

Dimensionierung von Oberbauten von Verkehrsflächen unter Einsatz von multifunktionalen Geogrids zur Stabilisierung des Untergrundes

N. Meyer, Fachhochschule Frankfurt am Main
J.M. Elias, Colbond Geosynthetics, Arnhem, Niederlande

1 Einleitung

Bei Ausführung von Verkehrsflächen wird auf dem Erdplanum in der Regel eine bestimmte Tragfähigkeit gefordert, bei der gewährleistet ist, dass keine unzulässig großen Verformungen in der Fahrbahnkonstruktion auftreten. Bei einem Erdplanum mit unzureichender Tragfähigkeit gemäß ZTVE StB 94 wird eine Untergrundverbesserung notwendig. Die Tragfähigkeitserhöhung des Erdplanums kann durch einen Bodenaustausch, Untergrundstabilisierung mit Kalk oder Einlegen von Geokunststoffen erfolgen.

Seit einigen Jahren werden Geokunststoffe bei nicht gebundenen Aufbauten wie Baustraßen oder Wirtschaftswegen eingesetzt. Bei einem gebundenen Oberbau geschieht dies seltener, da es mit der durch die Geokunststoffe erzeugten Stabilisierung häufig zu unzulässig hohen Verformungen des Straßen-aufbaus kam und die Langzeitfestigkeit einzelner Geokunststoffe nicht ausreichend war.

Für bleibende Baumaßnahmen müssen daher Geokunststoffe eingesetzt werden, die ein günstiges Spannungs-Dehnungs-Verhalten und gute Langzeit-eigenschaften besitzen.

2 Wirkungsweise von Geokunststoffen in Fahrbahnkonstruktionen

Die Geokunststoffe können im Straßenbau eine bewehrende, trennende und filternde Funktion haben. Die Trennfunktion verhindert ein Vermischen des Untergrundes mit der Tragschicht. Durch die Bewehrung können wesentlich höhere Schubspannungen im Bereich der Schichtgrenze aufgenommen werden (Bild 1).

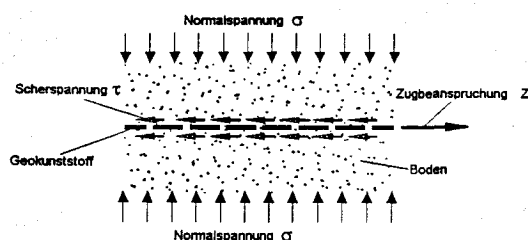


Bild 1: Bewehrungswirkung von Geokunststoffen

Neben der Kraftübertragung infolge Reibung und Verspannung können durch die Dehnung des Geokunststoffes zusätzliche Widerstandskräfte infolge eines Membraneffektes geweckt werden (Bild 2). Läßt ein Geokunststoff bei hohen Kräften nur geringe Dehnungen zu, so sind auch nur geringe Verformungen der Fahrbahnkonstruktion zu erwarten.

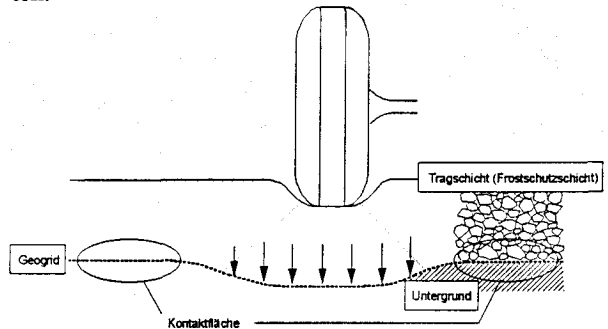


Bild 2: Membraneffekt nach Giroud und Noiray [1]

Dem Bewehrungseffekt ist der größte Teil der Tragfähigkeitsverbesserung zuzuschreiben. Da aber der Trenneffekt einen wesentlichen Beitrag für die langfristige Stabilisierung liefert, ist es sinnvoll diese beiden Funktionen zu verbinden.

Ein weiterer sehr wesentlicher Punkt ist, dass die Kräfte bzw. Spannungen auch über einen längeren Zeitraum ohne weitere Verformungen aufgenommen werden können. Während des Aufbaus der unbefestigten Fahrbahn und gemäß der Membraneffect-Theorie [1] wird das Geogitter vorgespannt. Der befestigte Aufbau besitzt infolge dieser Vorspannung eine höhere Festigkeit, die sich positiv auf die Nutzungsdauer der Fahrbahn auswirkt. Geogrids für eine bleibende Fahrbahnbewehrung müssen deswegen gute Langzeiteigenschaften besitzen, um während der gesamten Nutzungsdauer als Bewehrung wirken zu können.

3 Multifunktionales Geogrid

Bei verschiedenen Straßenbaumaßnahmen wurde ein multifunktionales Geogrid eingesetzt, das aufgrund seines Aufbaus alle o.g. Funktionen

(bewehren, trennen und filtern) erfüllt. Es handelt sich hierbei um ein gelegtes Geogitter aus Aramid mit Polymer-umhüllung mit beidseitig aufgearbeiteten thermisch verfestigten Vliesstoff (TRC-Grid, Bild 3).

Aramid besitzt einen sehr großen Elastizitätsmodul, so daß hohe Zugkräfte bereits bei geringen Dehnungen aufgenommen werden können (Bild 4). Ferner ist die Kriechneigung von Aramid sehr gering, so daß eine hohe Lebensdauer ohne große Festigkeitsverluste oder Zunahme der Verformungen gegeben ist (Bild 5).

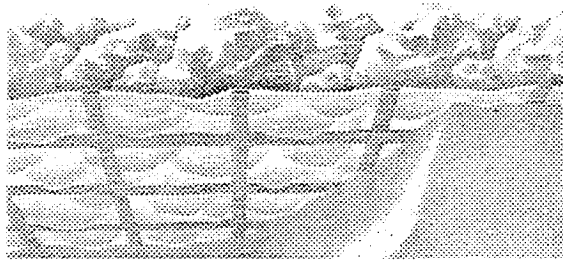


Bild 3: Multifunktionales Geogrid

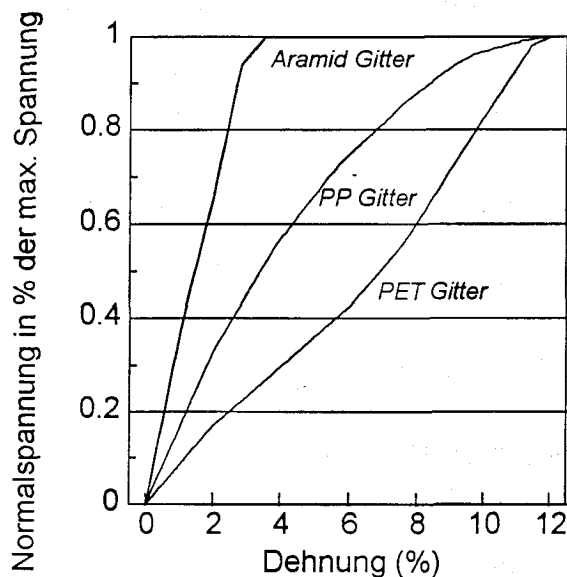


Bild 4: Spannungs - Dehnungs - Diagramm von Geogittern

4 Versuchsfelder

Die erforderliche Tragfähigkeit des Erdplanums und der Tragschicht (Frostschutzschicht) wird im Straßenbau i.d.R. durch Plattendruckversuche nachgewiesen. Die erforderlichen Verformungsmoduli sind in den Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen RStO 86/89 vorgegeben.

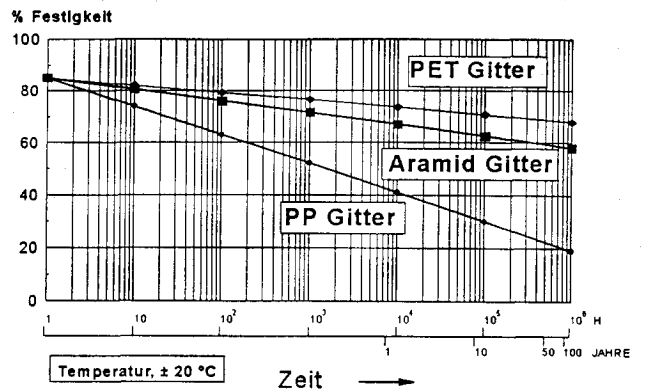


Bild 5: Langzeitverhalten des Geogittern

Im Rahmen von verschiedenen Bauvorhaben wurden vor Beginn der Baumaßnahme Versuchsfelder aus-geführt, um die Eignung der multifunktionalen Geo-grids zu überprüfen und die notwendigen Aufbau-mächtigkeiten festzulegen.

Hier soll exemplarisch ein Versuchsfeld im Zuge der B 26 Südspange Goldbach vorgestellt werden. Der Untergrund besteht bei dieser Baumaßnahme aus einem weichen bis steifen Lößlehm.

Es wurde ein ca. 10 x 30 m großes Versuchsfeld angelegt. Die Überprüfung der Tragfähigkeit des Erdplanums erfolgte mit statischen und dynamischen Plattendruckversuchen. Nach Abschieben des Oberbodens wurde das Erdplanum so vergleichmäßig, das überall eine Tragfähigkeit von $E_{v2} = 20 \text{ MN/m}^2$ und ein Verhältniswert $E_{v2} / E_{v1} = 3,0$ bis $4,0$ gegeben war. Mit dem dynamischen Plattendruckgerät ergaben sich E_{vd} -Werte von 8 bis 10 MN/m^2 .

Das Versuchsfeld wurde in 10 Teilflächen unterteilt. Auf dem Erdplanum wurden unterschiedlich mächtige Tragschichten aufgebracht. Das Trag-schichtmaterial bestand hier aus einem abgestuften gebrochenen Korngemisch 0/32 mm gemäß ZTVT StB 95. Die einzelnen Versuchsflächen wurden so angelegt, daß jeweils die Tragfähigkeit auf Oberkante Tragschicht mit und ohne Geokunststoff ermittelt werden konnte. Als Geokunststoff wurde ein multifunktionales Geogrid mit einer Kurzzeit-festigkeit von 30 kN/m bei $3,5\%$ Dehnung eingesetzt (TRC-Grid 30). Auf jeder Versuchsfläche wurden 5 statische und 3 dynamische Plattendruckversuche ausgeführt. Die Ansatzpunkte wurden so gewählt, das sich aufgrund der Lastausbreitung keine gegenseitig Beeinflussung ergeben konnte (Bild 6). Die Mächtigkeit der Tragschicht wurde zwischen 30 und 60 cm variiert (Bild 7).

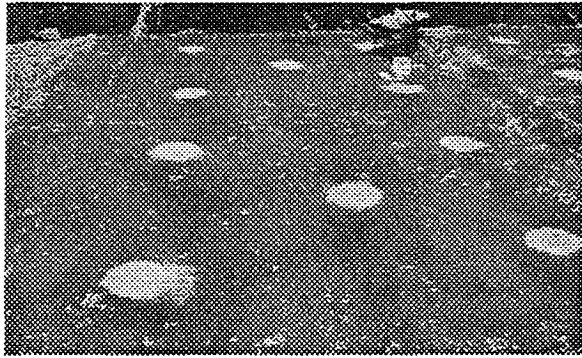


Bild 6: Teilfläche des Versuchsfeldes mit Lage der Plattendruckversuche

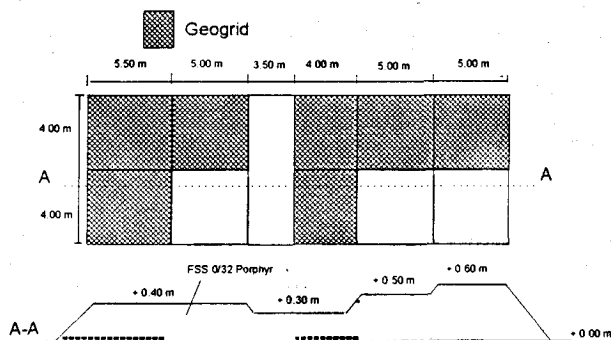


Bild 7: Versuchsfeld Goldbach mit Einteilung der Felder und Höhenangabe der Tragschicht

Die Ergebnisse (Mittelwerte aus den jeweiligen Versuchen) der statischen Plattendruckversuche zeigten Tragfähigkeitserhöhungen von bis zu 76 % gegenüber einem Straßenaufbau ohne Geogrid. Das Maximum lag bei den statischen Plattendruckversuchen bei einer 40 cm hohen Tragschicht, bei den dynamischen Plattendruckversuchen bei ca. 30 cm (Bild 8). Die meßbaren Tragfähigkeitserhöhungen nehmen mit zunehmender Tragschichtmächtigkeit ab, was natürlich an der entsprechenden begrenzten Tiefenwirkung der Plattendruckgeräte liegt. Bei anderen Versuchsfeldern hat sich gezeigt, daß die Höhe und die Lage des Maximums der Tragfähigkeitserhöhung vom verwendeten Schottermaterial und von der Tragfähigkeit des Untergrundes abhängt.

Bei einer Tragfähigkeit des Untergrundes von $E_{v2} < 10 \text{ MN/m}^2$ (mit statischen Plattendruckversuchen nicht meßbar) bzw. $E_{vd} = 2$ bis 4 MN/m^2 oder $\text{CBR} = 2 \%$ wurde das Maximum der Tragfähigkeitssteigerung z.B. bei ca. 30 cm festgestellt. Ähnliche Versuchsfelder mit anderen Untergrundverhältnissen und anderem Tragschichtmaterial wurden auch bei anderen Straßenbaumaßnahmen ausgeführt [2].

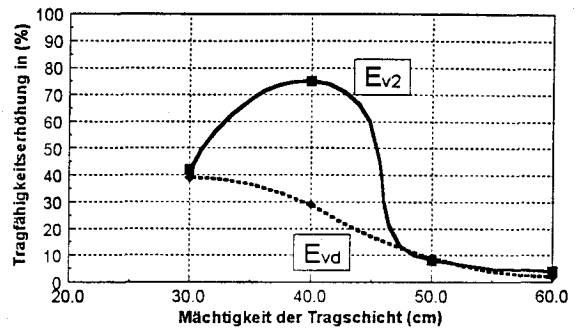


Bild 8: Steigerung der Tragfähigkeit durch Einsatz des multifunktionalen Geogrids

Im Bild 9 sind die Versuchsergebnisse der Plattendruckversuche von Probefeldern und baubegleitenden Versuchen bei einem Geh- und Radweg zwischen Schnepfenbach und Westerngrund dargestellt. Als Tragschichtmaterial wurde gut abgestuftes Recyclingmaterial 0/45 mm verwendet.

Generell kann festgestellt werden, daß eine tragfähigkeitserhöhende Wirkung bei Einsatz von hochzugfesten multifunktionalen Geogrids mit den herkömmlichen Versuchsgeräten meßbar ist.

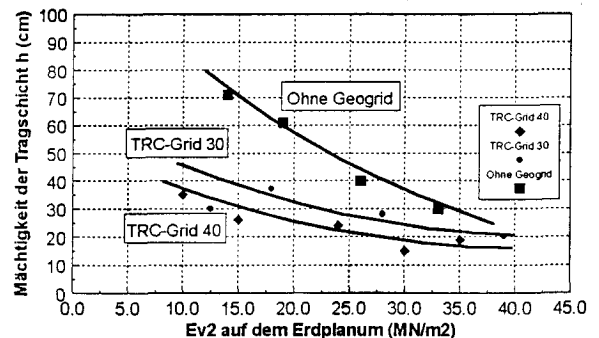


Bild 9: Mächtigkeit der Tragschicht im Abhängigkeit von der Tragfähigkeit des Untergrundes zur Erreichung eines E_{v2} -Wertes von 80 MN/m^2 auf Oberkante Tragschicht.

Weiterhin wurden auf den jeweiligen Versuchsfeldern Überfahrversuche durchgeführt und die Tiefe der entstandenen Spurrillen gemessen und anschließend die Geogrids ausgebaut, auf Beschädigungen und auf ihre Restzugfestigkeit geprüft. Es hat sich gezeigt, daß eine Mindestüberdeckung des Geogrids von 0,2 m gewährleistet sein muß, damit es zu keinen tragfähigkeitsmindernden Beschädigungen kommt. Die gemessenen Spurrillentiefen hängen, wie erwartet, von der Beschaffenheit des Untergrundes und der Mächtigkeit und Beschaffenheit der Tragschicht ab. Generell konnte durch das Einlegen von multifunktionalen Geogrids zwischen Untergrund und Tragschicht etwa eine Halbierung der Spurrillentiefe festgestellt werden.

5 Straßen mit ungebundenem Oberbau

Auf Grundlage der Versuchsergebnisse sowie den theoretischen Grundlagen der Membrantheorie von *Giroud und Noiray* [1] wurden für die hochzugfesten multifunktionalen Geogrids Bemessungsdiagramme für Verkehrswege mit ungebundenen Tragschichten und Baustraßen erstellt, wie sie auch bereits für andere Geokunststoffe von *Jaeklin und Floss* [3] entwickelt wurden. Eingangparameter sind die zulässige Spurrillentiefe, die Häufigkeit und Größe der Verkehrsbelastung, die Beschaffenheit des Tragschichtmaterials und die Tragfähigkeit des Untergrundes. Als Ergebnis erhält man die notwendige Mächtigkeit der Tragschicht. Aus den Diagrammen kann die Dicke der notwendigen Tragschicht ohne Geogrid D_u und mit Geogrid D_r sowie die Tragschichtersparnis ΔD abgelesen werden. In Bild 10 ist ein Bemessungsdiagramm für eine zulässige Spurrillentiefe von 7,5 cm und Einsatz eines Geogrids mit einer Kurzzeitfestigkeit von 20 kN/m (TRC-Grid 20) dargestellt. Die minimalen Schüttdicken nach [3] sind hier nicht mit berücksichtigt. Weitere Details können [4] entnommen werden.

Die Größe der Spurrillen ist jedoch nur ein Maß dafür, welche Kräfte und Verformungen im Bewehrungselement (Geokunststoff) geweckt werden können.

Bei Verkehrswegen, die nicht nur als Baustraßen dienen, erfolgt der Nachweis der Tragfähigkeit in der Regel durch Plattendruckversuche, wobei über die Verformungsmoduli die Beziehung zwischen aufgebrachtener Kraft und Verformung wiedergegeben wird. Allerdings werden hier nur sehr kleine Verformungen ($s < 0,5$ cm) aufgebracht. In Bild 11 ist ein Bemessungsdiagramm für die Festlegung der Mächtigkeit der Tragschicht am Beispiel eines gebrochenen Schottermaterials 0/56 mm in Abhängigkeit vom erforderlichen E_{v2} - Wert auf Oberkante Tragschicht (Frostschutzschicht) dargestellt. Die Tragfähigkeit des Untergrundes wurde als CBR - Wert (California-Bearing-Ratio) angegeben, da Plattendruckversuche auf einem wenig tragfähigen Erdplanum nicht durchführbar sind.

Bei dem Bemessungsdiagramm wurde davon ausgegangen, das infolge normalen Baustellenverkehrs übliche Belastungen und Verdichtungsvorgänge aufgebracht wurden, so daß im Geogrid Zugkräfte eingeleitet werden konnten. Die Ermittlung der Tragschichtmächtigkeit erfolgte danach für sehr kleine Verformungen.

Der Nachweis der Tragfähigkeit mit Plattendruckversuchen ist jedoch immer nur eine Moment-

aufnahme, wobei nur die Kurzzeitfestigkeit der Geokunststoffe überprüft wird. Sollen die Verkehrswege auch mit ungebundenem Oberbau über längere Zeit erhalten bleiben, muß die Abnahme der Festigkeit durch Kriecheinflüsse, Beschädigungen usw. gemäß EBGEO bei der Bemessung und Auswahl der Geogrids berücksichtigt werden.

6 Straßen mit befestigten Fahrbahnen

6.1 Allgemeine Grundsätze

Bei Einsatz von Geokunststoffen in Straßen mit einer befestigten Fahrbahn (z.B. Asphalt oder Beton) ist i.d.R. die Langzeitfestigkeit maßgebend, d.h. die gemessenen Tragfähigkeitswerte mit den Plattendruckversuchen auf Oberkante Tragschicht müssen während der gesamten Nutzungsdauer ohne weitere Verformungszunahme gewährleistet sein.

Der besondere Aufbau des hochzugfesten multifunktionalen Geogrids gewährleistet, daß kein Vermischen der Materialien stattfindet und es so auch langfristig zu keiner Tragfähigkeitminderung kommt.

Bei der Auswahl des Geogrids muß die Langzeitfestigkeit berücksichtigt werden, d. h. es müssen entsprechende Abminderungsfaktoren für Beschädigungen beim Einbau, Kriechen usw. gemäß EBGEO angesetzt werden. Aufgrund der geringen Kriechneigung von Aramid ist der Abminderungsfaktor A_1 des beschriebenen multifunktionalen Geogrids mit 1,58 bei 100 Jahren sehr gering.

Bereits fertige Bemessungstabellen in Abhängigkeit von der Tragfähigkeit des Untergrundes, der Tragschichtmächtigkeit und der Verkehrsbelastung sind in [4] enthalten. Hiermit wird sichergestellt, daß die in dem Geogrid wirkenden Zugkräfte über die gesamte Nutzungsdauer aufgenommen werden können.

Weiterhin muß bei Verkehrswegen mit befestigter Fahrbahn noch überprüft werden, ob die Mächtigkeit der Tragschicht ausreicht, um die Vertikalspannungen aus der Verkehrsbelastung auch langfristig schadlos in den noch immer vorhandenen wenig tragfähigen, allerdings bewehrten Untergrund einzuleiten. Die Überprüfung erfolgt über eine modifizierte Grundbruchbetrachtung nach *Houlsby und Jewell* [5] durch eine Gegenüberstellung der wirksamen Spannungen infolge Verkehr und der aufnehmbaren Spannungen des Untergrundes.

Die Vorgehensweise für die Bemessung einer Straße mit gebundenem Oberbau unter Einsatz eines multifunktionalen Geogrids wird nachfolgend beschrieben.

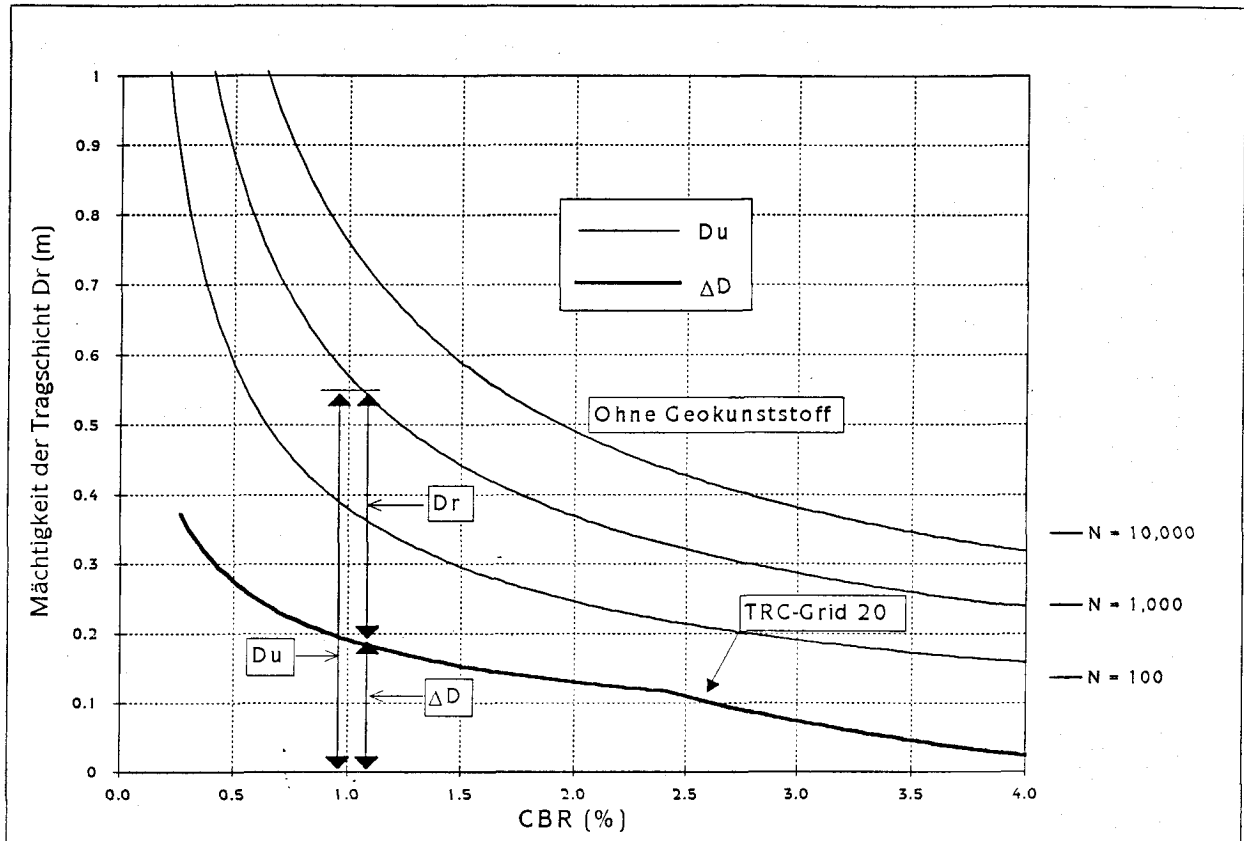


Bild 10: Festlegung der Mächtigkeit der Tragschicht für Straßen mit ungebundenem Oberbau nach Spurrillentiefe (hier $s=7,5$ cm), Größe und Anzahl der Belastung ($P = 80$ kN) entsprechend der Membran-Theorie [1].

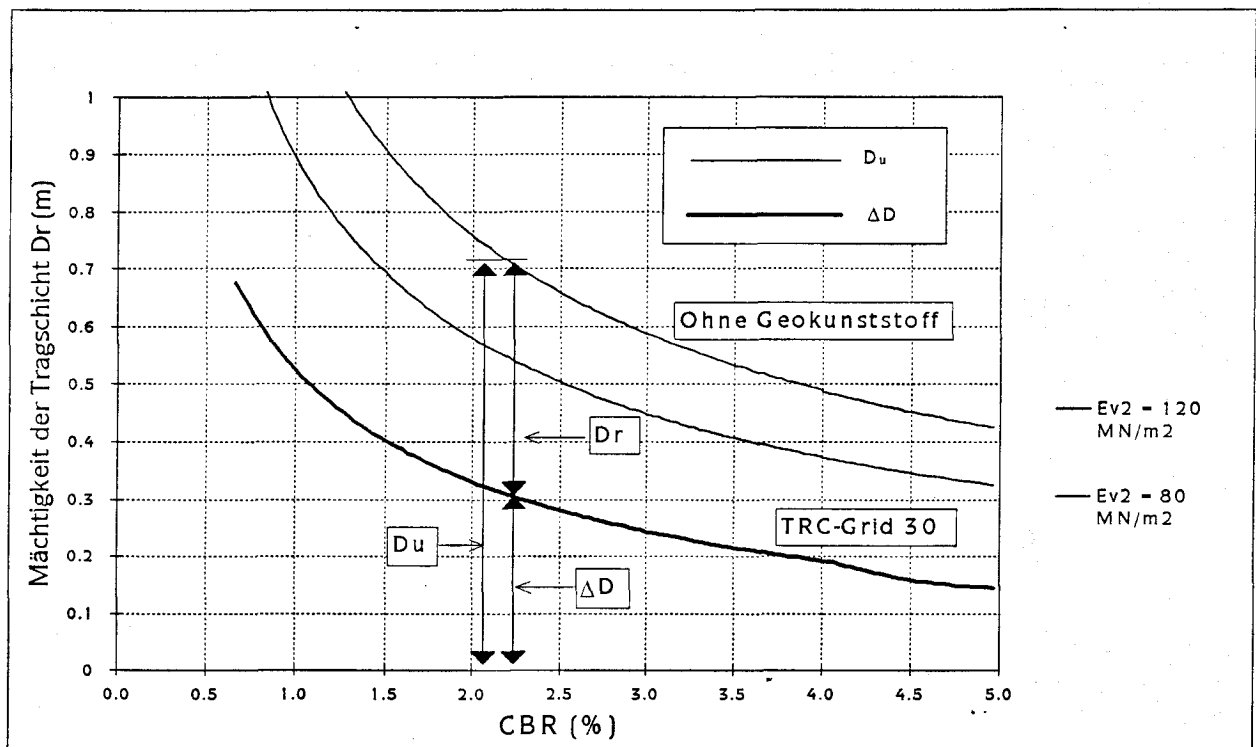


Bild 11: Festlegung der Mächtigkeit der Tragschicht für eine vorgegebene Tragfähigkeit auf Oberkante Tragschicht (hier Beispiel für gebrochenes Schottermaterial 0/56 mm).

6.2 Vorgehensweise bei der Bemessung

Die Auslegung von befestigten Fahrbahnen beginnt mit der Situation ohne Befestigung während des Ausbaus und berücksichtigt erst anschließend die Befestigung. Deshalb integriert sie die Ergebnisse der Berechnung für die unbefestigte Fahrbahn in die einer Fahrbahn mit Decklage (d.h. Asphalt oder Beton).

Die Berechnung ohne Befestigung ergibt die Dicke der Tragschicht bei Verwendung einer Bewehrung. Vor dem Einbau der Decklage soll die Tragschicht gemäß Projektspezifikationen verdichtet werden. Diese Verdichtung wird als Proctor-Dichte in % angegeben.

Für die Auslegung der Decklage sind allgemein anerkannte Bemessungstabellen oder Standardprogramme zu verwenden. In Deutschland ergibt sich der Aufbau i.d.R. aus der RStO 86/89. Während der übliche Aufbau von Befestigungen mehrere Schichten unterschiedlicher Asphalttypen vorsieht, ist bei diesem Berechnungsverfahren die Gesamtdicke der Decklage anzusetzen. Die Decklage wirkt sich nämlich nicht auf die Tragfähigkeit aus, sondern verteilt nur die Belastung. Bild 12 veranschaulicht diese Wirkung. Die Decklage des Fahrbahnaufbaus wird als elastisch und isotrop angenommen und leitet nur die Radlast weiter. Deshalb hat sie keinen Einfluß auf die gesamte Tragfähigkeit des Fahrbahnaufbaus. Anstelle einer Verwendung von Asphalt kann auch mit einem Betonbelag gerechnet werden. In diesem Fall sollten der Lastausbreitungswinkel der Decklage und die Dichte geändert werden.

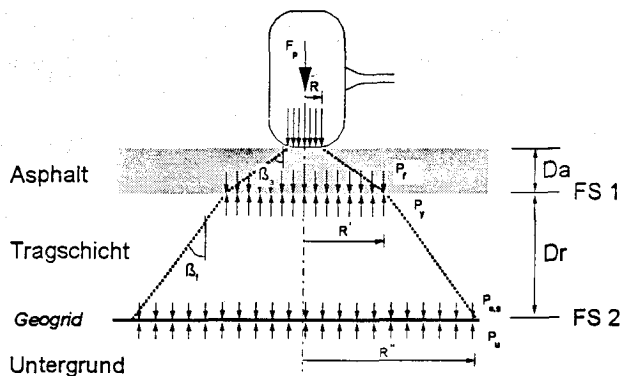


Bild 12: Übersicht den Spannungen im Oberbau

Um zu prüfen, ob der Gesamtaufbau während der gesamten Nutzungsdauer stabil bleibt, ist die maximale Tragfähigkeit der Tragschicht und des Unterbaus zu berechnen und dieses Ergebnis mit den tatsächlichen Belastungen zu vergleichen. Für einen stabilen Aufbau gelten die folgenden Sicherheitsfaktoren (FS):

$$\frac{P_y}{P_f} > 1,1 \quad (\text{FS 1})$$

$$\frac{P_u}{P_{e,s}} > 2,0 \quad (\text{FS 2})$$

Hierin sind:

P_f = Spannung auf der Tragschicht

P_y = Tragfähigkeit der Tragschicht

$P_{e,s}$ = Äquivalente Spannung (Sohldruck)

P_u = Tragfähigkeit der Untergrundes

FS 1

- Das Auslegungsverfahren unterstellt eine vollständig elastische Decklage, die keinen Einfluß auf die Steifigkeit des Gesamtaufbaus hat. In der Praxis versteift die Decklage den Aufbau natürlich weiter.
- Die Verdichtung der Tragschicht erhöht wahrscheinlich die Tragfähigkeit dieser Lage bis zu einem bestimmten Maximum, und es erfolgt deshalb nur eine begrenzte oder keine Setzung in der Tragschicht.

FS 2

Während der Nutzungsdauer des Aufbaus können im Unterbau wegen dessen niedrigem CBR-Wert und durch dynamische Radlasten differentielle Setzungen eintreten. Das Geogrid erhöht die Tragfähigkeit des Unterbaus und verringert die Wahrscheinlichkeit von differentiellen Setzungen, die den kritischsten Ausfallmechanismus darstellen. Deshalb ergibt sich ein höherer Sicherheitsfaktor.

Hinweis:

Die für FS 1 und FS 2 angegebenen Werte sind Standardwerte. Sie entsprechen zwar den Erfahrungen des Verfassers und können als Richtgröße für die Auslegung dienen, jedoch können der Planung auch andere Sicherheitsfaktoren zugrunde gelegt werden, wenn diese eher den im jeweiligen Land geltenden Standards entsprechen.

Auslegungsberechnungen

SCHRITT 1

Die Dicke der Tragschicht ohne Befestigung berechnen (D_r). Es gilt die in Kapitel 5 beschriebene Prozedur. Der Typ des Geogrid ist hauptsächlich für den Fall ohne Befestigung in der Ausbauphase gemäß dem CBR-Wert des Unterbaus zu wählen. Die Dicke der Tragschicht wird später darauf geprüft, ob sie für den Fall mit Befestigung geeignet ist.

SCHRITT 2

Die Kontaktfläche zwischen dem Reifen und der Fahrbahnoberfläche wird als kreisförmig (mit Radius R) angenommen. R wird berechnet aus $R = \sqrt{\{F_p / (\pi P_t)\}}$ mit F_d der Radlast und P_t des Reifendrucks.

R' und R'' berechnen:

$$R' = R + D_a \times \tan \beta_a \quad (\text{Gl. 1})$$

$$R'' = R' + D_r \times \tan \beta_f \quad (\text{Gl. 2})$$

Hierin sind:

R = Radius der Kontaktfläche zwischen dem Reifen und der Fahrbahnoberfläche

R' = Radius der Lastverteilung zwischen der Decklage und der Tragschicht (Bild 12)

R'' = Radius der Lastverteilung zwischen der Tragschicht, dem Geogrid und dem Unterbau (Bild 12)

D_a = Dicke der Decklage

D_r = Dicke der Tragschicht bei Verwendung eines Geogrid (Kapitel 5)

β_a = Lastausbreitungswinkel in der Decklage

β_f = Lastausbreitungswinkel in der Tragschicht

Bei einer Verwendung von zwei oder mehr unterschiedlichen Tragschichttypen im Unterbau der Fahrbahn ist zu beachten, daß sich die unterschiedlichen Lastbreitungswinkel und Dichten auf das Ergebnis auswirken können.

SCHRITT 3

Den Druck auf die Tragschicht (P_f) berechnen aus:

$$P_f = \frac{F_p}{\pi (R')^2} + \gamma_a \times D_a \quad (\text{Gl. 3})$$

Hierin sind:

F_p = max. Radlast auf der Fahrbahnbefestigung

γ_a = Dichte der Decklage

SCHRITT 4

Die maximale Tragfähigkeit der Tragschicht (P_y) mit Hilfe der folgenden Formel berechnen, nach *Houlsby und Jewell* [5]:

$$P_y = 0.6 R' \times \gamma_f \times N_\gamma \quad (\text{Gl. 4})$$

Dieser Ausdruck setzt gemäß der *Theorie von Vesic* [8] einen Formfaktor 0,6 für Axialsymmetrie an. Der Tragfähigkeitsfaktor N_γ für einen rauen Unterbau kann durch $N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi'$ angenähert werden, und der Tragfähigkeitsfaktor N_q ergibt sich schließlich durch die genaue Formel

$$N_q = \{(1 + \sin \phi') / (1 - \sin \phi')\} e^{\pi \tan \phi'}$$

ϕ' ist der Reibungswinkel der Tragschicht.

KONTROLLE 1

Zur Kontrolle des Aufbaus auf Stabilität wird das Verhältnis

$$\frac{P_y}{P_f} > 1,1 \quad (\text{FS 1})$$

überprüft.

Bei einem Wert größer als 1,1 besitzt die Tragschicht eine ausreichende Tragfähigkeit. Bei einem Ergebnis unter 1,1:

- Dicke der Asphaltsschicht erhöhen, *oder*
- eine Decklage eines anderen Typs mit einem größeren Lastausbreitungswinkel vorsehen, *oder*
- die Tragschicht stärker verdichten, damit deren Reibungswinkel zunimmt, *oder*
- für die Tragschicht ein anderes Material mit einem größeren Reibungswinkel verwenden.

SCHRITT 5

Die Anzahl der Lastachsenpassagen während der Nutzungsdauer der Befestigung abschätzen (N_p). Es werden jeweils zwei Lastachsen pro Nutzfahrzeug angenommen.

Für Deutschland können die Verkehrsbelastungen für die jeweilige Bauklasse verwendet werden.

SCHRITT 6

Die äquivalente Radlast F_e berechnen. Die dynamischen Belastungen während der Nutzungsdauer können sich auf die differentiellen Setzungen im Unterbau auswirken. Die Berechnung einer äquivalenten Radlast (F_e) berücksichtigt diese wiederholten Lastwechsel für die Kontrolle der Tragfähigkeit des Unterbaus. Diese Radlast F_e ersetzt dann in der weiteren Berechnung die Einzelradlast F_p . F_e ergibt sich aus der Anzahl der Achsenpassagen während der Nutzungsdauer der Befestigung (N_p) (SCHRITT 5) gemäß der folgenden Formel (*De Groot et al.*, [6]):

$$F_e = F_p (\sqrt[6]{N_p}) \quad (\text{Gl. 5})$$

SCHRITT 7

Die äquivalente Drucklast (Sohlnormalspannung) des Unterbaus ($P_{e,s}$) kann mit einer modifizierten Grundbruchgleichung berechnet werden:

$$P_{e,s} = \frac{F_e}{\pi (R'')^2} + \gamma_a \times D_a + \gamma_f \times D_r \quad (\text{Gl. 6})$$

Diese äquivalente Drucklast ergibt sich aus der äquivalenten Radlast (SCHRITT 6) und dem Gewicht des Asphalts und der Tragschicht.

SCHRITT 8

Die maximale Tragfähigkeit des Unterbaus (P_u) mit der folgenden Formel berechnen [5]:

$$P_u = N_c \times \text{CBR} \times 30 \left[\frac{R''}{R} \right]^2 \quad (\text{Gl. 7})$$

N_c ist der Tragfähigkeitsfaktor des Unterbaus. Bei Axialsymmetrie hat N_c für einen Aufbau mit Bewehrung den Wert 5,69. Bei einem Aufbau ohne Bewehrung liegt dieser Wert bei 3,14.

KONTROLLE 2

Zur Kontrolle des Unterbaus auf Stabilität das folgende Verhältnis berechnen:

$$\frac{P_u}{P_{e,s}} > 2,0 \quad (\text{FS 2})$$

Die mechanische Stabilität des Unterbaus ist gewährleistet, wenn dieses Verhältnis größer als 2,0 ist. Bei einem Sicherheitsfaktor unter 2,0:

- dickere Tragschicht vorsehen, damit sich die Last besser verteilt, *oder*
- die Tragschicht stärker verdichten, um einen größeren Lastausbreitungswinkel zu erreichen, *oder*
- für die Tragschicht ein anderes Material mit einem größeren Lastausbreitungswinkel verwenden, *oder*
- den Unterboden verdichten, um dessen CBR-Wert zu erhöhen.

7 Schlußbemerkungen

- Es wurde eine Bemessungsmethode für unbefestigte und befestigte Fahrbahnkonstruktionen vorgestellt.
- Es wurden umfangreiche statische und dynamische Plattendruckversuche bei verschiedenen Baumaßnahmen durchgeführt, die die Steigerung der Tragfähigkeit und die Effektivität eines hochzugfesten multifunktionalen Geogrids bestätigen.
- Die neue Bemessungsmethode für Straßen mit befestigter Fahrbahn (gebundenem Oberbau) ist abgeleitet aus der Lastverteilungstheorie [5].
- Bei Straßen die nicht nur temporären Zwecken dienen, ist das Langzeitverhalten eines Geogrids maßgebend. Hier müssen neben dem globalen Sicherheitsfaktor noch Abminderungsfaktoren für Beschädigungen beim Einbau und Kriechen vorgesehen werden.
- Mehrere Straßen mit einer befestigten Fahrbahn sind bereits nach der vorgestellten Methode dimensioniert worden. Ein Computerprogramm für die Bemessung ist von den Autoren erhältlich.

lich.

- Durch weitere Versuchsfelder und Kontrollmessungen sollen die Ergebnisse noch bestätigt und evtl. kalibriert werden.

8 Literatur

- [1] Giroud J.P. and Noiray L., Geotextile-reinforced Unpaved Road Design, Journal of the Geotechnical Engineering Division, American Society of Civil Engineers, Vol. 107, No. GT9, pp. 1233 - 1254, 1981
- [2] Banjac R., Dimensionierung von Oberbauten von Verkehrsflächen unter Einsatz von Geokunststoffen zur Stabilisierung des Untergrundes, Diplomarbeit Fachhochschule Frankfurt am Main, 1998 (unveröffentlicht)
- [3] Jaeklin F.P. und Floss R., Methode zur Bemessung von Geotextilien im Straßenbau auf besonders weichem Untergrund, 1 Kongreß 'Kunststoffe in der Geotechnik', DGE, Hamburg 1988
- [4] TRC-Grid, Design and Installation Guide, Akzo Nobel Geosynthetics, December 1998
- [5] Hously G.T and Jewell R.A., Design of reinforced unpaved roads for small rut depths, Geotextiles, Geomembranes and Related Products, ed. G. den Hoedt, Balkema, Rotterdam, pp. 171 - 176, 1990
- [6] Groot M. de, Janse E., Maagdenberg T.A.C., and Berg C. van den, Design method and guidelines for geotextile application in road construction, Proceedings of the 3rd International Conference on Geotextiles, Vienna, Vol. 3, pp. 741, 1986
- [7] Holtz R.D. and Sivakugan N., Design Charts for Roads with Geotextiles and Geomembranes, Vol. 5, pp. 191 - 199, 1987
- [8] Vesic A.S., Bearing Capacity of Shallow Foundations, Foundation Engineering Handbook, ed. Winterkorn, F.S. and Fand, H-Y, Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 121 - 147, 1975