

WERNER, G., Chemie Linz AG, Österreich

BEMESSUNGSGRUNDLAGE FÜR DIE GEOTEXTILTRENNFUNKTION AUF BASIS MECHANISCHER GEOTEXTILPRÜFUNGEN

DESIGN CRITERIA FOR THE SEPARATION FUNCTION OF GEOTEXTILES ON THE BASIS OF MECHANICAL TEST PROCEDURES

LE DIMENSIONNEMENT DE GEOTEXTILES JOUANT LE ROLE DE SEPARATEUR SUR LA BASE D'ESSAIS MECANQUES

Die Trennfunktion der Geotextilien ist die Hauptfunktion Nr. 1 für die Geotextilanwendungen. Betrachtet man internationale Tendenzen bei der Erstellung von Standard-Spezifikationen für die Gewährleistung der Geotextiltrennfunktion, so findet man die Stempeldurchdrück-, Berstdruck- u. Weiterreißfestigkeit als wesentliche Spezifikationskriterien.

Die Prüfwerte können jedoch nur dann als Spezifikationskriterien gelten, wenn sie in Relation mit der Baustellenbeanspruchung gesehen werden. Damit verbundene Versuche an unterschiedlichen Geotextilien zeigten, daß eine praxisingerechte Modifizierung des Standard CBR-Versuches zu einer drastischen Reduzierung der Stempeldurchdrückfestigkeit führen kann. Sie zeigen somit auch die Erfordernisse für künftige Spezifizierungen und Klassifizierungen von Geotextilien in Bezug auf Festigkeit und Dehnung in eingebautem Zustand.

Dieser Bericht zeigt, wie die maßgebenden Geotextilbeanspruchungen für die Trennfunktion mittels Durchstanz-, Berst- u. Weiterreißanalysen auf Basis der mechan. Eigenschaften des vernadelten PP-Endlosfaserspinnvlieses Polyfelt TS erfaßt werden können.

Einleitung

Die Spezifizierung und Klassifizierung von Geotextilien ohne Berücksichtigung baustellenbezogener Einflußparameter widerspricht ingenieurmäßigen Grundsätzen. Zur Erfassung der Geotextilbeanspruchungen in Einbau- und Endzustand muß ein Zusammenhang zwischen den in Geotextilprüfungen ermittelten vorhandenen Materialeigenschaften und den aus Belastungszuständen erforderlichen Materialeigenschaften hergestellt werden.

1) Geotextilbeanspruchungen

Durchstanz- u. Berstbeanspruchungen sind die wesentlichen Beanspruchungsarten für das Geotextil im eingebauten Zustand zwischen weichem Untergrund von geringer Tragfähigkeit und dem Schüttmaterial (Abb. 1). Das den Beanspruchungsarten angepaßte Kraft-Dehnungsverhalten des Geotextils muß geeignet sein, die dauernde Geotextiltrennfunktion zu gewährleisten.

a) Dehnungsbetrachtung

Eine hohe Bruchdehnung des Geotextils ermöglicht unabhängig von der Größenordnung der Sohlnormalspannung ein schadloses Anpassen des Geotextils an die Unebenheiten und Unregelmäßigkeiten der Geländeoberfläche und der Schüttmaterialien.

Geotextilien mit hoher Bruchdehnung sind deshalb auch von dem Spezifikationskriterium der Weiterreißfestigkeit nicht betroffen, da selbst bei dyn. Lasteinwirkung das Entstehen von Perforationen und damit ein Ansatzpunkt für eine Weiterreißbeanspruchung unwahrscheinlich ist.

The separation function of geotextiles is the primary function in the majority of geotextile applications. When considering international specification tendencies that aim to guarantee the separation function of geotextiles one finds the CBR-puncture Resistance, Muller Burst Strength and Tear Strength as essential specification criteria. However these test results can only be viewed as suitable criteria for specifications if they are considered in relation to site related stresses. Tests which have been carried out show that in a practical context modification of the standard CBR-test may result in a significant reduction of the puncture resistance of various geotextiles. They indicate the necessity for additional specifications and classifications that consider the importance of strength and elongation in relation to on-site conditions.

This paper specifically evaluates the relevant stress situations for geotextiles by means of puncture, burst and tear analysis of the mechanical properties of Polyfelt TS non-woven (continuous filament needle punched polypropylene geotextile).

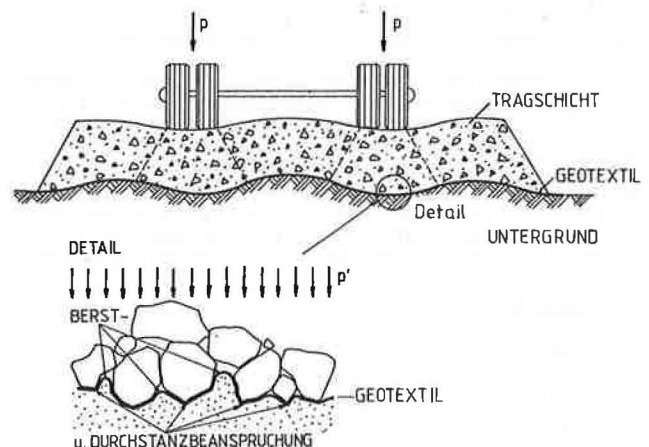


Abb. 1: maßgebende Geotextilbeanspruchung für die Trennfunktion

b) Festigkeitsbetrachtung

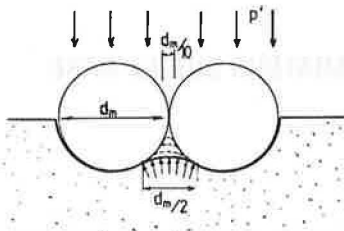
Das Geotextil muß

- örtl. Spannungskonzentrationen infolge Punktbelastung durch eine entsprechend hohe Durchstanzfestigkeit sowie
- durch "Überspannen" der Schüttmaterial Hohlräume den aus gleichmäßiger Sohlnormalspannung resultierenden Berstdruck auf Dauer schadlos aufnehmen können, d. h. ausreichende Berstdruckfestigkeit besitzen.

c) Grenzwertbetrachtung zur Verformungsgeometrie

Voraussetzung für die folgende Grenzwertbetrachtung ist eine genügend weiche Konsistenz des Bodens, sodaß Steine oder auch andere Schüttmaterialien unter realistischer Belastungsannahme in den weichen Boden "eingedrückt" werden können.

I) abgerundete, stumpfe Schüttmaterialien



Durchstanzbeanspruchung: nicht vorhanden

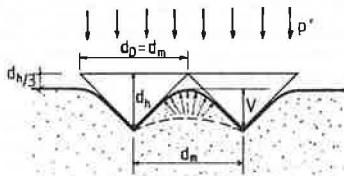
Berstbeanspruchung: $d_B = d_m/2 - d_m/10$

wobei

d_B = effektiver Berstdruckdurchmesser

d_m = mittlerer Gesteinsdurchmesser Rundkorn

II) scharfkantige, spitze Schüttmaterialien



Durchstanzbeanspruchung: $d_D = d_m$

Berstbeanspruchung: $d_B = d_m$

wobei

d_D = effektiver Durchstanzdurchmesser

d_m = mittlerer Gesteinsdurchmesser Kantkorn

Abb. 2: Verformungsgeometrie der Geotextiltrennlage

Die Grenzfälle I und II stellen die Basis für die Versuchsanordnung zur Erarbeitung von Bemessungsdiagrammen für die Durchstanz u. Berstanalyse dar. Da diese Beanspruchungssituation jedoch für den Regelfall, wo Bruchschotter verwendet wird, zu extreme Anforderungen an die Leistungsfähigkeit eines Geotextils für die Trennfunktionsaufgabe stellen würde, wurden die effektiven Beanspruchungsdurchmesser entsprechend abgemindert (siehe Abschnitte 2 u. 3). Weiters kann nach (1) die Annahme getroffen werden, daß im Durchschnitt ein Kontaktpunkt pro 10 cm Durchmesser in der Kontaktfläche Schüttmaterial-Geotextil existiert.

2) Durchstanzanalyse

Zur Beurteilung der Durchstanzgefährdung eines Geotextils unter statischer Belastung- wobei hier auch die Verkehrsbelastung aus dem Baustellenverkehr als stat. Last angenommen wird - muß sowohl die Durchstanzdehnung wie auch Durchstanzfestigkeit berücksichtigt werden.

2.1. Durchstanzfestigkeit

Zur Bestimmung der erforderlichen Durchstanzfestigkeit müssen die Kontaktkräfte der Gesteinsauflagerpunkte bestimmt werden. Die erforderliche Durchstanzfestigkeit eines Geotextils ergibt sich allgemein zu

$$CBR_{erf} = d_m^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot p' \cdot f_s \quad (1)$$

wobei zu berücksichtigen ist, daß die Größenordnung der Kontaktkräfte von der Anzahl der Kontaktpunkte abhängt.

CBR_{erf} = erforderliche Stempeldurchdrückfestigkeit als f (Belastung, Schüttmaterial)

d_m = mittlerer Gesteinsdurchmesser des Schüttmaterials

p' = max. Bodenpressung (Schüttgewicht + Verkehrslast)

f_s = Sicherheitsfaktor

Die vorhandene Durchstanzfestigkeit kann entweder im modifizierten CBR-Versuch mit pyramidenförmiger Stempelspitze bestimmt werden, oder im unmodifizierten CBR-Versuch nach DIN 54307 E durch Berücksichtigung der Kornform mittels Formfaktor.

Der ermittelte Wert nach Gleichung (1) muß mit den CBR-Werten aus dem modifizierten Stempeldurchdrückversuch verglichen werden, bei dem eine 3-seitige Pyramide von 5,0 cm Seitenlänge und 2,5 cm Höhe als Stempelspitze gewählt wurde, bzw. mit den mit Formfaktor ermittelten CBR-Werten:

$$CBR_{erf} \geq CBR_{mod} \quad \text{bzw.} \quad CBR_{erf} \geq CBR \cdot S_f \quad (2)$$

wobei

CBR_{mod} = Stempeldurchdrückfestigkeit aus mod. CBR-Versuch

CBR = Stempeldurchdrückfestigkeit nach DIN 54307 E

S_f = Formfaktor für Gesteinsform; variierend von 0,8 für runde, stumpfe Formen bis 3,0 für spitze, scharfkantige Formen (2)

Die gewählte Pyramide stimmt mit dem Kantkorn im Grenzfall II überein und entspricht einem Formfaktor S_f 2 bis 3, d. h. einem Formfaktor für gebrochenes Gestein (2).

Zur Berücksichtigung von möglichen Inhomogenitäten im Geotextil wird für örtl. Spannkonzentrationen ein Sicherheitsfaktor von $f_s = 1,2$ empfohlen.

2.2. Durchstanzdehnung:

Eine hohe Bruchdehnung gewährleistet die größtmögliche Sicherheit gegen Durchstanz, da sich das Geotextil dadurch schadlos an die Unregelmäßigkeiten des Untergrundes und des Schüttmaterials anpassen kann. Als Dehnungskriterium wird die mögliche Eindrücktiefe V eines Steines in den weichen Untergrund entsprechend Abb. 2. herangezogen:

$$V \geq 2/3 \cdot d_h \quad (3)$$

wobei

V = mögliche Eindrücktiefe des Stempels in modifizierten CBR-Versuch

d_h = mittlere Gesteinshöhe des Schüttmaterials

Die Korrelation zwischen der Eindrücktiefe V und der Dehnung ϵ im Stempeldurchdrückversuch mit aufgesetzter 3-seitiger Pyramide zeigt Abb. 3. Die Dehnung, die einer Streifzugdehnung von 80 % entspricht, ist entsprechend den geometrischen Dehnkriterien ausreichend, um sich unter der Einwirkung der Sohlnormalspannung schadensfrei vorhandenen Bodenunebenheiten anzupassen. Selbst wenn die Bodenpressung signifikant ansteigen sollte, kommt es im Geotextil zu keiner weiteren Spannungszunahme, da es in der Grenzfläche Schüttmaterial - Boden vollflächig anliegt.

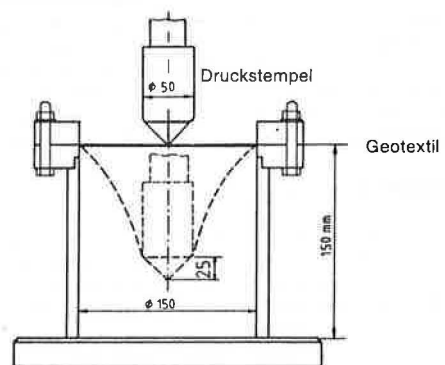


Abb. 3: modifizierter CBR-Versuch mit 3-seitiger Pyramidenstempelspitze

Die Stempeldurchdrückversuche mit mod. Stempel wurden an mechan. verfestigten Vliesen, thermisch verfestigten Vliesen und an Bändchengeweben durchgeführt, um einen Quervergleich über das Durchstanzverhalten unterschiedlicher am Markt befindlicher Geotextilien festzustellen. Die Ergebnisse aus den modifizierten Stempeldurchdrückversuchen sind in Abb. 4 dargestellt.

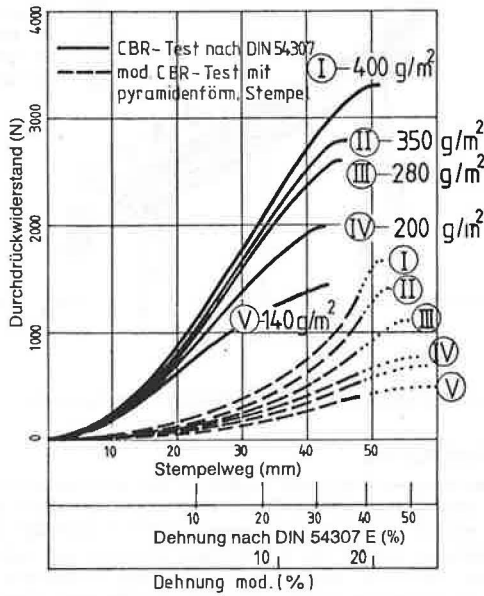


Abb. 4: Kraft-Dehnungsdiagramm für

a) mod. versus unmod. CBR-Versuch für mechan. verfestigtes PP-Endlosfaserspinnvlies (I,II,III,IV,V,-Typen verschiedener Grammaturen)

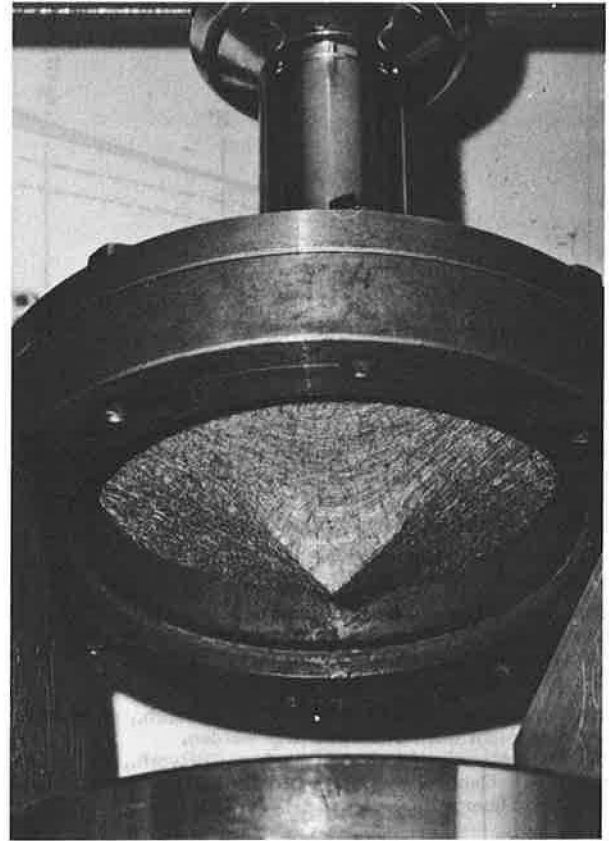
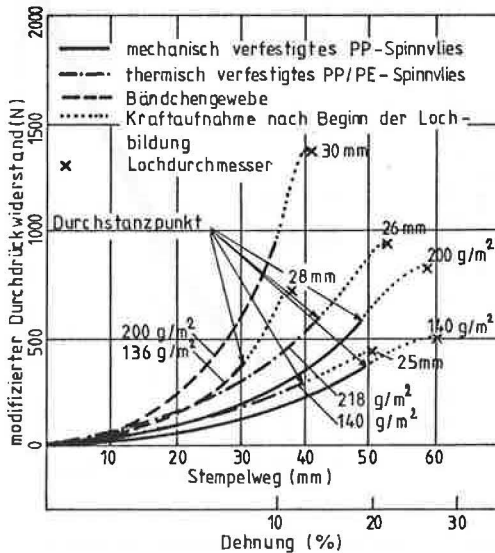


Photo zu Abb. 3

Die nachstehenden Bemessungsdiagramme für Durchstanzdehnung u. Durchstanzfestigkeit wurden auf Basis der mod. Stempeldurchdrückergebnisse für ein mechan. verfestigtes Spinnvlies aus PP erstellt (Abb. 5/Abb. 6). Zur Berücksichtigung nichtlinearer Zusammenhänge zwischen dem Probendurchmesser im CBR-Versuch und dem Kraftdehnungsverhalten des Vlieses wurden unterschiedliche CBR-Durchmesser von 5/12/15/22,5 cm verwendet.



b) Vergleich zwischen mechan. verfestigtem Vlies - thermisch verfestigtem Vlies - Bändchengewebe

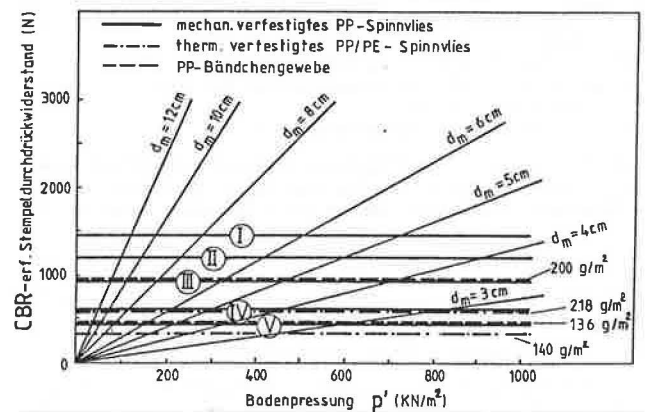


Abb. 5: Bemessungsdiagramm I für Durchstanzfestigkeit

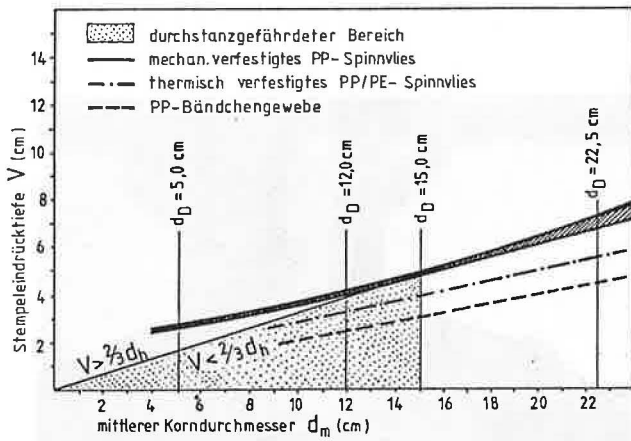


Abb. 6: Bemessungsdiagramm II für Durchstanzdehnung

Die beiden einfachen Bemessungsdiagramme ermöglichen eine ingenieurmäßige Beurteilung der Durchstanzproblematik eines Geotextils unter statischer Belastung, die in weiterer Folge auch eine sinnvolle Spezifikation von Geotextilien für Trennfunktionsanwendungen in Ausschreibungen erlaubt.

2.3. Vorgangsweise bei der Überprüfung der Durchstanzproblematik

- 1) Berechnung der max. Bodenpressung p'
- 2) Ermittlung von CBR erf. in Diagramm I als $f(p', d_m)$
- 3) Vergleich mit CBR vorh. in Diagramm I
- 4) Überprüfung von V in Diagramm II als $f(d_m)$

Ist die Durchstanzfestigkeit CBR erf. > CBR vorh., so braucht die Dehnung nicht mehr berücksichtigt werden.
Ist die Durchstanzfestigkeit CBR erf. < CBR vorh., so ist die Dehnung des Geotextils bzw. die erf. Eindringtiefe V des Geotextils zu überprüfen.

3) Berstanalyse

Auch zur Beurteilung des Berstdruckverhaltens eines Geotextils müssen Festigkeits- und Dehnverhalten untersucht werden.

3.1. Berstdruckfestigkeit

Die erforderliche Berstdruckfestigkeit läßt sich näherungsweise mit folgendem Ansatz bestimmen:

$$p_{test} \cdot d_{test} \cdot f(d_{test}) = p' \cdot d_B \quad (4)$$

wobei

- p_{test} = maximaler Berstdruck im Berstdruckversuch
- d_{test} = Durchmesser der Geotextilprobe im Berstdruckversuch
- $f(d_{test})$ = funktioneller Zusammenhang zwischen Berstdruckmesser und Berstdruckfestigkeit für das Geotextil Polyfelt TS
- p' = max. Bodenpressung auf dem Geotextil
- $d_B = d_m$ = Durchmesser der Schüttmaterialhohlräume = effektiver Berstdurchmesser
- d_m = mittlerer Schüttkorndurchmesser

Der funktionelle Zusammenhang zwischen Berstdurchmesser d_{test} und der Berstdruckfestigkeit p_{test} ergab sich für das untersuchte mechanisch verfestigte Endlosfaserspinnvlies aus PP zu

$$f(d_{test}) = \frac{1}{e^{(0,65 d_{test} - 1,95)}}$$

wo durch Umformen der Gleichung (4) folgender Ausdruck für den effektiven Berstdruck p entsteht

$$p' = p_{test} \cdot f(d_B) \cdot \frac{1}{33,3 \cdot d_B}$$

Die zusätzliche Annahme eines Sicherheitsfaktors ist nicht erforderlich, da jegliche Feinteileinlagerungen in den Schüttmaterialhohlräumen zur Verminderung der Berstdruckbeanspru-

chung führt und die Bemessung dadurch auf der sicheren Seite liegt (2).
Das Bemessungsdiagramm für die Berstdruckfestigkeit ist in Abb. 7 dargestellt.

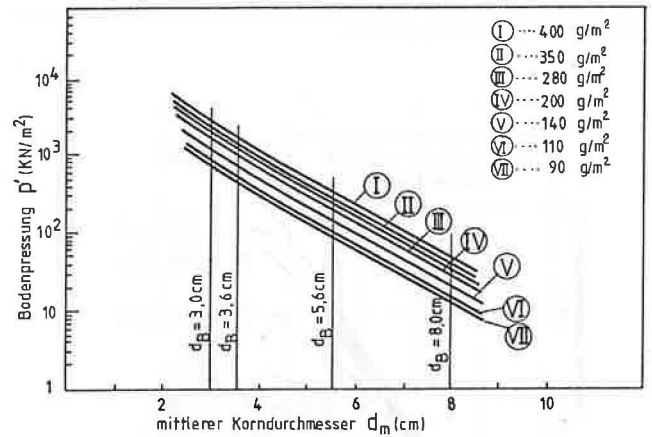


Abb. 7: Bemessungsdiagramm III für Berstdruckfestigkeit

3.2. Berstdruckdehnung

Die Berstdehnung wird über die Wölbhöhe aus dem Berstversuch errechnet. Das Dehnungskriterium wird vom Geotextil dann erfüllt, sobald die Berstdehnung mehr als 100 % beträgt, d. h. bei einer Dehnung größer als 100 % kann angenommen werden, daß sich das Geotextil unter der Berstbeanspruchung den Unebenheiten u. Schüttmaterialhohlräumen anpaßt ohne dabei zu reißen.
Das Berstdehnungskriterium für Polyfelt TS kann in Abhängigkeit vom effektiven Berstdurchmesser aus Abb. 8 entnommen werden.

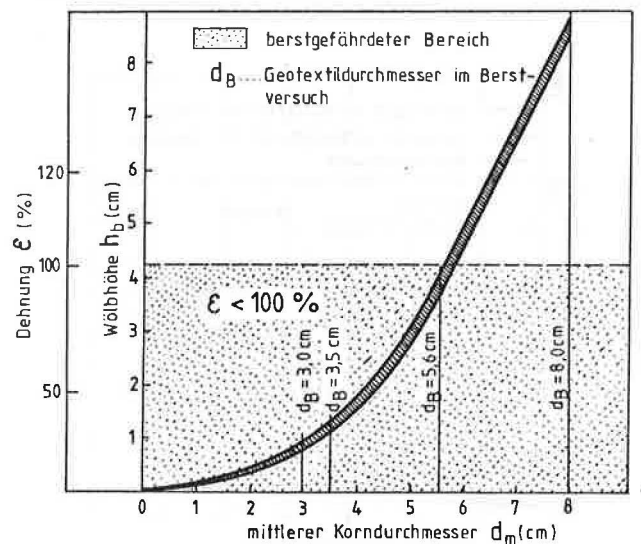


Abb. 8: Bemessungsdiagramm IV für Berstdruckdehnung

3.3. Vorgangsweise bei der Überprüfung der Berstdruckproblematik

1. Berechnung der max. Bodenpressung p'
2. Überprüfung der erforderl. Geotextilberstdruckfestigkeit als $f(d_m)$ in Diagramm III

3. Überprüfung der erforderl. Geotextilberstdruckdehnung als f/d_m Diagramm IV

Das Dehnkriterium muß nur dann überprüft werden, wenn die erforderl. Berstdruckfestigkeit vom Geotextil nicht erreicht werden kann.

4. Weiterreißanalyse

Die Weiterreißbeanspruchung ist nur für jene Geotextilien ein gerechtfertigtes Spezifikationskriterium, die auf Grund ihrer niedrigen Bruchdehnung durch dyn. Lasteintragungen im Bau wie auch Endzustand durchstanzgefährdet sind, d. h. durch Abkippen von scharfkantigen Steinen u. Schüttmaterial auf das Geotextil oder auch durch dyn. Lasten wie Eisenbahnverkehr. Bei diesen durchschlaggefährdeten Geotextilien muß eine entsprechende Weiterreißfestigkeit gesichert sein, damit bei möglichen Schadstellen im Geotextil die Trennfunktion durch Reißfortpflanzung nicht verloren geht. Der Vollständigkeit halber wird hier jedoch die Weiterreißbeanspruchung auch für die Geotextilien mit hoher Bruchdehnung mituntersucht, da die Analyse allgemeingültige Anwendbarkeit besitzen soll.

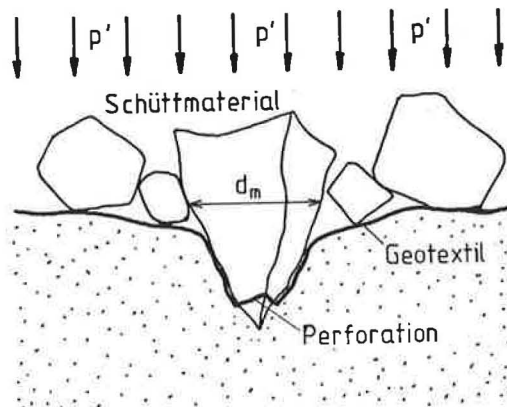


Abb. 9: Weiterreißbeanspruchung eines Geotextils

Wird als Gedankenmodell für die Weiterreißbeanspruchung eine 3-seitige Pyramide gewählt (siehe Abb. 9), so läßt sich die erforderliche Weiterreißfestigkeit approximativ ermitteln mit

$$T_{erf.} = 0,1 \cdot d_m^2 \cdot p' \cdot S_f \dots (5)$$

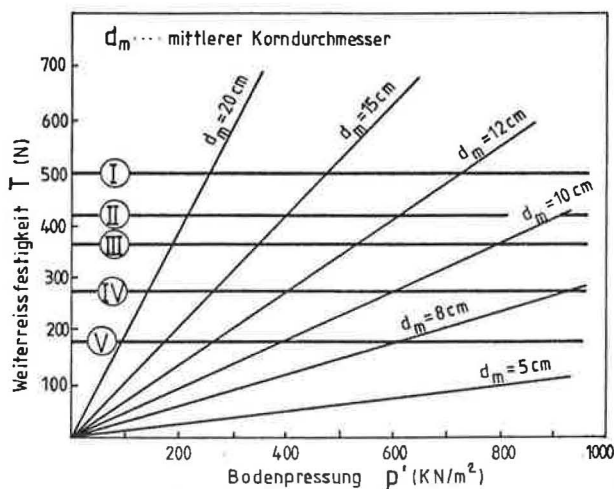


Abb. 10: Bemessungsdiagramm V für Weiterreißfestigkeit (2)

wobei

d_m = mittlerer Schüttkorndurchmesser

p' = max. Bodenpressung

$S_f = \cos \alpha \cdot \sin \alpha$ = Formfaktor, der von 0,1 für spitzwinkelige bis 0,45 für breitwinkelige Gegenstände variiert

Die größte Weiterreißbeanspruchung für das Geotextil ergibt sich unter einem Winkel

$$\alpha = 45^\circ; \text{ d. h. } T_{erf} = 0,045 \text{ dm}^2 \cdot p'$$

Die erforderliche Weiterreißfestigkeit kann dem Bemessungsdiagramm V als f (Korndurchmesser und Bodenpressung) entnommen werden.

5. Zusammenfassung

Die vorangehenden Analysen zur Beurteilung der zulässigen Geotextilbeanspruchung im Straßenbau stellen für statische Lasten eine Alternative zu den willkürlichen Geotextilspezifikationen dar. Die Analysen und die damit verbundenen Versuche brachten folgende Ergebnisse:

- die Modifizierung des flachen CBR-Stempels mittels einer praxisnäheren Pyramidenspitze führte generell zur drastischen Reduzierung der Stempeldurchdrückfestigkeit
- die Reduzierung der Stempeldurchdrückfestigkeit betrug bei den untersuchten

mechan. verfest. PP-Endlosfaserspinnvliesen	50 - 66 %
therm. verfest. PP/PE-Endlosfaserspinnvliesen	70 - 75 %
PP-Bändchengewebe	85 %
- die reduzierte Festigkeit kann durch eine genügend hohe Bruchdehnung kompensiert werden
- die aus der Verformungsgeometrie ermittelten Dehnungskriterien konnten von den bei dieser Arbeit untersuchten Geotextilien nur von den mechan. verfestigten Vliesen erfüllt werden
- zwischen effektivem Berst- bzw. Durchstanzdurchmesser und dem Spannungs-Dehnungsverhalten des mechan. verfestigten PP-Spinnvlieses Polyfelt TS besteht kein linearer Zusammenhang
- eine Typenauswahl kann bei stat. Lasten nur durch Festigkeitsanalysen, jedoch nicht durch Dehnungsanalysen erfolgen; Dehnungsanalysen dienen ausschließlich zur Bruchsicherheitsbeurteilung
- da ein Großteil der Standardgeotextilspezifikationen mit den geforderten mechan. Kennwerten nur den Belastungszustand nach der Baufertigstellung, jedoch nicht den Belastungszustand während des Geotextileinbaus und Schüttvorganges berücksichtigt, müssen reproduzierbare, praxisnahe Fallversuche als Grundlage für eine Durchschlaganalyse zur Ergänzung der statischen Analysen von den Geotextilspezifizierern gefordert werden.

Diese Ergebnisse beweisen die Möglichkeit einer ingenieurmäßigen Erarbeitung von Standardspezifikationen, wenn die Geotextilprüfungen in Relation mit der Baustellenbeanspruchung betrachtet werden. Unabhängig von den in dieser Untersuchung ermittelten Ergebnissen sind weitere umfangreiche Versuche wünschenswert, damit Standard-Spezifikationen keine willkürlichen Produktkennwerte sondern realistische Anforderungen an die anwendungsspezifischen Kennwerte von Geotextilien beinhalten.

Literaturhinweis:

(1) Giroud, J.P., Geotextiles and Geomembranes-Definitions, Properties and Design, IFAI, 1984
 (2) Bell, J.R., Koerner, R.K., Design with Geosynthetics, Course Notes, Drexel University Philadelphia, 1984