

JAECKLIN, F. P., Geotechnical Consulting Engineers, Ennetbaden, Schweiz

BEMESSUNG VON GEOTEXTILIEN IM STRASSENBAU AUS DER REGRESSIONSBERECHNUNG VON ERFAHRUNGSWERTEN

DESIGN OF ROAD BASE AND GEOTEXTILE BY REGRESSION ANALYSIS FROM EXPERIENCE DATA SOURCES

DIMENSIONNEMENT ROUTIERE AVEC GEOTEXTILES PAR LE CALCUL DE REGRESSION DES VALEURS D'EXPERIENCES

ZUSAMMENFASSUNG

Ausgangsgrössen bilden grosse Zahlenmengen von Erfahrungswerten zur Bemessung von Strassenkörpern ohne Belag mit Geotextilien, wie sie von der französischen Arbeitsgruppe für Geotextilien für zahlreiche Fälle aus der Praxis angegeben und durch eine Umfrage des Schweizerischen Verbandes für Geotextilfachleute bei Spezialisten in der Schweiz und in den Nachbarländern im Jahre 1983/83 ergänzt wurde.

Diese Ausgangswerte wurden im Sinne einer Regressionsberechnung numerisch simuliert, sodass sich mathematische Formeln ergeben, die ihrerseits benutzt werden zur Bestimmung von Bemessungsdiagrammen für die praktische Verwendung.

Schliesslich führen die Bemessungsformeln zu Diagrammen, wie sie in ähnlicher Art in der Literatur bereits vorkommen. Der Vergleich ermöglicht gleichgerichtete Tendenzen und ähnliche Grössenordnungen abzulesen, wobei die Einflüsse der einzelnen Parameter jedoch viel detaillierter zu erkennen sind.

EINLEITUNG

Die Absicht bestand darin vorhandene Kenntnisse und Erfahrungen in der Anwendung von Geotextilien für Strassen ohne Belag zusammenzustellen. Der Vergleich der vorhandenen Literatur zeigt deutlich, dass - trotz der zahlreichen Publikationen über die theoretische Lastverteilung und über die Verstärkung der Fundamentalschicht, sowie Berichte über Felsversuche - nur beschränkte Angaben auffindbar sind, welche dem Ingenieur erlauben die massgebenden Geotextileigenschaften, wie Festigkeit und Dehnbarkeit unter gegebenen Belastungen zu bestimmen. Die hier dargestellte Berechnungsmethode basiert weitgehend auf den 88 Fallbeispielen, welche das französische Geotextil-Komitee empfiehlt. Zudem untersuchte die Schweizerische Gesellschaft für Geotextilfachleute SVG mit einer Umfrage bei in- und ausländischen Fachleuten den Stand der Bemessungsmethoden der Praxis bezüglich Geotextilien in den Anwendungsgebieten wie Strassenbau usw.

Schliesslich erfolgte eine weitere Studie über den Unterschied der Prüfbedingungen in Frankreich und in der Schweiz, bezüglich der Geotextil-Bruchdehnung, was einen Differenz von rund 15% ergab.

Diese umfangreichen Informationen wurden schliesslich durch eine aufwendige, mathematische Regressionsmethode erfasst. Da sechs verschiedene Variablen mit lediglich empirischen Zusammenhängen einwirken, ist dieses Verfahren komplex. Jede Art mathematischer Funktionen oder Kombinationen davon wäre möglich. Zweifelloso ist keine direkte und exakte Lösung möglich. Darum waren durch zahlreiche Probeversuche Formeln zu suchen, welche das vorhandene Zahlenmaterial sinngemäss zu simulieren vermögen.

Dieses Vorgehen wird hier erläutert, da es in dieser Art als eher ungewöhnlich gilt und anfänglich mehrfach als kaum realisierbar beurteilt wurde. Die Resultate dieser Arbeit dürften daher Interesse finden zwecks Gebrauch der

SYNOPSIS

A design method has been developed using complex regression type analysis for mathematical interpretation of a large data base of experience, such as numerous design examples as recommended by the French Committee on Geotextiles, and a technical survey and questionnaire among geotextile specialists in Switzerland and Europe as carried out by the Swiss Association of Geotextile Specialists in 1982/83. This data was then simulated by numerical mathematics and finally resulted in formulas to determine the necessary strength and strain characteristics of a geotextile and depth of road base as needed in a given case. Similarly the minimum required strain or elongation at failure of the geotextile is determined by a separate formula.

Thereafter the mathematics are used to draw design graphs for a set of practical applications.

Finally this report compares the results of the design charts with other literature finding very similar tendencies.

Bemessungsdiagramme, aber auch als Beispiel einer neuartigen computerunterstützten Methode, die einen grossen Zahlensatz mit vielen Variablen erfasst.

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt somit nicht in den Einzelheiten und Formeln, sondern in der Art der Erfassung der allgemeinen Tendenzen der verschiedenen Wirkungen.

WIRKUNG DES GEOTEXTILS IM STRASSENKÖRPER

Theoretisch entsteht durch die Einlage des Geotextils in den Strassenkörper ein Kompositmaterial ähnlich zu "Bewehrter Erde" oder bewehrtem Beton. Allerdings bestehen noch keine Ingenieurmethoden zur Erfassung dieser Verhältnisse im Boden. Offenbar basiert jedoch die Wirkung des Geotextils im Strassenkörper nur beschränkt auf der Verstärkung und Bewehrung, hauptsächlich aber in der Kombination verschiedener Aufgaben besteht, wie Trennen, Filtrieren und Drainieren, sowie einer dynamischen Wirkung.

Nach Feldversuchen erzeugen Belastungen meist nur eine geringe Erhöhung der Zugkräfte, da die Dehnungen im Geotextil die Spannungen reduzieren, jedoch das Gesamtverhalten verbessern. Diese bedeutet, dass die Wirkung von Geotextilien im Strassenkörper nicht durch eine einfache Belastungs-Dehnungs-Berechnung zu erfassen ist. Die grossen Verformungen, das plastische Verhalten von Boden und Geotextil, sowie besondere dynamische Wirkungen beeinflussen das Gesamtverhalten in komplizierter Weise. Es ist daher angebracht erfolgreiche Anwendungen und Erfahrungen als Richtschnur zur Projektierung zu verwenden, anstelle von theoretischen, übersimplifizierende Berechnungsannahmen.

Die dargelegte Berechnungsmethode wird schliesslich verwendet um Bemessungsdiagramme für die Ingenieurpraxis zu erstellen. Durch das Sammeln von weiteren Erfahrungen sind die mathematischen Einzelheiten der Methode zu verfeinern um die Toleranzen und Wirtschaftlichkeit zu verbessern. Darum sind Kommentare sehr erwünscht.

DEFINITION DER VARIABLEN

1. Strassenabschnitt

Das gesamte Strassenprojekt ist in Unterabschnitte zu unterteilen die ähnliche Untergrundverhältnisse aufweisen, da die übrigen Variablen, wie Verkehrslast, Spurrinnentiefe und Schüttmaterial meistens gleich bleiben. Variierende die Untergrundverhältnisse begründen eine sinnvolle Projektunterteilung. Selbstverständlich betrifft diese Methode nur Strassen ohne Belag, also Baupisten oder Naturstrassen.

2. Verkehrsbelastung

(V - Faktor)

Die Verkehrsbelastung wird wie nachfolgend mit dem Faktor V definiert:

V = 0.5	sehr leichter Verkehr	Leichtverkehr (nur Autos oder Raupenfahrzeuge)
V = 1	leichter Verkehr	wenig Schwerverkehr, max 10 Lastwagen pro Tag, Gesamtlast 1000-10'000 to
V = 2	mittel	viel Schwerverkehr, 10 bis 50 Lastwagen pro Tag, Gesamtlast 10'000-50'000 to
V = 2.5	schwer	sehr viel Schwerverkehr 50-100 Lastwagen pro Tag, Gesamtlast 50'000-100'000 to,
V = 3.0	sehr schwer	extremer Schwerverkehr über 100 Lastwagen pro Tag Gesamtlast über 100'000 to

Erläuterungen:

- Leichtverkehr betrifft Fahrzeuge mit weniger als 3.5 to
- Als Gesamtlast zählt das Gewicht aller Fahrzeuge vor Einbau des Belages
- Die Bemessung beruht auf europäischen Grosslastwagen (LW oder LKW) mit 36 to Gesamtgewicht auf 4 Achsen, also 9 to Achslast.
- Extremer Schwerverkehr sind Transport- oder Baustellenfahrzeuge ohne Strassenzulassung. Sofern diese besonders hohen Reifendruck oder Achslasten aufweisen, ist der V-Faktor angemessen zu erhöhen z.B V = 4.

3. Spurrinnentiefe

(R - Faktor)

Die Spurrinnen der provisorischen Strasse erreichen nach erfolgter Verkehrsbelastung etwa den angegebenen Wert. Es ist beizufügen, dass die Geotextilien nicht eigentlich zur Veränderung von Spurrinnen bemessen werden, sondern umgekehrt, je nach Spurrinnen wird ein Geotextil gewählt, das nicht beschädigt wird.

R = 3-4 Spurrinnen bis zu 3 cm

R = 5 Spurrinnen bis zu 5 cm

R = 10 Spurrinnen bis zu 10 cm

R = 15 Spurrinnen bis zu 15 cm

Normal sind Spurrinnen von 5-10 cm, da grössere Spurrinnen den Bauverkehr zu stark behindern. Zudem wird der Untergrund überbelastet und die grossen Deformationen weichen den Untergrund auf, was die Tragfähigkeit vermindert. Grosse Spurrinnen erfordern zudem Nacharbeit mit dem Graderbalken zum Glätten der Oberfläche, was die Gefahr von Geotextilbeschädigungen bedeutet.

4. Untergrund und Tragfähigkeit

(U - Faktor)

Die Qualität des Untergrundes wird bei harten Boden mit Plattenversuchen und bei weichen Böden mit dem Feld-CBR-Gerät geprüft, d.h. einem Stock mit Skala und konischer Spitze, welcher den CBR-Wert direkt abzulesen ermöglicht. Die nachstehend verwendeten U-Werte entsprechen den französischen Untergrundklassen.

Tabelle 1: Einfluss des Untergrundes (Definition von U)

U	CBR %	c_u kN/m ²	ME1 MN/m ²	ME2 MN/m ²	phi °	VSS Klasse
3 sehr weich	(1)-2	10-60	1-3	2-5	12-18	S0
2 weich	2-5	60-150	3-10	5-20	15-25	S1
1 fest	5-10	150-300	10-25	20-25	25-35	S2

Erläuterungen :

- Der CBR-Wert definiert den U-Faktor
- c_u und ME-Werte sind geschätzt und dienen nur zum generellen Vergleich
- Alle nachstehenden Berechnungen basieren auf dem CBR-Wert, evtl. dem c_u -Wert. Nicht möglich sind Korrelationen in grobem Kies oder Geröll sowie auf verdichteten Schüttungen.
- S1 bis S4 sind die neuen schweizer Tragfähigkeitsklassen. S0 wird zudem hier für weiche Böden verwendet.
- CBR, California Bearing Ratio, bestimmt sich nach der Norm SNV 670'316 für Feldversuche und der Norm SNV 670'320a für Laborversuche.
- c_u ist die mit dem Drehflügel gemessene, undrainierte Scherfestigkeit, ungenau auch als Kohäsion bezeichnet.
- ME ist der Deformationsmodul gemäss dem Lastplattenversuch mit dem Durchmesser 0.3 m, wie festgelegt in der Norm SNV 670 317a. Der Wert entspricht etwa dem deutschen Lastplattenversuch EV1 d.h. $EV1 = 0.79 * ME1$.
- ME2 wird mit der Wiederbelastung der Platte bestimmt und entspricht etwa $EV2$ d.h. $EV2 = 0.79 * ME2$
- phi, ist der totale Reibungswinkel, grob geschätzt.

5. Schüttmaterial

(K - Faktor)

Die Sorte des Schüttmaterials wird wie folgt berücksichtigt:

K = 0.5 gebrochenes Material

K = 1 sauberer Kies, Kiessand I, max. Durchm. 63 mm und weniger als 3% Feinanteil, gut abgestuft
GW : max. 3% Feinanteil und max. Durchm. 250 mm oder weniger als die Hälfte der Schüttdicke D.

K = 2 siltiger Kies, Kiessand II, max. Durchm. 100mm und weniger als 10% Feinanteil oder
GM : weniger als 15% Feinanteil, max. Durchm. 250 mm oder weniger als die halbe Schüttdicke D.

Erläuterungen

- Die Norm SNV 670 120 definiert die Kiessandtypen I und II.
- Ausser diesen meist verwendeten Schüttmaterialien existieren auch weitere Typen, welche besonders für provisorische Strassen von wirtschaftlicher Bedeutung sein können, nämlich saubere Sande, siltige Sande und Kiese (SP, GP, SW, GW, SM, GM gemäss USCS, Unified Soil Classification System).
- Zudem findet gebrochenes Felsmaterial oder gebrochenes Geröll immer häufiger Verwendung im Strassenbau.
- Falls gebrochenes Material grosse Körner mit eckigen Kanten und Spitzen enthält, so ist das Geotextil beim Schütten oder bei der Verdichtung besonders gefährdet. In solchen Fällen ist ein Geotextil mit hoher Reißfestigkeit oder noch besser mit hoher Weiterreisskraft, grosser Reissdehnung und genügender Dicke zu wählen.

6. Schichtdicke und Anzahl Geotextilien (D - Wert)

Um praktikable Baupisten anzulegen darf die Schüttdicke ein gewisses Minimum gemäss nachfolgender Tabelle nicht unterschreiten :

Tabelle 2: Minimale Schüttdicke (alle Werte in dm)

Beanspruchung		minimale Schüttdicke [dm]		
		bei U = 1	bei U = 2	bei U = 3
Leichtverkehr	V = 1	3	3,5	4
Schwerverkehr	V = 2	3,5	4	4,5
extrem.Schwerverk.	V = 3	4	4,5	5

Definition des D Faktors :

D = 3 Schüttdicke, dünn 0.3-0.4 m

D = 4 Schüttdicke, mittel 0.4-0.5 m

D = 5 Schüttdicke, dick 0.5-0.8 m

In Fällen mit viel Schwerverkehr und weichem Untergrund werden 2 Lagen Geotextilien verwendet : Eine Erste mit grosser Reissdehnung direkt auf dem weichen Untergrund. Es wird mit ca. 0.1-0.2 m überdeckt und mit leichten Geräten verdichtet. Das zweite Geotextil erzeugt eine gute Armierungswirkung dank geringer Reissdehnung und hoher Festigkeit.

Definition der D-Werte mit 2 Geotextilien :

D = 6 : Schüttdicke, mittel 0.3-0.4 m + 2 Lagen

D = 6.5 : Schüttdicke, mittel 0.4-0.5 m + 2 Lagen

D = 7 : Schüttdicke, dick 0.5-0.8 m + 2 Lagen

7. Geotextil Kennwert (G - Faktor)

Die meisten hier verwendeten Erfahrungswerte beruhen auf Polyester - Endlosfasern mit mechanischer Vernadelung. Andere Geotextiltypen weisen grössere oder kleinere Reissdehnung auf, was nachstehend berücksichtigt wird.

Die totale Widerstandsfähigkeit eines Geotextiles hängt von der kombinierten Wirkung der Reisskraft r und der Reissdehnung ϵ_r d.h. die Zerreiissarbeit ist die Kraft mal Dehnung :

$$A = r * \epsilon_r$$

Diese Formel bedeutet, dass Geotextilien mit grosser Reissdehnung der Beschädigung durch Deformation ausweicht. Normalerweise ist der Geotextilkennwert $G = 1$, was bedeutet, dass keine spezielle Berücksichtigung erfolgt. Dies gilt, wenn die vorhandene Reissdehnung und Reisskraft grösser sind als die geforderten Minimalwerte. Falls die Reissdehnung unter dem Minimalwert liegt, so ist der G-Wert wie folgt zu bestimmen :

$$G = \epsilon_r \text{ erforderlich} / \epsilon_r \text{ vorhanden}$$

Der G-Faktor wird verwendet um die Reisskraft r auf r^* zu erhöhen

$$r^* = r * G$$

In der Praxis ist somit $G = 1.0$ oder höher, jedoch kaum über 2.0.

MECHANISCHE GEOTEXTIL ANFORDERUNGEN FÜR DEN STRASSENBAU

1. Mathematische Simulation der Ausgangswerte

Konzept und Vorgehen zur Bestimmung der Reisskraft und Reissdehnung ϵ_r sind in der Einleitung dargelegt. Einer der Vorzüge der mathematischen Erfassung von Erfahrungswerten ist deren Gebrauch zum Zeichnen von Bemessungsdiagrammen, (siehe Graphik Nr. 1 bis 4). Zudem können die Variablen beliebig kombiniert werden und auch Dezimalstellen sind durchaus zulässig. Als weniger offensichtlicher Nachteil bleibt zu beachten, ob die gewählte Kombination von Variablenwerten im Rahmen der ursprünglichen Erfahrungswerte liegt, oder eine nicht zulässige Extrapolation bedeutet. Das ist durch den Fachmann im Einzelfall zu prüfen.

2. Minimale Reisskraft r (= Geotextilfestigkeit)
Der Textilausdruck "Reisskraft" ist gleichbedeutend mit dem Ingenieurbegriff "Reissfestigkeit. Die Formel lautet :

$$r = [5 + (2.1 * V_1 * R_1 * U_1 * D_1 * K_1)] * G \quad (1)$$

Die Hilfsvariablen sind wie folgt definiert:

$$V_1 = (V + 0.8)^{0.8} \quad (2)$$

$$R_1 = 4 / (3 * R^{0.8}) \quad (3)$$

$$U_1 = 0.9 * U^{1.2} \quad (4)$$

$$D_1 = 3.6 / D \quad (5)$$

$$K_1 = [1 + (1/K - 1)^2]^{1/4} \quad (6)$$

Tabelle 3 bis 7 zur Bestimmung der Hilfsfaktoren :

V	0.5	1	2	2.5	3
V ₁	1.23	1.60	2.27	2.59	2.90

Tabelle 3

R	3	5	7	10	15
R ₁	1.22	1.17	1.14	1.10	1.07

Tabelle 4

U	1	2	3
U ₁	0.90	2.07	3.36

Tabelle 5

D	3	4	5	6	7
D ₁	1.20	0.90	0.72	0.60	0.51

Tabelle 6

K	0.5	1	2
K ₁	1.18	1.00	1.06

Tabelle 7

Die komplette Bemessungsformel lautet demnach

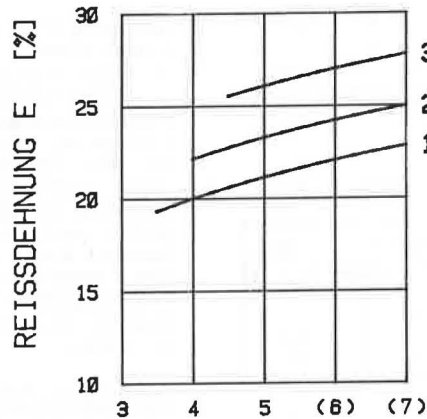
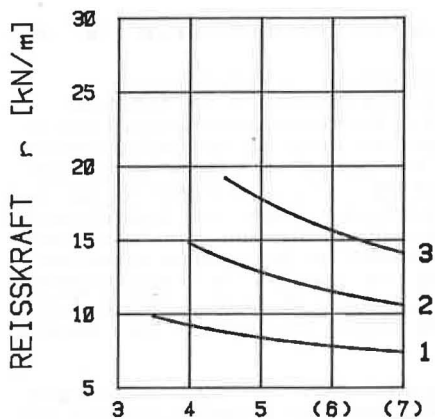
$$r = [5 + (2.1 * (V + 0.8)^{0.8} * 4/3 * R^{0.8} * 0.9 * U^{1.2} * 3.6/D * [1 + (1/K - 1)^2]^{1/4}] * G \quad (7)$$

3. Bemessungsformel für die Reissdehnung ϵ_r :

In ähnlicher Weise wie für die Reissfestigkeit r ist die erforderliche minimale Reissdehnung ϵ_r zu bestimmen, allerdings mit zwei Korrekturen :

- Reduktion der minimalen Reissdehnung um eine französische Klasse, als Folge neuerer Erfahrungen.
- Eine zusätzliche Umfrage bei Geotextilfachleuten 1982/83, sowie einer Spezialumfrage 1984/85, Jaecklin [9], führten zu Präzisierungen. Vorallem die letzte Umfrage ergab einen Unterschied zwischen der französischen und der schweizerischen (EMPA)-Prüfmethode von ca. 15%. Entsprechend wurden die französischen Werte mit dem Transferfaktor $T = 1.15$ multipliziert.

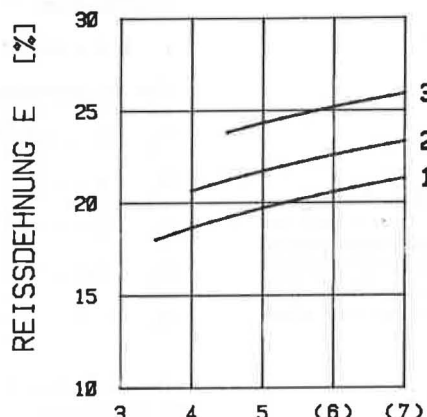
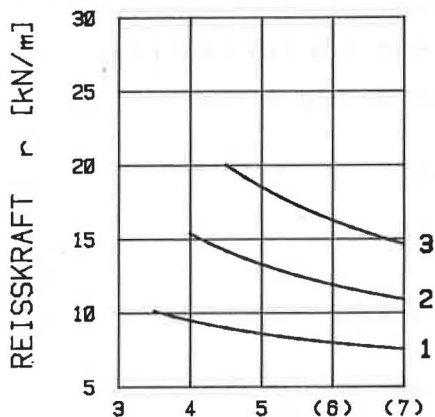
Alle diese Korrekturen sind in den Bemessungsdiagrammen enthalten.



SCHWERVERKEHR
GRAPHIK NR. 1

SCHWERVERKEHR $V=2$
SPURRILLEN $R=10 \text{ cm}$
SCHUETTMATERIAL $K=1$
UNTERGRUND $U=1, 2, 3$

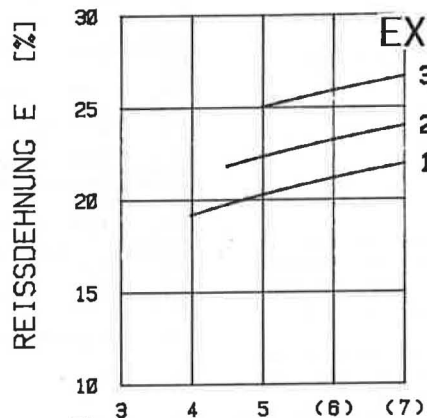
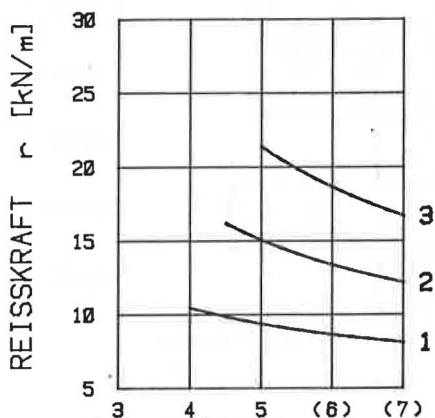
SCHUETTDICKE D [dm]



GRAPHIK NR. 2

SCHWERVERKEHR $V=2$
SPURRILLEN $R=10 \text{ cm}$
SCHUETTMATERIAL $K=2$
UNTERGRUND $U=1, 2, 3$

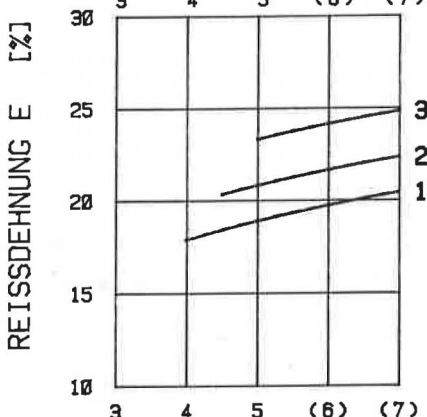
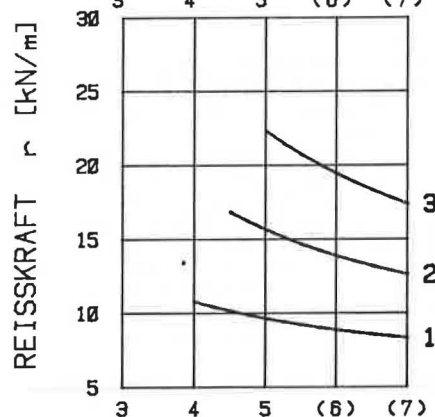
SCHUETTDICKE D [dm]



EXTREMER SCHWERVERKEHR
GRAPHIK NR. 3

EXTREMER SCHWERV. $V=3$
SPURRILLEN $R=10 \text{ cm}$
SCHUETTMATERIAL $K=1$
UNTERGRUND $U=1, 2, 3$

SCHUETTDICKE D [dm]



GRAPHIK NR. 4

EXTREMER SCHWERV. $V=3$
SPURRILLEN $R=10 \text{ cm}$
SCHUETTMATERIAL $K=2$
UNTERGRUND $U=1, 2, 3$

SCHUETTDICKE D [dm]

Die Bemessungsformel für die Reissdehnung ϵ_f lautet:

$$\epsilon_f = 1.4 \cdot V_2 \cdot R_2 \cdot (U_2 + D_2) \cdot K_2 \quad (\text{in } \%) \quad (8)$$

Diese Formel verwendet den Hilfwert ϵ_f und ϵ_r .
 ϵ_f = Reissdehnung ϵ gemäss der franz. Empfehlung und
 ϵ_r = (ϵ_f minus 1 Klasse) * T mit T = 1.15 als Korrektur.

Die Hilfsfaktoren sind wie folgt definiert:

$$V_2 = 1 / V^{0.1} \quad (9)$$

$$R_2 = \log R \quad (10)$$

$$U_2 = U^{1.5} \quad (11)$$

$$D_2 = 10 + 10 \cdot \log D \quad (12)$$

$$K_2 = 1 / K^{0.1} \quad (13)$$

Entsprechend lautet die komplette Bemessungsformel :

$$\epsilon_f = \frac{1.4 \cdot \log R \cdot (U^{1.5} + 10 + 10 \cdot \log D)}{V^{0.1} \cdot K^{0.1}} \quad (14)$$

$$P_f = \ln (\epsilon_f / 6.913)^{(1/0.2457)} \quad (15)$$

$$P = P_f - 1 \quad \text{Reduktion um 1 Klasse} \quad (16)$$

Daraus wird die Reissdehnung bestimmt zu :

$$\epsilon_r = 6.913 \cdot e^{0.2457 \cdot P} \cdot T \quad (17)$$

Tabellen 8 bis 12 : Bestimmung der Grösse der Hilfsfaktoren

V =	0.5	1	2	2.5	3
V ₂ =	1.07	1.00	0.93	0.91	0.91

Tabelle 8

R =	3	5	7	10	15
R ₂ =	0.48	0.70	0.87	1.00	1.18

Tabelle 9

U =	1	2	3
U ₂ =	1.00	2.83	5.20

Tabelle 10

D =	3	4	5	6	7
D ₂ =	14.77	16.0	16.99	17.78	18.45

Tabelle 11

K =	0.5	1	2
K ₂ =	1.07	1.00	0.93

Tabelle 12

Diese Werte können mit der vereinfachten Formel wie folgt verwendet werden :

$$\epsilon_r = [(1.4 \cdot V_2 \cdot R_2 \cdot (U_2 + D_2) - 5) \cdot T] \quad (18)$$

Der Unterschied zur exakten Methode wie oben gezeigt beträgt etwa 1 - 4 % im Bereich von $\epsilon_r = 10 - 30 \%$.

Hinweise zur Wahl der geeigneten Reissdehnung :

Falls grosse Deformationen auf der Baustelle erwartet werden, so sind viel grössere minimale Reissdehnungen nötig:

- $\epsilon_r = 25 \%$ min., falls nur 1 Lage und grössere Deformationen auf der Baustelle erwartet werden.
- $\epsilon_r = 50 - 70 \%$ min., falls sehr grosse Deformationen oder grosse Steine oder weicher Untergrund vorkommen.
- $\epsilon_r = 70 \%$ min. für die untere Lage bei Verwendung von 2^r Geotextilien und Schüttzwischenlage.
- ϵ_r maximum = 15 - 20 % falls nur Leichtverkehr (V = 1), und weicher Untergrund (U = 3), sowie Spurrinnen von 3 - 4 cm (R = 4). Diese Anforderung beschränkt ausnahmsweise die maximale Reissdehnung um die Armierungswirkung zu erhöhen.
- ϵ_r maximum = 15 % für die zweite Lage von Geotextilien (D = 6 - 7) um die Spurrinnentiefe zu beschränken.

Mit Ausnahme des letzten Punktes stimmen diese Anforderungen mit der Auffassung der Technischen Kommission des SVG überein.

Die allgemeinen Anforderungen an Geotextilien bei grobkörnigem Schüttmaterial (d₈₅ grösser als 30 mm) lauten wie folgt :

- ϵ_r min = 20 %, falls sehr steifer oder harter Untergrund gemäss VSS Klasse S3 oder S4, resp. CBR-Wert über 12%
- ϵ_r min = 30 %, falls steifer Untergrund gemäss Klasse S2 oder CBR 6 - 12 %
- ϵ_r min = 40 %, falls d₈₅ grösser als 30 mm und auf sehr weichem Untergrund.

ZUSÄTZLICHE BEMESSUNGSDIAGRAMME

Die nachfolgenden Bemessungsdiagramme beruhen auf denselben Formeln, verwenden jedoch den CBR-Wert und die Schüttdicke D als Koordinaten um die Zusammenhänge ähnlich wie bisher in der Literatur zu gestalten.

Die Diagramme 5 und 6 illustrieren die Wirkung der Schüttdicke der Spurrinnentiefe und der Verkehrsbelastung : höheres Verkehrsvolumen erfordert grösserer Schüttdicken. Bei gleichem Verkehrsvolumen führt die geringere Schüttdicke zu bedeutend grösseren Spurrinnen. Diese zwar sinnvollen Zusammenhänge könnten zum Schluss führen, dass eine grössere Reissfestigkeit des Geotextils auch zu geringeren Spurtiefen führt und deshalb die Geotextilfestigkeit direkt zur Bemessung gegen Spurrinnen dienen würde, was jedoch nicht die Absicht ist.

Die Spurrinnentiefe ist das kombinierte Resultat aus Verkehrsvolumen, der Schüttdicke und deren Grad von Verdichtung sowie dem vorhandenen Untergrund. Die ermittelten Geotextileigenschaften vermeiden dessen Beschädigung und helfen die Spurrinnen etwas geringer zu halten.

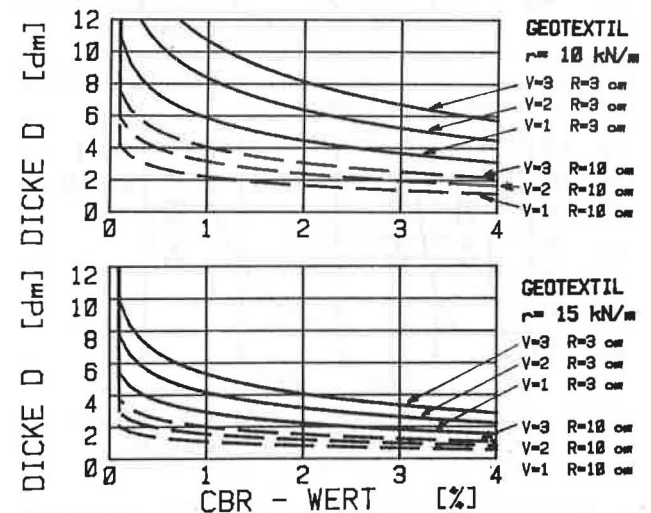


Diagramm 5 und 6: Wirkung von Verkehr und Spurrinnentiefe auf die erforderliche Schüttdicke und Geotextilfestigkeit.

Als Ausnahme zählt der Fall mit zwei Geotextilien, ein schwaches aber stark dehnfähiges direkt auf dem weichen Untergrund und ein starkes geringdehnfähiges Geotextil auf einer ersten Zwischenschicht. Diese Anwendung bezweckt die eigentliche Bewehrung.

Diagramm Nr. 7 und 8 vergleichen die Anforderungen an die Reissdehnung je nach CBR-Wert. Bei sehr viel Schwerverkehr (V = 3) und tiefen Spurrinnen (R=10, resp. 15 cm) wird eine Reissdehnung von 25-30% gefordert, falls der CBR-Wert unter 2 liegt, was durch die meisten Vliese problemlos erfüllt wird. Nur bei CBR-Werten über 4 sind

Geotextilien mit ϵ unter 20% verwendbar. Bei weichen Böden sind diese Anforderungen zudem fast unabhängig von der Schüttdicke D.

VERGLEICH DER RESULTATE MIT ANDEREN UNTERLAGEN

Oft werden neue Bemessungsmethoden zuerst mit vorhandenen in Vergleich gesetzt. Hier sind Übereinstimmungen mit den französischen Empfehlungen offensichtlich, obwohl auch zahlreiche Unterschiede bestehen, die nicht etwa als Diskrepanz, sondern als Verfeinerung anzusehen sind, da die Formeln einen stetigen Verlauf der Anforderungen berechnen, während die empirischen Daten nur in Stufen vorliegen und teilweise grobe Interpolationen enthalten.

Die Diagramme 9 und 10 verwenden die Bemessungsformeln für die durchgezogenen Linien und zeigen mit dem gestrichelten Linien die Vergleichskurven aus einer kürzlichen Tensar-Publikation [11], die bei vergleichbaren Fällen eine gute Übereinstimmung feststellen lassen. Eine zu grosse Genauigkeit darf kaum erwartet werden, da je nach Wahl der Variablen und der örtlich wechselnden Bedingungen eine gewisse Bandbreite das Resultat bilden.

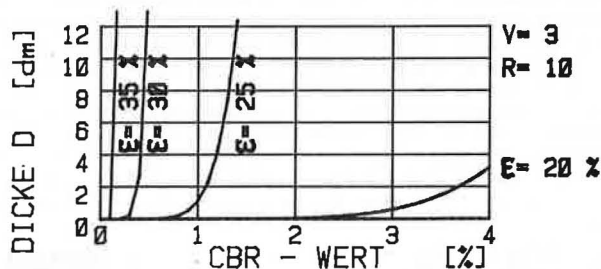


Diagramm 7 : sehr starker Verkehr ($V=3$) und grosse Spurrinnentiefe ($R=10$ cm) erfordern ein min. $\epsilon = 25\%$ oder mehr, falls CBR unter 2 liegt.

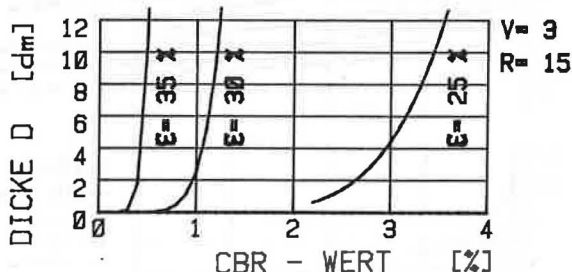


Diagramm 8 : Ähnlich wie in Diagramm 7 erfordern noch tiefere Spurrinnen ein entsprechend erhöhtes $\epsilon = 30\%$ oder mehr, falls CBR unter 2 liegt.

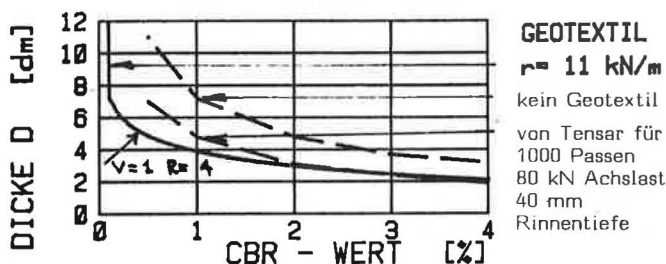


Diagramm 9 : Die mit der hier angegebenen Methode berechnete, durchgehende Linie wird mit der unteren gestrichelten Linie, gemäss einer neueren Tensar-Publikation verglichen und zeigt eine gute Übereinstimmung.

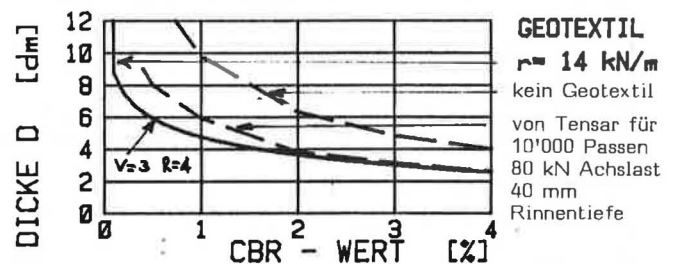


Diagramm 10 : Ähnlich wie in Diagramm 9 werden die zwei Kurven verglichen, jedoch bei grösserem Verkehrsvolumen.

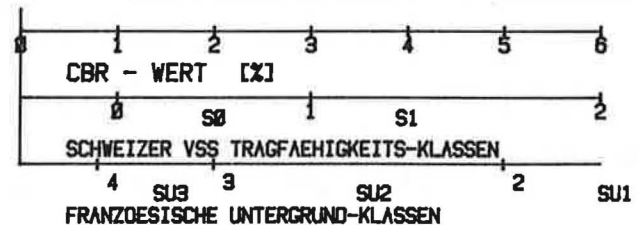


Diagramm 11 : Definition der verschiedenen Untergrundklassen mit CBR-Werten (nur als Vergleich).

LITERATUR

- [1] J. P. Giroud and Noiray, "Geotextile-Reinforced Unpaved Road Design", ASCE Geotechnical Journal Nr. 9, September 1981, p. 1233
- [2] J. P. Giroud, C. Ah-Line and R. Bonaparte, "Design of unpaved Roads and Trafficked Areas with Geogrids", Symposium on Polymergrid Reinforcement in Civil Engineering, 4.1 London 23-24 March 1984, 1-12
- [3] Dr. Willmers, "Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien im Erdbau", Teil: "Hinweise für die Anwendung", Ausgabe 1983, Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau, Köln.
- [4] K. Helprecht, K. Moritz, B. Ruhose: "Zur Verwendung von Vliesstoffen beim Bau von Landstrassen der unteren Bauklassen", Strasse und Tiefbau, November 1984, S.23.
- [5] P. L. Bourdaux: "Dimensionnement des Géotextiles utilisés comme armatures", Strasse und Verkehr Nr. 6, Juni 1984, Seite 215.
- [6] H. Rathmayer: "Experiences with VTT-DO Classified Non Woven Geotextiles for Finnish Road Constructions", 2nd International Conference on Geotextiles, Las Vegas, 1982, Section 2B International Standards, Seite 307.
- [7] Comité français des Géotextiles: "Recommandations pour l'emploi des géotextiles dans les voies de circulation provisoire, les voies à faible trafic et les couches de forme", Document du Ministère des Transports, direction des routes et de la circulation routière, Février 1981.
- [8] K. C. Zeffass: "Spinnvliesstoffe im Strassen- und Wegebau (Wirkungsweise und geforderte Eigenschaften)" Intern. Chemiefaser-Tagung in Dornbirn, Oesterreich, 23. - 25. September 1981.
- [9] F. P. Jaecklin: Einfluss der Prüfmethode auf die Reissdehnung und Rückwirkung auf die Bemessung der erforderlichen Geotextil-Reissfestigkeit. TK-Dokument des SVG, Januar 1985.
- [10] R. Ruegger, F.P. Jaecklin, J.F. Ammann: Das Geotextilhandbuch des SVG Schweiz. Verband für Geotextilfachleute St. Gallen, Verlag Vogt & Schild AG Solothurn, Schweiz, 1985.
- [11] Tensar: Ground Stabilization with Geogrids, brochure July 1982, revised October 1985, page 6 and 7.