abb. 1b)
- Spannungs- und Verformungspfadabhängigkeit (Abb. 1c)
- Einfluß der Belastungs- bzw. Verformungsgeschwindigkeit (Abb. 1d)
- Volumenänderungen sowohl bei Normal- als auch bei Scherbeanspruchungen (Kontraktanz und Dilatanz, Abb. 1e)
- Einfluß der mittleren Hauptspannung auf das Verformungs- und Bruchverhalten
- Ver- und Entfestigung nach Erreichen des Fließ- bzw. Bruchzustandes (Abb. 1f)
- anisotropes Verhalten aufgrund der Entstehungs- und Belastungsgeschichte
- Hystereseerscheinungen bei großen Lastwechseln.



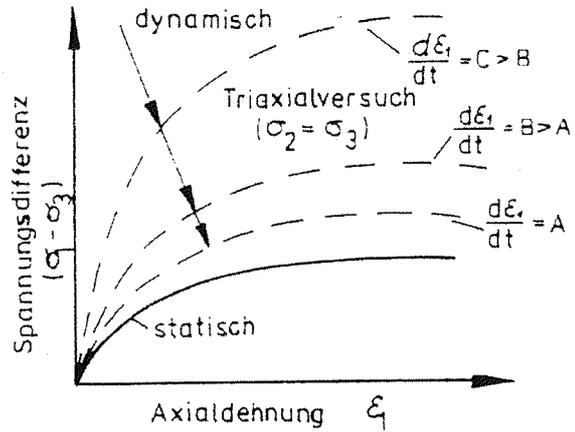
a) Be-, Ent-, Wieder-, Weiter- und Neubelastung



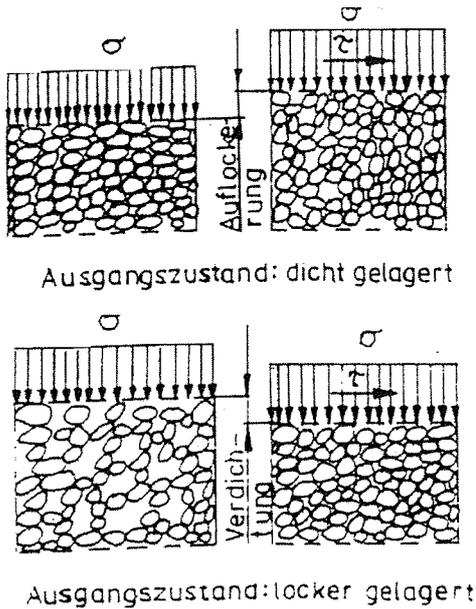
b) Elastisch-plastische Anteile



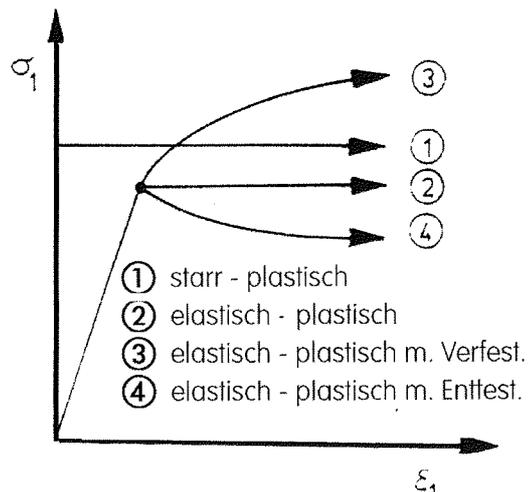
c) Spannungspfad



d) Deformationsgeschwindigkeit



e) Auflockerung, Verdichtung



f) Ver- und Entfestigungsverhalten

Abb. 1: Einflußgrößen von Deponiematerialien auf geotechnische Eignungsprüfungen

4. Zusammenfassung

Zwischen den verwendeten Verfahren zur Lösung eines geotechnischen Problems, der Aufstellung von Material- und Stoffgesetzen von Deponiematerialien und der Versuchstechnik besteht ein enger Zusammenhang. Einerseits sollten Spannungs-Verformungs-Beziehungen für Deponiematerialien hinreichend allgemein sein, daß möglichst alle wesentlichen bei Deponien auftretenden geotechnischen Effekte wiedergegeben werden, und andererseits genügend speziell, so daß alle Materialkennwerte, welche die Stoffeigenschaften repräsentieren, durch hinreichend wenige, technisch realisierbare Experimente konkret bestimmbar sind. Dabei ist zu beachten, daß geotechnische Eignungsprüfungen nur auf der Grundlage eines theoretischen Konzeptes geplant, interpretiert und hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit eingeschätzt werden können.

Beim gegenwärtigen Stand der Versuchstechnik sind für geotechnische Zielstellungen der Deponietechnik nur kraft- bzw. verformungsgesteuerte Zylinderdruckversuche, Ödometer und konventionelle Triaxialversuche sowie Scherversuche durchführbar.

Die Durchführung geotechnischer Eignungsprüfungen von Deponiematerialien stellt eine anspruchsvolle und teilweise schwierig zu lösende Aufgabe dar, die umfangreiche Erfahrungen des Bearbeiters auf den Gebieten der

- Kontinuumsmechanik
- geotechnischen Meßtechnik
- numerischen Methoden der Mathematik
- Versuchsauswertung und -interpretation erfordert (HUTH, 1990).

5. Literatur

JESSBERGER, H.L. u.a.: Empfehlungen des Arbeitskreise „Geotechnik der Deponien und Altlasten“. GDA.-Verlag Ernst und Sohn, Berlin, 1990

DESAI, G.S.; GALLAGHER, R.H. (Eds.): Mechanics of engineering materials. -Chichester: Wiley and Sons, 1984

DESAI, G.S.; SIRIWARDANCE, H.J.: Constitutive laws for engineering materials. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1984

CHEN, W.-F.; BALADI, G.Y.: Soil plasticity. Theory and Implementation.-Elsevier Science Publisher, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo, 1985

TRUEDELLE, C.A.: Hypoelasticity. Journal of Rational Mechanics and Analysis, 4 (1955) 1, S. 83-133

DESAI, C.S.: Numerical methods in geotechnical engineering. - Mc Graw Hill, New York, 1977

GUDEHUS, G.: Stoffgesetze der Bodenmechanik. In: Grundbau - Taschenbuch, Band I, Berlin: Verlag Wilhelm Ernst u. Sohn, 1979

HUTH, H.-V.: Zusammenstellung von Grundlagen und Konzepten von Spannungs- und Verformungs-Beziehungen für Böden sowie Beschreibung von Methoden zur Parameterbestimmung in Stoffgesetzen. -Monografie, Humboldt-Universität zu Berlin, 1990 (unveröff.)

*Dr.-Ing. habil. Hans-Volker Huth
E. Scheid GmbH
Ingenieurbüro für Boden und Gewässerschutz,
Messen und Prüfen im Bausektor
Außenstelle Berlin-Brandenburg, Berlin*

Einsatz eines Tonminerals als mineralische Basisabdichtung im Deponiebau

(Friedländer Blauton und seine Anwendung für mineralische Abdichtungen, insbesondere im Deponiebereich)

Hans-Gerd Franke, ORA Handels GmbH & Co., Berlin

Das Friedländer Blauton-Tonmehl wird aus einer ergiebigen Lagerstätte in der Nähe der mecklenburgischen Stadt Friedland gewonnen. Der Friedländer Blauton ist ein blaugrauer, schwach schluffiger, wenig verfestigter mariner Ton. Er wurde während des eozänen Tertiärs vor ca. 67 Millionen Jahren in einem Meeresbecken abgelagert. Seine jetzigen schollenartigen Lagerungsverhältnisse sind auf die von Norden vordringenden Eismassen während des Pleistozäns vor 1,5 Millionen Jahren zurückzuführen. Das Friedländer Blauton-Vorkommen erstreckt sich auf einer Fläche von 2,8 km² und besitzt Mächtigkeiten bis zu 130 m. Aufgrund der marinen Genese weist die Lagerstätte eine große Homogenität auf.

Der Friedländer Blauton besteht zwischen 70 und 75% aus Tonmineralien, deren Anteil Quarz liegt zwischen 20 und 25%. Tonmineralogisch wird der Rohstoff etwa zu gleichen Teilen Smektit und Illit dominiert, enthält aber auch einen Anteil von ca. 10% Kaolinit.

Bei der Kornverteilung werden ca. 70% Feinstkornanteil gemessen, die Schlufffraktion liegt bei ca. 27% und ca. 3% beträgt der Anteil Feinsand.

Diese Werte werden über die gesamte Lagerstätte hinweg mit großer Homogenität erreicht. Ein Verschneiden unterschiedlicher Massen bzw. das Selektieren weniger geeigneten Materials entfällt somit. Hinsichtlich der plastischen Eigenschaften sprechen wir bei dem Friedländer Blauton von einem ausgeprägt plastischen Ton.

Der Gehalt an organischen Bestandteilen liegt unter dem laut TA-Siedlungsabfall festgeschriebenen Maximalwerten. Der Friedländer Blauton ist mit ca. 0,6% als nahezu kalkfrei einzustufen. Der Grenzkalkgehalt in mineralischen Dichtungen von < 15% ist sofern von Bedeutung, daß kalkhaltige Mergel mit Friedländer Blauton-Tonmehl verbessert werden können.

Gemäß dem Aktivitätsdiagramm nach Skempton ergibt sich für den Friedländer Blauton ein „aktives Materialverhalten“.

Trotz des stark bindigen Charakters zeigt der Blauton in den Verdichtungsversuchen ein relativ gutes Verdichtungsverhalten. Die an den Einzelproben des einfachen und modifizierten Proctorversuches durchgeführten Durchlässigkeitsversuche bestätigen

diese Feststellung und liefern Ergebnisse zwischen 5×10^{-11} und 5×10^{-12} . Die äußerst geringen Durchlässigkeitsbeiwerte werden auch im Feldversuch erreicht. Voraussetzung hierfür ist die Optimierung der gerätetechnischen und baubetrieblichen Randbedingungen mit dem Ziel einer gleichmäßigen Verdichtung und Homogenisierung.

Der natürliche Wassergehalt von ca. 32% liegt im Bereich des Proctorwassergehaltes. Ein Verdichtungsgrad $D_p > 95\%$ der einfachen Proctordichte sowie ein Luftporenanteil $n_a < 5\%$ werden erreicht.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die in den neuesten Richtlinien an mineralisches Dichtungsmaterial gestellten Anforderungen von dem Friedländer Blauton in allen Belangen eingehalten werden.

Die für die großtechnische Herstellung einer mineralischen Abdichtung erforderliche zusätzliche Optimierung der Verdichtungsgeräte, endgültige Einbaulagenstärke, Zahl der Übergänge sowie Art und Intensität der Vorzerkleinerung sind unabhängig von Eignungsprüfungen durch ergänzende Prüfungen über Probeverdichtungen in Versuchsfeldern, abgestimmt auf das konkrete Bauvorhaben, vorzunehmen.

Aufgrund seiner mineralischen Zusammensetzung und seiner geotechnischen Eigenschaften ist der Friedländer Blauton vor allem zur Vergütung von Böden prädestiniert.

Je nachdem welche Anforderungen an den Durchlässigkeitsbeiwert, den Tonmineralgehalt und den Gehalt an Feinstkorn beim jeweiligen Projekt stehen und je nach Beschaffenheit des zu vergütenden Bodens werden unterschiedliche Anteile Friedländer Blauton-Tonmehl dem zur Verfügung stehenden Material zugemischt.

Im ungünstigsten Fall der Vergütung eines einkörnigen Sandes werden zum Erreichen des Durchlässigkeitsbeiwertes $k < 1 \times 10^{-10}$ ca. 12% Friedländer Blauton-Tonmehl in Ansatz gebracht.

Meistenteils stehen zur Bodenvergütung gemischtkörnige Materialien zur Verfügung, die bereits einen bestimmten Anteil an Feinstkornfraktion unter 2 µm bzw. einen Anteil von Tonmineralien enthalten, so daß zum Erreichen der geforderten Parameter wesentlich geringere Zugaben aufzubringen sind.

Hinsichtlich der Eignung für Deponieabdichtungen werden die Tone in zwei Gruppen eingeteilt, und zwar Tone mit hohem Smektitanteil und Tone mit hohem illitischen-kaolitischen Anteilen.

Die Tone mit hohen quellfähigen Bestandteilen (Smektite) besitzen ein hohes Sorptionsvermögen, sind jedoch anfällig für Quell- und Schrumpfmechanismen und haben nur eine relativ geringe chemische Beständigkeit. Die Porenraumversiegelung ist optimal bei anorganischen Sickerwasserbestandteilen, jedoch relativ unsicher bei organischen Sickerwasserbestandteilen.

Beim Friedländer Blauton haben wir aufgrund der natürlich vorliegenden tonmineralogischen Zusammensetzung sehr günstige Voraussetzungen für die Schadstoffrückhaltung auf der einen Seite sowie Abdichtungswirkung auf der anderen Seite.

Betrachten wir die Anforderungen, die künftig an mineralische Abdichtungssysteme gestellt werden, so wird ersichtlich, daß die Qualität der zur Anwendung kommenden Tone sehr hoch sein muß. Die Anforderungen an mineralische Abdichtungen können am besten erfüllt werden, wenn geeignete Dichtungsmaterialien homogen bei angemessener Qualitätssicherung in die Deponieabdichtungssysteme eingebaut werden.

Grundsätzlich werden Dichtungsmaterialien bevorzugt, die gegenüber einer breiten Palette von chemischen Beanspruchungen beständig sind sowie ein hohes Rückhaltevermögen gegenüber Schwermetallen und organischen Sickerwasserstoffen besitzen.

Die mineralischen Abdichtungssysteme können durch physikalische, chemische sowie biologische Faktoren beansprucht werden. Es ist daher sicherzustellen, daß alle Beanspruchungen ohne Beeinträchtigungen des Gesamtsystems aufgenommen werden können.

Für die Abdichtungswirkung von mineralischen Dichtungsmaterialien ist deren Erosions- und Suffosionssicherheit von Bedeutung. Dies gilt insbesondere für Dichtungsschichten aus Mischböden mit vernachlässigbarer Zugfestigkeit bzw. Kohäsion. Gemäß den einschlägigen Richtlinien und Empfehlungen ist primär die Kontaktersion bzw. -suffosion an der Grenzfläche Dichtungsschicht/Auflager von Bedeutung.

Auf der Grundlage von klassifizierenden Untersuchungen wurde der Nachweis ausreichender Sicherheit gegen Kontaktersion bzw. -suffosion rechnerisch durch Anwendung von in der Literatur veröffentlichten Grenzkriterien geführt. Durch die Berechnung wird bestätigt, daß das für die mineralische Barriere vorgesehene Tonmehl-Sand-Gemisch gegenüber dem Material des Auflagers (schwach feinsandiger Mittelsand) sowohl erosions- als auch suffosionssicher eingestuft werden kann.

Gegenüber chemischen Beanspruchungen ist der Friedländer Blauton aufgrund der tonmineralogischen Zusammensetzung sowie des sehr geringen Kalkgehaltes von ca. 0,5% und des Gehaltes an organischen Bestandteilen gemessen in Corg-Gehalt von ca. 0,9 % in hohem Maße resistent. Das betrifft sowohl die Beanspruchung durch Niederschlag als auch Sickerwasser.

Aus den bereits dargestellten Beanspruchungsfaktoren ergeben sich die Anforderungen an das Dichtungsmaterial und an die eingebaute Dichtungsschicht.

Die wichtigste Anforderung an das Dichtungsmaterial ist eine möglichst geringe Durchlässigkeit gegenüber Wasser sowie zusätzlich bei Basisabdichtungen gegenüber Schadstoffen unter Berücksichtigung des Stofftransportes, der durch Konvektion, Diffusion und Sorption bestimmt wird. Die Abdichtungseigenschaften müssen durch die Stabilität des mineralischen Abdichtungsmaterials gegenüber hydraulischen, statischen und verformungsbedingten Beanspruchungen gewährleistet werden.

Um eine Homogenität der mineralischen Abdichtungsschicht zu erreichen, ist bereits bei den Ausgangsmaterialien auf eine geringe Parameterstreuung zu achten, damit die Reproduzierbarkeit der Versuchsergebnisse und somit die Qualitätssicherung möglich ist.

Für die eine Komponente, den Friedländer Blauton-Tonmehl, ist die Homogenität sehr hoch. Der Variationskoeffizient liegt zwischen 2,8 und 7,4% in einem sehr niedrigen Bereich, somit kann beispielsweise der Tonmineralgehalt exakt eingestellt werden, ohne daß weitere aufwendige Untersuchungen erforderlich sind.

Bei der Eignungsprüfung gemischtkörniger Dichtungsmassen ist natürlich auch der anstehende Boden bzw. das Material, dem Friedländer Blauton zugemischt wird, zu untersuchen und die generelle Eignung festzustellen sowie die nach erfolgter Vergütung erreichten Werte zu dokumentieren. Der k -Wert spielt dabei nach wie vor eine wichtige Rolle.

Entscheidend für die mineralische Basisabdichtung der Deponieklasse II ist aber der Gehalt an Feinstkorn $< 2 \mu\text{m}$, der nach der TA-Siedlungsabfall mindestens 20% betragen soll, wovon die Hälfte aus Tonmineralien bestehen muß. Für die geologische Barriere, gleich, ob natürlich vorhanden oder mit technischen Mitteln hergestellt, ist in verschiedenen Ländervorschriften ein Tonmineralgehalt von mindestens 10% erforderlich. Für die Wirksamkeit der geologischen Barriere, ob natürlich vorhanden oder mit technischen Maßnahmen hergestellt, ist bei geringer Gebirgsdurchlässigkeit von $k \cdot 10^{-8} - 10^{-7} \text{ m/s}$ das Schadstoffrückhaltevermögen der Tonminerale von entscheidender Bedeutung. Das beim Friedländer Blauton natürlich vorhandene Verhältnis der

Tonminerale Smektit, Illit und Kaolinit ist für die Wirkung der geologischen Barriere geradezu ideal, da sowohl die Resistenz der Tonminerale wie auch die Schadstoffrückhaltung in hohem Maße gegeben sind.

Durch entsprechende Voruntersuchungen im Labor wird das Mischungsverhältnis von Friedländer Blauton-Tonmehl zu anstehendem Material ermittelt, bei dem die Anforderungen der TA Siedlungsabfall bzw. der im konkreten Fall angewandten Vorschriften sicher erfüllt werden.

Bei jedem Bauvorhaben sind die Eignungsprüfungen für das vorgesehene mineralische Dichtungsmaterial rechtzeitig vor Baubeginn durchzuführen. Nach den Eignungsprüfungen im Labor werden Probeverdichtungen in Versuchsfeldern durchgeführt.

Unter Probeverdichtungen sind Verdichtungsprüfungen in begrenzten Versuchsfeldern zu verstehen, die generell vor Beginn der Erdarbeiten und zwar grundsätzlich innerhalb des eigentlichen Baufeldes angelegt werden. Die Lage ist dabei so zu wählen, daß die Auflagerfläche und der Aufbau den späteren Baustellenbedingungen entspricht.

Zweck der Probeverdichtung ist, für das jeweilige Dichtungsmaterial und den vorhandenen Untergrund die geeigneten Verdichtungsgeräte oder Gerätekombinationen nach Art und Arbeitsweise festlegen zu können. Ziel ist es, die entscheidenden Parameter Homogenität und Dichtigkeit zu optimieren. Dafür muß außerdem die erforderliche Anzahl der Verdichtungsübergänge in Abhängigkeit von der jeweiligen Schütthöhe ermittelt werden.

Es wird untersucht, ob die Werte für Dichte, Wassergehalt und Durchlässigkeitsbeiwerte, die mit den im Labor verdichteten Proben ermittelt worden sind, auch beim Einbau mit Erdbaugeräten erreicht werden können. Die Ergebnisse der Untersuchung dienen als Grundlage zur Festlegung der Einbau- und Abnahmekriterien für die Abdichtungsschicht. Die Ergebnisse der Eignungsprüfung einschließlich der Versuchsfelderergebnisse sind zu dokumentieren. Die im Labor ermittelten Ergebnisse müssen sich dabei in den Versuchsfeldergebnissen widerspiegeln.

Probleme bereiten dabei häufig die beträchtlichen Schwankungen der Qualität vieler Lehm- und Tonlagerstätten. Bei Variationskoeffizienten von über 20 ja sogar 50 bis 100% können keine für Deponie erforderlichen homogenen Qualitäten in der mineralischen Dichtungsschicht erreicht werden.

Über bestimmte Transportentfernungen hinweg ist der Einsatz von Rohton, der in der Regel im ungemischten grubenfeuchten Zustand eingebaut wird, nicht mehr ökonomisch. Außerdem ist die Belastung öffentlicher Verkehrswege beim Transport von Rohton im Vergleich zur Anwendung von Friedländer Blauton-Tonmehl etwa 10x so hoch. Stellt man

sich vor, daß allein für die Basisabdichtung einer mittleren Deponie schon etwa um die 100.000 t Ton zu transportieren sind, so ist das ebenfalls ein umweltbelastender Faktor.

Die Anwendung des Friedländer Blauton-Tonmehles bringt hier deutliche Vorteile. Das Blauton-Tonmehl ist bei der Verarbeitung im Vergleich zu hochquellfähigen Tonmineralezeugnissen unkompliziert zu verarbeiten und weniger empfindlich gegen extreme Witterungseinflüsse. Die Gefahr, daß die geringe Durchlässigkeit sich nach Kontakt mit deponiebürtigen Stoffen verändert, besteht im Gegensatz zu den hochquellfähigen Tonerzeugnissen ebenfalls nicht. Das Friedländer Blauton-Tonmehl ist für die verschiedensten Arten der mineralischen Abdichtung eine echte Alternative. Die 1992/93 mit Friedländer Blauton-Tonmehl bzw. grubenfeuchtem Ton basisabdichteten Deponien erfüllen alle Anforderungen an die mineralische Dichtungsschicht.

Überzeugen Sie sich selbst von der Qualität und den Anwendungsmöglichkeiten der Friedländer Tonminerale.

*Ing. Hans-Gerd Franke
ORA Handels GmbH & Co.
Ex- und Import KG, Berlin*