

RESL, S. und WERNER, G., Chemie Linz AG, Österreich

**DIE ERHÖHUNG DER ÖRTLICHEN GRUNDBRUCHSICHERHEIT IM STRASSENBAU DURCH DEN EINSATZ VON SPINNVLIESSEN**

**THE INFLUENCE OF NONWOVEN NEEDLEPUNCHED GEOTEXTILES ON THE ULTIMATE BEARING CAPACITY OF THE SUBGRADE**

**L'INFLUENCE DES GEOTEXTILES NON-TISSÉS AGUILLETÉS SUR LA PORTANCE DU SOUS-SOL**

Um den tragfähigkeitserhöhenden Effekt der Trennfunktion von mechanisch verfestigten Endlosfaservliesen zu quantifizieren, wurden Lastplattenversuche mit verschiedenen Böden und Schüttmaterialien durchgeführt. Dabei zeigte sich, daß der Effekt weitaus höher ist, als durch Berechnungen auf der Basis des Membranspannungseffektes zu erwarten war. Daß dieser Effekt auch beim Einsatz von hochfesten Geotextilien aufgrund der Verankerungsbedingungen rechnerisch eine vernachlässigbar kleine Erhöhung der Tragfähigkeit ergibt, wurde anhand eines Beispiels nachgewiesen. D. h. also, daß die Hauptfunktion eines Geotextils im Straßenbau nicht das Verstärken ist, sondern das Trennen, Filtern und Drainieren.

In order to determine the influence of nonwoven needlepunched geotextiles on the bearing capacity of the subgrade, plate-loading test were carried out, using different subgrade- and fill-materials. These tests have shown, that the reinforcing effect is much higher than predicted by means of calculations based on the membrane-effect. An example which has been calculated shows, that depending on how the geotextile is anchored, the mathematical increase of the bearing capacity even when using a high-modulus-fabric is negligible. That means, that the main function of geotextiles in road construction is not reinforcement, but separation, filtration and drainage.

**1. Allgemeines**

Vielfach besteht die Notwendigkeit, unbefestigte Straßen (Baustellen- oder Forststraßen bzw. die untere Tragschicht befestigter Straßen) über sehr schlechten Untergrund zu bauen. Charakteristisch für solche Straßen sind neben dem Fehlen einer Deckschicht die sehr hohen Achslasten der Baustellenfahrzeuge. Aus diesem Grund ist für die Stabilität entscheidend, daß örtliche Grundbrüche verhindert werden. Eine Möglichkeit zur Vermeidung örtlicher Grundbrüche besteht darin, so hoch zu schütten, daß durch die lastverteilende Wirkung des Schüttmaterials die Spannung an der Grenzfläche Schüttung - Boden kleiner als die Bruchlast des Untergrundes wird (Abb. 1.1.).

**2. Lastplattenversuche**

Um den verstärkenden Effekt eines Vlieses zu quantifizieren, wurden im Labor Lastplattenversuche durchgeführt. Eine Schüttbox mit den Abmessungen 2,8 m x 3,8 m wurde mit einer Folie ausgekleidet, anschließend wurde der Boden bis zu einer Höhe von 80 cm eingebaut. Das Versuchsprogramm beinhaltete folgende 2 Bodentypen:

- a) lockerer Sand (CBR = 3 %)
- b) flüßiger bis breiiger Schluff, mittelplastisch ("Seeton") (CBR < 0,5 %)

Beide Böden wurden wassergesättigt gehalten, der "Grundwasserstand" wurde mittels eingebauter Standrohre kontrolliert. Die Versuche wurden sowohl mit als auch ohne Geotextil durchgeführt. Als Geotextil wurde ein mechanisch verfestigtes Endlosfaservlies aus Polypropylen mit 280 g/m<sup>2</sup>, mit der Markenbezeichnung Polyfelt TS 700, verwendet. Die Kennwerte können der Tab. 2.1. entnommen werden.

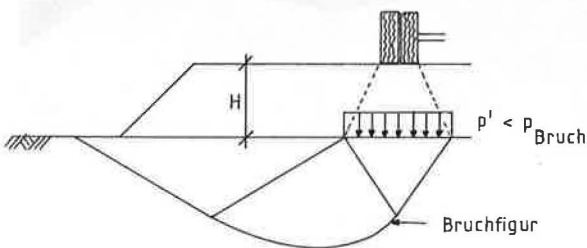


Abb. 1.1. Versagensmechanismus unbefestigter Straßen

Die Bruchlast des Untergrundes wird näherungsweise mit  $p_{Bruch} = (2 + \pi) \cdot C_u = 5,14 C_u$  berechnet, wobei  $C_u$  die undrainierte Scherfestigkeit darstellt.

Wie die  $p^j$ -axis zeigt, kann durch den Einbau eines Geotextils zwischen Untergrund und Schüttung die Bruchlast so weit erhöht werden, daß die Schütthöhe H um ca. 15 - 40 % reduziert und damit Schüttmaterial eingespart werden kann.

Kennwert	Norm	Einheit	TS 700
Flächengewicht	DIN 53854	g/m <sup>2</sup>	280
Dicke	DIN 53855/3	mm	2,6
Streifenzugfestigkeit	DIN 53857	N/5 cm	800
Reißdehnung	DIN 53857	%	50-80

Tab. 2.1. technische Daten des verwendeten Geotextils

Als Schüttmaterial kamen ebenfalls zwei Varianten zur Durchführung:

- a) Sand
- b) Kantkorn (Kiessand, U = 28)

Das Material wurde 30 bzw. 50 cm hoch eingebaut und mit einer ca. 50 kg schweren Rüttelplatte in vier Übergängen verdichtet.

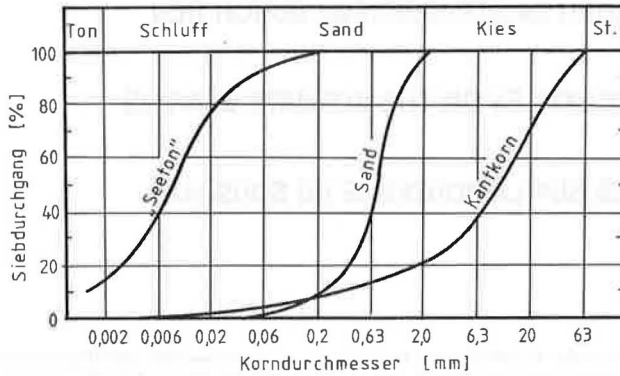


Abb. 2.1. Kornverteilung der Böden und Schüttmaterialien

Die Lastaufbringung erfolgte mittels eines Lastplattenversuchsgerätes nach ÖNORM B 4417 mit einer Platte von 30 cm Durchmesser. Als Widerlage für den Druckzylinder wurden zwei miteinander verbundene I-Träger zwischen den Wänden eingezogen und dort ausreichend verankert. Die Träger konnten auch fallweise gegen die Decke abgestützt werden.

Als Meßbrücke für die Setzungsmessungen wurde die y-förmige Meßbrücke des Lastplattenversuchsgerätes verwendet. Sie wurde direkt an den Seitenwänden befestigt und war somit von der Lastaufbringung völlig unbeeinflusst.

Die Versuchsanordnung ist in Abb. 2.2. schematisch dargestellt.

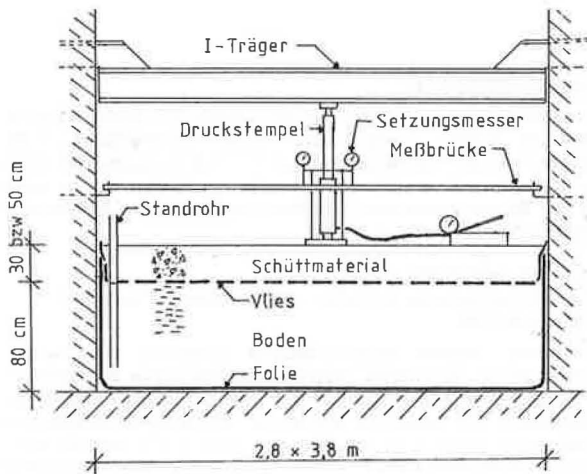


Abb. 2.2. Versuchsanordnung, schematisch

Die Belastung erfolgte in folgenden Laststufen:

Untergrund Sand	0,05 MN/m <sup>2</sup>
Untergrund "Seeton"/Schüttmaterial Kantkorn	0,02 MN/m <sup>2</sup>
Untergrund "Seeton"/Schüttmaterial Sand	0,01 MN/m <sup>2</sup>

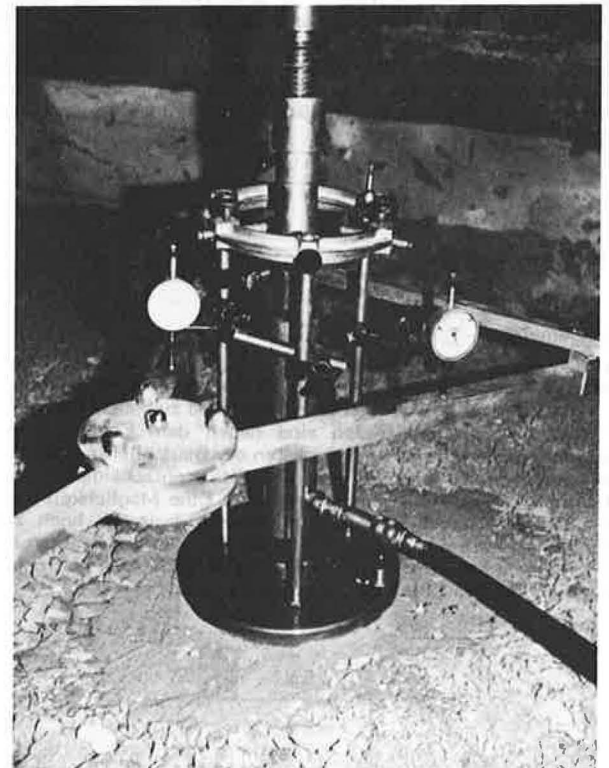
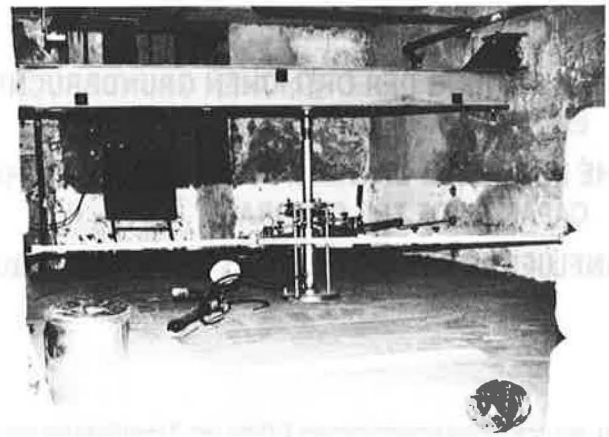


Abb. 2.3. Versuchsanordnung

3. Versuchsergebnisse

3.1. Untergrund Sand

Die Lastsetzungslinien sind in den Abb. 3.1. und 3.2. dargestellt. Ein Grundbruch konnte aufgrund des relativ guten Bodens und

des hervorragenden Schüttmaterials nicht erreicht werden. Aus den Diagrammen ist aber eine Steigerung der Tragfähigkeit um ca. 15 % feststellbar. Inwieweit in der Praxis unter solchen Verhältnissen der Einsatz eines Geotextils sinnvoll erscheint, ist eine Frage von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen.

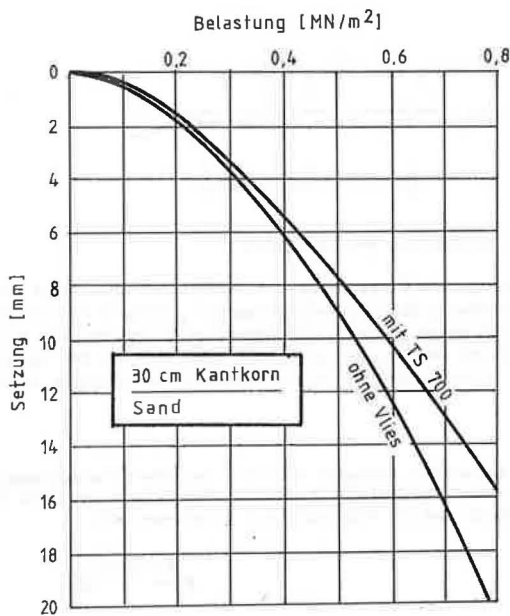


Abb. 3.1. Versuchsergebnisse 30 cm Kantkorn auf Sand

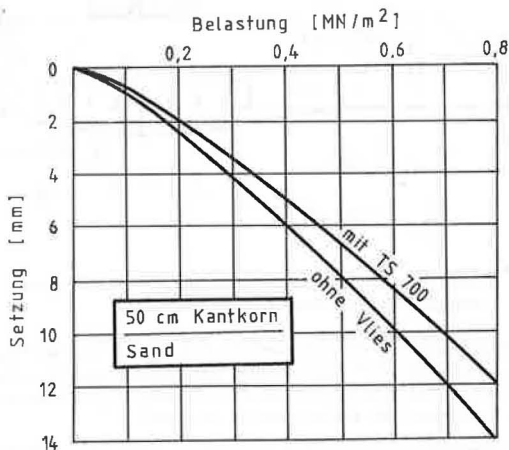


Abb. 3.2. Versuchsergebnisse 50 cm Kantkorn auf Sand

### 3.2. Untergrund "Seeton"

Die Abbildungen 3.3. und 3.4. zeigen die Lastsetzungslinien.

Wie die Abbildungen zeigen, wurde der größte Effekt bei einer Schüttung von 30 cm Kantkorn erzielt. Die zusätzlich aufnehmbare Last lag bei ca. 50 kN/m<sup>2</sup>.

Als besonderer Effekt ist noch die bessere Verdichtbarkeit des Schüttmaterials zu erwähnen. Bei gleicher Verdichtungsenergie (jeweils 4 Übergänge) ergaben sich die in der Tabelle 3.1. wiedergegebenen Trockenraumgewichte.

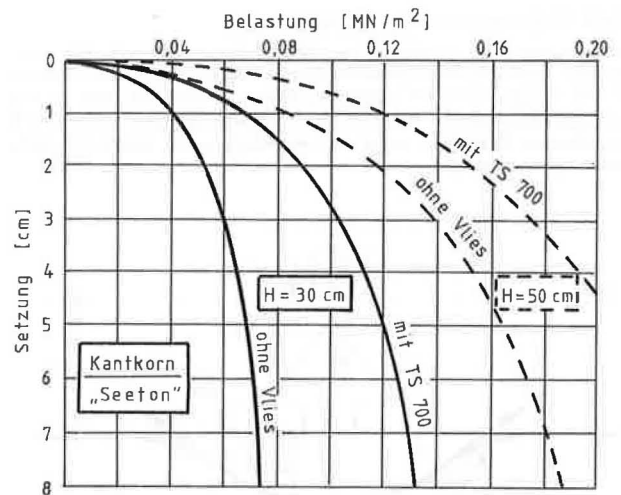


Abb. 3.3. Versuchsergebnisse Kantkorn auf "Seeton"

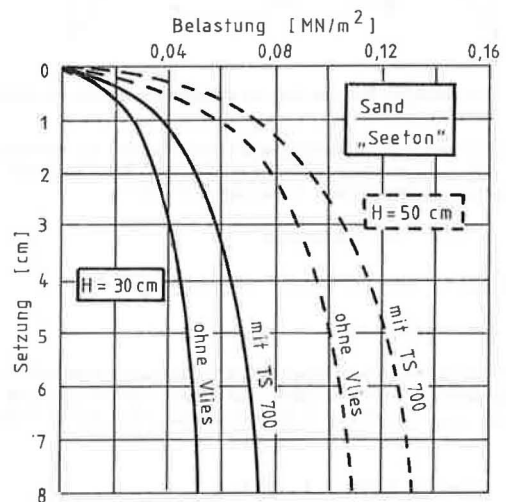


Abb. 3.4. Versuchsergebnisse Sand auf "Seeton"

		ohne Geotextil (kN/m <sup>2</sup> )	mit TS 700 (kN/m <sup>2</sup> )
Schüttmaterial Sand	30 cm	14,9	15,8
	50 cm	15,0	15,9
Schüttmaterial Kantkorn	30 cm	16,9	17,7
	50 cm	17,2	18,4

Tab. 3.1. nach der Verdichtung erzielte Trockenraumgewichte (kN/m<sup>2</sup>)

Mit einem Geotextil als Trennlage konnte also das Schüttmaterial wesentlich besser verdichtet werden.

4. Die Wirkungsweise des Geotextils

Vielfach wird die Erhöhung der Grundbruchlast durch den Einbau von Geotextilien mit dem Membranspannungseffekt erklärt (1). Im folgenden wird versucht, diesen Effekt für die in den Lastplattenversuchen gegebenen Randbedingungen rechnerisch zu erfassen. Abb. 4.1. zeigt die Annahmen, die dieser Berechnung zugrunde liegen.

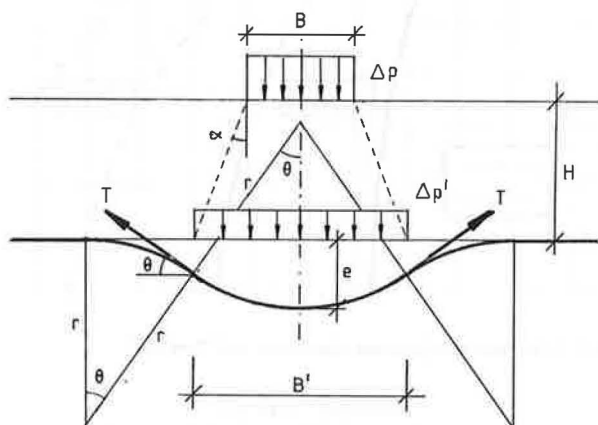


Abb. 4.1. Grundlagen für die Membranspannungstheorie nach (1)

Aus den geometrischen Bedingungen ergibt sich in Abhängigkeit von der Geotextileinsenkung e und dem Durchmesser der Setzungsmulde B' der Winkel theta aus der Gleichung

$$e/B' = (1 - \cos \theta) / \sin \theta$$

Daraus ergibt sich die Dehnung epsilon des Geotextils mit

$$\epsilon = \theta / \sin \theta - 1$$

Bei Annahme eines linearen Spannungs-Dehnungs-Verlaufes (T = E . epsilon) errechnet sich aus dem vertikalen Gleichgewicht der Kräfte, die vom Geotextil aufgenommene zusätzliche Last Delta p zu

$$\Delta p = 4 \cdot (B'/B^2) \cdot T \cdot \sin \theta$$

Nimmt man für das Kantkorn eine Lastverteilungswinkel alpha von 30 Grad an, so wird B' bei einer Schütthöhe von 30 cm

$$B' = B + 2H \cdot \tan \alpha = 65 \text{ cm}$$

Bei einer Einsenkung e = 5 cm ergibt sich eine rechnerische Geotextildehnung epsilon von ca. 0,5 % und somit wird bei einem Modul E = 15 kN/m für Polyfelt TS 700 die Bruchlast um nur Delta p = 0,30 kN/m² erhöht! Der rechnerische Tragfähigkeitszuwachs ist also sehr klein, verglichen mit den aus den Versuchen ermittelten Werten von Delta p approx 50 kN/m².

Betrachtet man nun den Wirkungsmechanismus einer geotextilverstärkten, unbefestigten Straße, so zeigt sich außerdem folgender Effekt: Die Zugkraft T im Geotextil ist begrenzt durch die Tatsache, daß diese über die Reibung zwischen Geotextil und Schüttmaterial bzw. Untergrund im Verankerungsbereich übertragen werden muß. Diese Grenzzugkraft T\_max errechnet sich aus der Verankerungslänge l\_a, dem Reibungswinkel delta und der Schütthöhe H zu

$$T_{\max} = l_a \cdot \gamma \cdot H \cdot \tan \delta$$

wobei für ein Vlies mit delta = phi, für ein Gewebe jedoch auf Grund der glatteren Oberfläche mit delta = 2/3 . phi gerechnet werden kann.

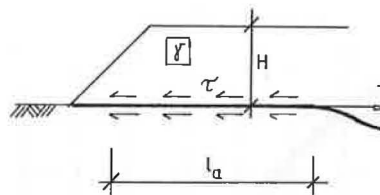


Abb. 4.2. Verankerung des Geotextils

Erhöht sich nun die Einsenkung e, so äußert sich dies nicht mehr in einer Erhöhung der Geotextildehnung epsilon, sondern das Geotextil wird nach innen gezogen. Da diese Verschiebungswege in der Größenordnung von einigen cm liegen können, kann bei Verwendung von scharfkantigem Schüttmaterial ein Gewebe örtlich reißen.

In einem konkreten Beispiel soll nun der Membranspannungseffekt für ein hochfestes Gewebe nachgerechnet werden. Die Angaben dazu sind der Abbildung 4.3. zu entnehmen.

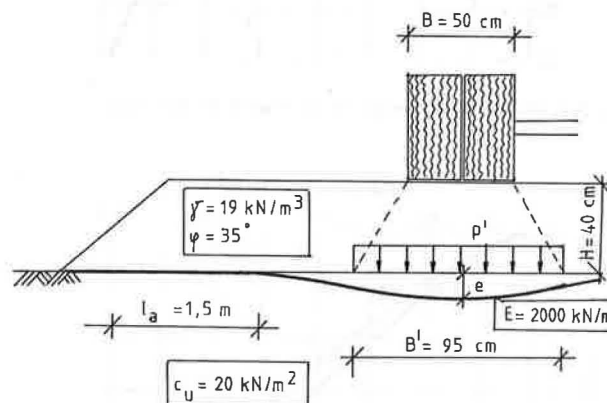


Abb. 4.3. Angaben zur Vergleichsrechnung "Membranspannungseffekt mit hochfestem Gewebe"

Die Grundbruchlast auf der Geotextilebene p' ist ohne Geotextil (2 + pi) . c\_u approx 100 kN/m². Um wieviel kann nun diese Bruchlast durch die Verwendung eines hochfesten Gewebes (Zugfestigkeit 200 kN/m, E-Modul 2000 kN/m) erhöht werden?

Aus der Verankerungsbedingung errechnet man die maximal aufnehmbare Zugkraft mit T\_max = 4,9 kN/m. Wie die folgende Tabelle zeigt, wird aufgrund der geringen Dehnung des Geotextils die Grenzzugkraft T\_max bereits bei einer Einsenkung e von ca. 3 cm erreicht. Mit p' = 2 . T . sin theta / B' ergibt sich die Erhöhung der Grundbruchlast Delta p'. In der letzten Spalte ist der jeweilige Ausziehweg s des Geotextils angegeben.

e [cm]	e/B'	theta [°]	epsilon [%]	T [kN/m]	Delta p' [kN/m²]	s [cm]
2	0,021	2,5	0,03	0,63	0,058	-
5	0,053	6,1	0,21	4,90	1,10	0,1
10	0,105	12,0	0,76	4,90	2,14	0,6
15	0,158	18,0	1,69	4,90	3,19	1,6
20	0,211	24,0	2,97	4,90	4,20	3,1

Tab. 4.1. Berechnung der Erhöhung der Grundbruchlast

Vergleicht man nun diese Werte mit der ohne Geotextil vorhandenen Bruchlast von  $100 \text{ kN/m}^2$ , so ist offensichtlich, daß sich selbst durch ein hochfestes Gewebe die Bruchlast rechnerisch nur um wenige % erhöht (Abb. 4.4.)!

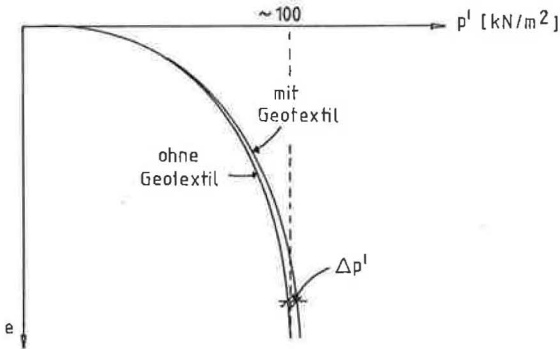


Abb. 4.4. Last-Setzungs-Diagramm mit und ohne Geotextil

Wie Abb. 4.4. zeigt, ist also der verstärkende Effekt, der sich aus der Membranspannungstheorie ergibt, verschwindend klein, woraus sich schließen läßt, daß andere Mechanismen für die Erhöhung der Bruchlast verantwortlich zeichnen und daher der E-Modul des Geotextils nur eine untergeordnete Rolle spielt.

Welche sind nun diese Mechanismen?

Aus der Praxis und aus Versuchen sind verschiedene Effekte bekannt, die wahrscheinlich einen wesentlichen Beitrag zur Tragfähigkeitserhöhung liefern, die aber bis jetzt nicht rechnerisch erfaßbar sind.

- Ein wesentlicher Punkt ist die höhere Verdichtbarkeit des Schüttmaterials, da die vom Verdichtungsgerät ausgehenden Wellen an der Geotextilebene reflektiert werden. Die durchgeführten Versuche haben die eindeutig bestätigt (siehe Tab. 3.1.).
- Durch die Trennfunktion des Geotextils wird eine örtliche Vermischung von Untergrund und Schüttmaterial verhindert. In dieser Vermischungszone (Abb. 4.5. a), deren Dicke sich rechnerisch nicht erfassen läßt, wird aufgrund der hohen plastischen Deformationen durch das Eindringen der Schüttmaterialkörner die Durchlässigkeit verringert, was zu einer Störung des Konsolidierungsprozesses führt. Ein Vlies als Trennschicht gewährleistet hingegen eine einwandfreie Entwässerung des Untergrundes (Abb. 4.5. b), was für die Beurteilung der Tragfähigkeit nicht außer Acht gelassen werden darf.

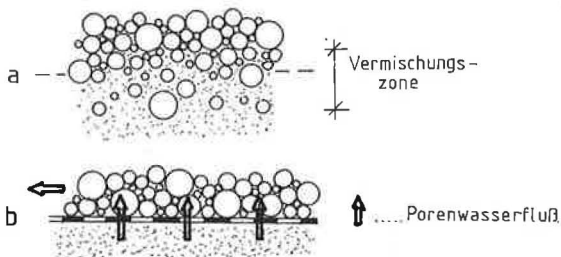


Abb. 4.5. Grenzbereich Schüttung - Untergrund  
a) ohne Geotextil  
b) mit Geotextil

- Schließlich darf auch nicht außer Acht gelassen werden, daß ohne Geotextil die Kompaktheit des Schüttkörpers nicht gewährleistet ist. Die auftretenden Risse beeinträchtigen die Lastverteilung wesentlich. Ein Geotextil bewirkt hingegen eine gleichmäßigere Setzungsmulde und damit eine geringere Rißbildung (Abb. 4.6.).

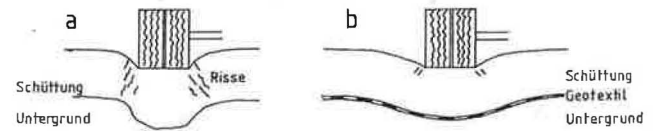


Abb. 4.6. Rißbildung im Schüttkörper  
a) ohne Geotextil  
b) mit Geotextil

5. Zusammenfassung

- a) Bei den durchgeführten Lastplattenversuchen wurden folgende Erhöhungen der Grundbruchlasten festgestellt:  

Untergrund Sand (CBR = 3 %):	15 %
Untergrund "Seeton" (CBR < 0,5 %):	
Schüttmaterial: 30 cm Kantkorn:	60 %
50 cm Kantkorn:	25 %
30 cm Sand:	30 %
50 cm Sand:	20 %
- b) Berechnungen auf der Basis der Membranspannungstheorie ergaben nur eine minimale und praktisch vernachlässigbare Tragfähigkeitserhöhung. Weiters liefert der Membranspannungseffekt bei einem gerechneten Beispiel selbst beim Einsatz von hochfesten Geweben auf Grund der verfügbaren Verankerungsbedingungen nur eine rechnerische Erhöhung von wenigen %. Da diese Ergebnisse in krasserm Widerspruch zu den Versuchsergebnissen und den in der Praxis anzutreffenden Erfahrungswerten stehen, läßt sich folgern, daß die Armierungsfunktion eines Geotextils von untergeordneter Bedeutung ist, während Trennen, Filtern und Drainieren sowie zusätzliche, rechnerisch schwer erfaßbare Effekte, basierend auf Spannungsumlagerungen, wesentlich mehr zur Tragfähigkeitserhöhung im Straßenbau beitragen.

Literaturhinweis

(1) Gourc, J. P. et al:  
"Capacité portante d'un bicouche, sable sur sol mou, renforcé par géotextile"  
2<sup>nd</sup> International Conference on Geotextiles  
Las Vegas (1982)