

BEURTEILUNG DER EINBAUBESCHÄDIGUNG VON GEOTEXTILIEN KORRELATION MIT INDEXVERSUCHEN

R. Diederich

DuPont de Nemours Luxemburg S.A.

KURZFASSUNG: Ein Forschungsprogramm wurde durchgeführt, um das Verhalten von gewebten Geotextilien und Vliesstoffen unter Baustellenbedingungen zu untersuchen. Eine Versuchsmethode wurde entwickelt, die eine schnelle Beurteilung unter kontrollierten und wiederholbaren Bedingungen erlaubt. Ziel des Projektes war die Untersuchung der Korrelation zwischen den in Standardversuchen ermittelten Produkteigenschaften und der tatsächlich gemessenen Beschädigung. Das Forschungsprogramm zeigte, daß die meisten nationalen Spezifikationen und Klassifizierungen nicht repräsentativ für das Verhalten der Geotextilien unter realen Baustellenbedingungen sind. Ein gemeinsames Kriterium für alle Geotextilien wird basierend auf einer Kombination von Verformungsenergie und Kraft-Dehnungsverhalten vorgeschlagen.

1. EINLEITUNG

Geotextilien werden seit vielen Jahren in verschiedenen Anwendungsbereichen, z.B. Trennung, Filtration, Bewehrung und Schutz eingesetzt. Dabei ist es wichtig, daß das Geotextil während der kritischen Phase des Einbaus nicht beschädigt wird. Analysen und Baustellenversuche zeigen, daß die kritische Periode während der Einbau- und Konstruktionsphase besteht und weniger während der Anwendungsphase. Bleibt das Geotextil beim Einbau unverehrt, so wird es im allgemeinen auch in seiner vorgesehenen Funktion nicht versagen.

Um genügenden Widerstand gegen Einbaubeschädigungen zu garantieren, werden minimale mechanische Eigenschaften spezifiziert, so daß ein Produkt, das den Anwendungsanforderungen genügt, gewählt werden kann.

1.1. Spezifikationen, Klassifizierungen und Gleichwertigkeit

In früheren Jahren, als Geotextilien noch am Anfang ihrer Geschichte standen, wurden sie öfters entweder nach Flächenmasse oder nach „Produktname xxx oder gleichwertig“ ausgeschrieben. Mehrere Länder jedoch entwickelten eine wissenschaftlichere Vorgehensweise und führten verschiedene nationale Spezifikationen und Klassifizierungen ein.

Eines der ersten Systeme wurde durch das norwegische Straßen- und Entwicklungslabor eingeführt (Alfheim und Sælie, 1977). Die französischen Empfehlungen des CFG (Comité Français Géosynthétiques) im Jahre 1981 spezifizierten verschiedene Eigenschaften, die abhängig waren von den verschiedenen Konstruktionsbedingungen (Planum, Verkehr, Eigenschaften und Dicke des Schüttmaterials). In Deutschland wurden verschiedene Baustellen- und Laborversuche durchgeführt (Technische Universität München und Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen), die als Basis für die deutsche Robustheitsklasseneinteilung dienten (Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Straßenbaus). Eine ähnliche Vorgehensweise wurde ebenfalls in den Vereinigten Staaten gewählt und eine Klasseneinteilung wurde 1990 durch AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) eingeführt.

1.2. Eigenschaften und Prüfungen in den verschiedenen Klassifizierungen

Obwohl die verschiedenen geologischen Strukturen, Einbaubedingungen, Materialien und Konstruktionstechniken ähnlich

sind, unterscheiden sich die verschiedenen nationalen Spezifizierungen erheblich.

Eigenschaften wie Zugfestigkeit, Stempeldurchdrückfestigkeit und Flächenmasse wurden lange Zeit als Hauptparameter angesehen. Einige Systeme erwägen ebenfalls die Wichtigkeit von kombinierter Festigkeit und Dehnung. So unterscheidet z.B. die deutsche Klasseneinteilung zwischen Geweben (niedrige Dehnung) und Vliesstoffen (höhere Dehnung).

Die amerikanische Klasseneinteilung (AASHTO M288-96) verlangt höhere mechanische Eigenschaften für Geotextilien mit niedriger Dehnung und setzt die Grenze empirisch auf 50% Dehnung.

Die neue Europäische Norm EN 13249 „Geforderte Eigenschaften für die Anwendung beim Bau von Straßen und sonstigen Verkehrsflächen“ verlangt folgende mechanische Eigenschaften für die Trennfunktion: Zugfestigkeit, Dehnung bei Maximalkraft, Stempeldurchdrückfestigkeit (CBR), Kegelfallversuch und Widerstand gegen Einbaubeschädigung. Ein genormter europäischer Laborversuch soll ebenfalls die Einbaubeschädigung der Geotextilien überprüfen (M. Khay: French Experience of Mechanical Damage, 1998).

1.3. Das Konzept der Energieaufnahme

Einige nationale europäische Klassifizierungssysteme führen neuerdings einen „Dehnungsfaktor“ ein, der in Kombination mit anderen Haupteigenschaften die erforderlichen Anforderungen der Geotextilien im Vergleich zu ihrer Energieaufnahmefähigkeit beurteilt.

Die Energieaufnahme wird definiert durch die Fläche unterhalb der Spannungs-Dehnungskurve. Die Energieaufnahme (kN/m) ist die maximale Energie, die ein Geotextil aufnehmen kann, bevor es versagt.

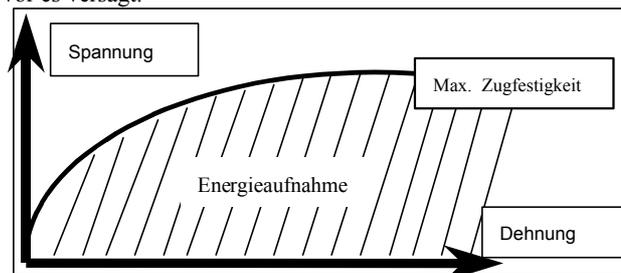


Bild 1: Energieaufnahme

SINTEF (Watn, Eiksund, 1997) führte Feldversuche an verschiedenen Vliesstoffen durch und kamen zur Schlußfolgerung, daß die Energieaufnahme der Geotextilien ein wichtiger Parameter in der Beurteilung des Einbauwiderstandes von Geotextilien ist. In der norwegischen Norm NS 3420-13 (1999) und der schweizer Norm SN 640 552 (1997) ist die Energieaufnahme eines Geotextiles schon integriert. Eine Empfehlung für eine neue französische Klassifizierung wurde kürzlich von J.C. Blivet (1999) vorgestellt, die ebenfalls die Energieaufnahme als Hauptkriterium für eine Spezifikationen von Geotextilien verwendet. Anstatt der tatsächlichen Energieaufnahme (Fläche unterhalb der Kraft-Dehnungskurve) wird im norwegischen, schweizer und französischen Ansatz eine vereinfachte theoretische Annahme verwendet, die die Energieaufnahme (e) auf eine Dreiecksfläche reduziert (mit T = Zugfestigkeit und ϵ_f = Dehnung bei Maximalkraft).

$$e = \frac{1}{2} T \cdot \epsilon_f$$

Das Prinzip der französischen Empfehlung benutzt eine minimale Zugfestigkeit bei einer gegebenen Dehnung, erlaubt aber die Kompensation von niedrigerer Dehnung durch höhere Festigkeit, was wiederum gleiche Energieaufnahme bzw. gleicher Einbauwiderstand bedeutet.

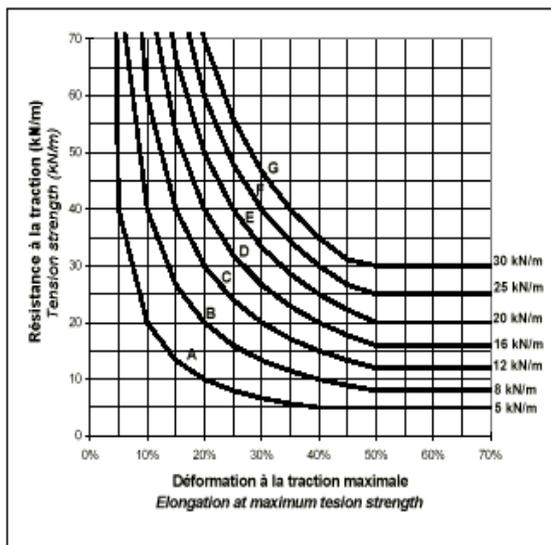


Bild 2: Französisches Konzept der Energieaufnahme: J.C. Blivet, Rencontres Bordeaux 1999

2. FELDVERSUCH UND KORRELATIONSUNTERSUCHUNG

2.1. Produktauswahl

Eine Anzahl häufig verwendeter Geotextilien für Trennungsfunktion mit verschiedenen Herstellungsverfahren, verschiedenen Gewichtsklassen und mechanischen Eigenschaften, wurde ausgesucht, um den Einbauwiderstand unter reellen Bedingungen auszuwerten. Folgende Produkte wurden ausgewählt:

- 5 Polypropylen Bändchengewebe
- 2 mechanisch verfestigte Vliese mit Polypropylen Endlosfasern
- 2 thermisch verfestigte Vliese (PP/PE) mit niedriger Dehnung (Hersteller „A“)
- 5 thermisch verfestigte Vliese (100% PP) mit hoher Dehnung (Hersteller „B“)

Indexversuche nach den gebräuchlichsten Spezifikationen und Klassifizierungen wurden an jedem Geotextil durchgeführt. (Siehe Anhang, Tabelle 1: Produkte und Kennwerte)

2.2. Prüfmethode

Um das Verhalten der Geotextilien unter reellen Baustellenbedingungen zu beobachten, wurde eine Methode entwickelt, die kontrollierte Einbau- und Ausbaubedingungen erlaubt. Kritische Versuchsbedingungen wurden ausgewählt, um sicherzustellen, daß alle Geotextilien beschädigt werden und so eine genaue Auswertung möglich ist.



Einbau

Stahlplatten (2 x 2.50 m) mit Stahlketten an den Enden wurden mit einem 25 cm verdichtetem weichem Planum bedeckt. Eine Geotextilprobe von 2 x 2 m wurde direkt aufs Planum gelegt und mit 25 cm Hochofenschlacke (40-60 mm) beschüttet. Die Schütthöhe betrug 50 cm. Das ganze System wurde viermal mit einer 7t Walze verdichtet.



Verdichten (4 Durchgänge)

Nach der Verdichtung wurden die Stahlplatten langsam aufgerichtet, so daß das Schüttmaterial entlang der Geotextilien glitt, ohne zusätzliche Beschädigungen zu provozieren. Alle Geotextilien konnten so unter gleichen, kontrollierbaren Bedingungen ein- und ausgebaut werden.



Ausbau

2.3. Auswertung des Einbauwiderstands

Nachdem der Rand (25 cm) entfernt worden war, wurden die gesäuberten Proben im Labor analysiert. Anzahl und Durchmesser der Löcher wurde gemessen, um die beschädigte Fläche (%) von jedem Muster zu bestimmen.

Eine 1.5 x 1.5 m Schablone mit einem vorgestanzten Muster wurde auf jede Probe gelegt, um jeweils 10 Proben in Längs- und Querrichtung auszustanzen. Hiermit konnte sichergestellt werden, daß für jedes Geotextil die gleiche Stelle für Restfestigkeitsprüfungen nach dem Ausbau genommen wurde.

(Siehe Anhang, Tabelle 2: Auswertung von beschädigter Fläche und Restfestigkeit)

3. ERGEBNISSE

Die Korrelation zwischen der beschädigten Fläche (%) und allen Indexversuchen wurde verglichen.

Eine gute Korrelation wurde zwischen der beschädigten Fläche und der Restfestigkeit gefunden.

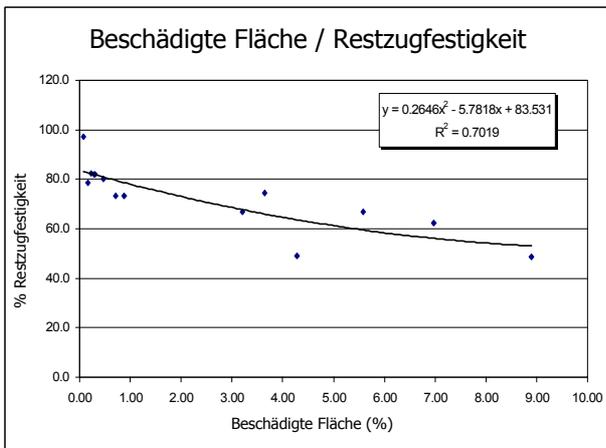


Bild 3: Korrelation zwischen beschädigter Fläche und Restfestigkeit.

Flächenmasse und Dicke sind nur beschreibende Eigenschaften und geben keine Information über den Widerstand und die restlichen Eigenschaften, falls verschiedene Produkte miteinander verglichen werden.

Nur bei dem Vergleich von Produkten eines Herstellers und gleichen Herstellungsverfahrens, ist der Einbauwiderstand direkt abhängig von der Verteilung der Flächenmasse. Bei gleicher externer Belastung sind es immer die dünnsten und leichtesten Stellen eines Geotextils die als erstes beschädigt werden. Für Spezifikationen jedoch ist die Flächenmasse und die Dicke irrelevant, da die benötigte Flächenmasse um eine gewünschte Eigenschaft zu erzielen von den verschiedenen Herstellungsverfahren abhängt.

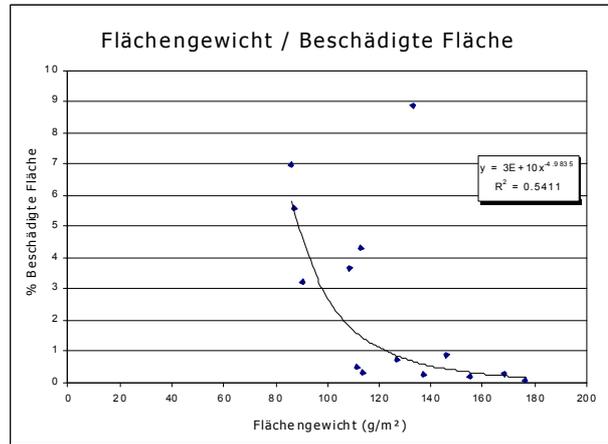


Bild 4: Korrelation zwischen Flächengewicht und beschädigter Fläche.

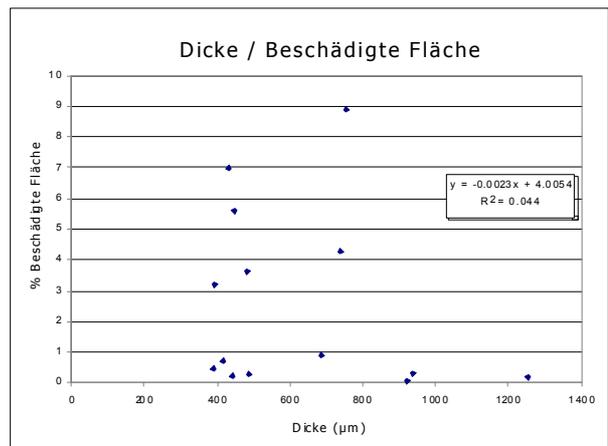


Bild 5: Korrelation zwischen Dicke und beschädigter Fläche.

Keine Korrelation konnte identifiziert werden zwischen Beschädigung und mechanischen Eigenschaften wie Zugfestigkeit, CBR Stempeldurchdruckkraft, Grabzugfestigkeit und Weiterreißfestigkeit.

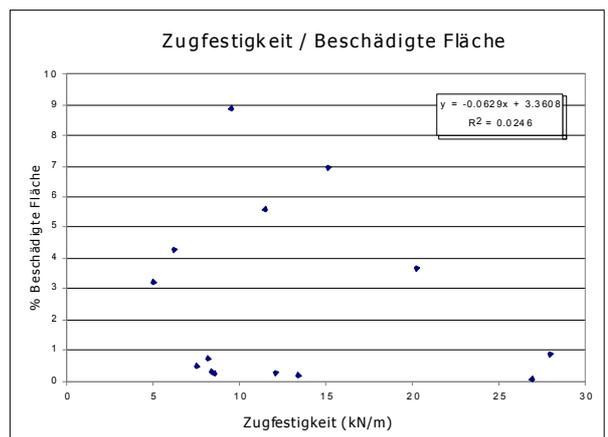


Bild 6: Korrelation zwischen Zugfestigkeit und beschädigter Fläche.

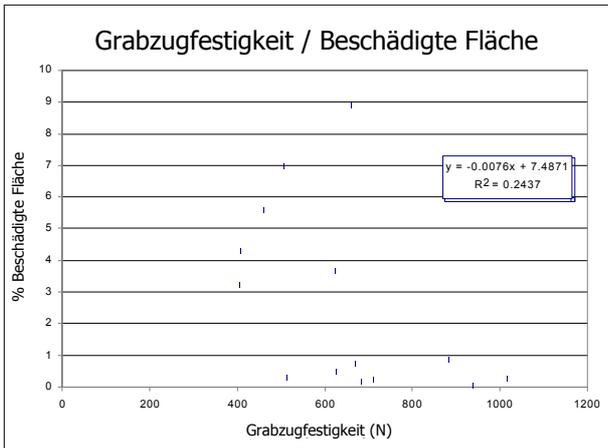


Bild 7: Korrelation zwischen Grabzugfestigkeit und beschädigter Fläche.

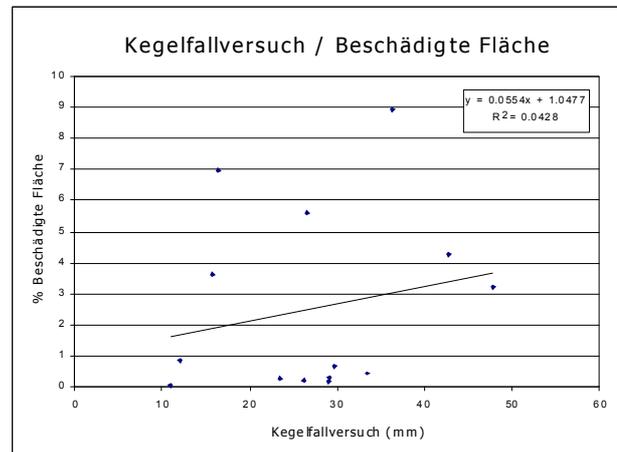


Bild 10: Korrelation zwischen Kegelfallversuch und beschädigter Fläche.

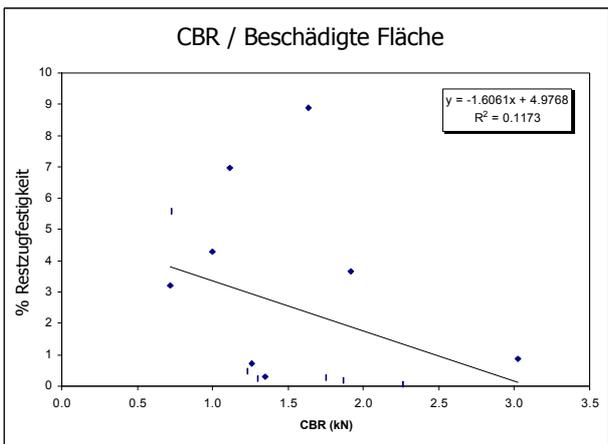


Bild 8: Korrelation zwischen CBR und beschädigter Fläche.

Eine ausgezeichnete Korrelation wurde zwischen der beschädigten Fläche und der Energieaufnahme gefunden (definiert als die Fläche unterhalb der Spannungs-Dehnungskurve nach EN ISO 10319).

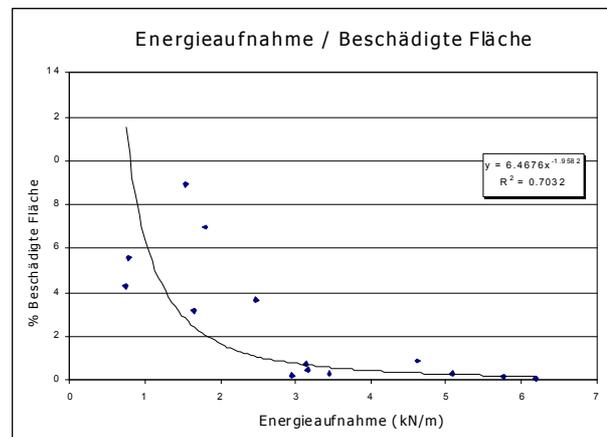


Bild 11: Korrelation zwischen Energieaufnahme und beschädigter Fläche.

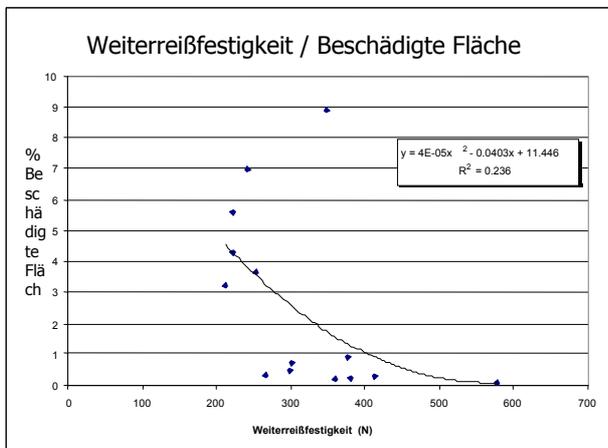


Bild 9: Korrelation zwischen Weiterreißfestigkeit und beschädigter Fläche.

Obschon der Kegelfallversuch generell als Versuch gewertet wird, der reellen Baustellenbedingungen entspricht, wurde keine Korrelation mit der Beschädigung gefunden. Da die Schütthöhe jedoch auf 50 cm begrenzt war, könnte eine bessere Korrelation bei größeren Schütthöhen gefunden werden.

Unter den gewählten Versuchsbedingungen zeigt sich deutlich, daß alle Geotextilien mit einer Energieaufnahme von < 3 kJ/m größere Beschädigungen aufwiesen, während die Geotextilien mit einer Energieaufnahme von > 3 kJ/m diese Einbaubedingungen ohne größere Beschädigungen überstanden.

4. SCHLUßFOLGERUNGEN

Das Forschungsprogramm ergab nützliche Informationen, um die Eigenschaften und Anforderungen von Geotextilien zu beurteilen, die zur Vermeidung der Einbaubeschädigung relevant sind.

Die Ergebnisse zeigen, daß die meisten Eigenschaften, die in verschiedenen Spezifikationen und Klassifizierungen benutzt werden, das Verhalten unter reellen Einbaubedingungen ungenügend widerspiegeln und unterstützen den Denkansatz verschiedener Länder, welche die Energieaufnahme in ihr Spezifikationssystem mit einbinden.

Eine deutliche Korrelation wurde zwischen Einbauwiderstand und Energieaufnahme für alle Geotextilien gefunden, unabhängig vom Herstellungsverfahren und Struktur.

Tabelle 1: Produkte und Kennwerte

			Mechanisch verfestigte Vliese PP		Thermisch verfestigte Vliese PP/PE		Bändchengewebe					Thermisch verfestigte Vliese PP				
Flächengewicht	EN 965	g/m ²	114	155	113	133	86	146	87	177	109	91	111	127	137	168
Dicke	EN 964-1	mm	0.94	1.25	0.74	0.75	0.43	0.69	0.45	0.92	0.48	0.39	0.39	0.42	0.44	0.49
Zugfestigkeit	EN 10319	kN/m	8.4	13.4	6.2	9.5	15.1	27.9	11.5	26.9	20.2	5.0	7.5	8.2	8.5	12.1
Höchstzugkraftdehnung	EN 10319	%	80	76	18	23	22	27	11	37	20	41	53	48	44	53
Energieaufnahme	EN 10319	kN/m	3.5	5.8	0.7	1.5	1.8	4.6	0.8	6.2	2.5	1.7	3.2	3.1	2.9	5.1
Stempeldurchdrückkraft	EN 12236	N	1349	1866	1000	1638	1117	3021	726	2258	1912	717	1230	1261	1300	1753
Kegelfallversuch	EN 918	mm	29	29	43	36	16	12	27	11	16	48	33	30	26	24
Grabzugfestigkeit Weiterreissfestigkeit	ASTM D4632	N	513	683	408	661	506	882	461	938	623	405	626	670	712	1016
	ASTM D4533	N	265	359	222	349	241	377	222	578	253	212	298	301	380	412

Tabelle 2: Auswertung von beschädigter Fläche und Restfestigkeit

			Mechanisch verfestigte Vliese PP		Thermisch verfestigte Vliese PP/PE		Bändchengewebe					Thermisch verfestigte Vliese PP				
Beschädigte Fläche		mm ²	6906	3855	96426	200135	156916	19810	125712	1656	82147	72022	10539	15908	5128	6350
Beschädigte Fläche		%	0.31	0.17	4.29	8.89	6.97	0.88	5.59	0.07	3.65	3.20	0.47	0.71	0.23	0.28
			Zugfestigkeit (nach Einbau - beschädigte Proben)													
Zugfestigkeit	EN 10319	kN/m	6.9	10.5	3.0	4.6	7.6	17.7	7.7	26.2	12.0	3.3	6.0	6.0	7.0	9.9
			Zugfestigkeit (Anfangswert - unbeschädigte Proben)													
Zugfestigkeit	EN 10319	kN/m	8.4	13.4	6.2	9.5	12.3	24.1	11.5	26.9	16.1	5.0	7.5	8.2	8.5	12.1
			Restzugfestigkeit (%)													
Zugfestigkeit	EN 10319	%	82.2	78.5	49.1	48.5	62.4	73.3	66.8	97.2	74.3	66.7	80.0	73.2	82.5	82.0

Ein gemeinsames Kriterium basierend auf Energieaufnahme erlaubt das geeignete Produkt auszusuchen, das den Anforderungen der verschiedenen Anwendungen und Baustellenbedingungen genügt.

Die Versuchsmethode erlaubt ebenfalls eine schnelle und präzise Beurteilung der Beschädigungsanfälligkeit von Geotextilien unter verschiedenen Bedingungen und kann als Basis für die Aufstellung von weiteren Leistungskriterien dienen.

5. QUELLENANGABE

AASHTO (1990): «Standard Specifications for Geotextiles», American Association of State Highway and Transportation Officials, M288-96, Washington DC, 1996

Alfheim, Sørli, (1977): «Testing and classification of fabrics for application in road constructions», International conference on the use of fabric in geotechnics, Paris, 1977. Vol 2, pp 33-338

J.C. Blivet: «Use of Geosynthetics for separation purposes: Towards new technical specifications», Rencontres Géosynthétiques, Bordeaux, 1999

G. Bräu: «Geotextilien als Trennlage unter Tragschichten», Erd- und Grundbautagung, Goslar, 1993, FGSV Heft 6

R. Diederich: «Improvements in the damage resistance of non-woven materials», ERA seminar on Installation Damage in Geosynthetics, Leatherhead, 1998

Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Straßenbaus: Ausgabe 1994, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen

M. Khay: «Geotextile Damage at installation: French experience and laboratory test results with the experimental European standard», ERA seminar on Installation Damage in Geosynthetics, Leatherhead, 1998

A. Watn, G. Eiksund, A. Knutson: «Deformations and Damage of Nonwoven Geotextiles in Road Construction», Sixth International Conference on Geosynthetics, Atlanta, 1998