

## MASTERARBEIT



### Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Geokunststoffbewehrungen für ungebundene Tragschichten in Aufbauten von großflächigen Parkplätzen im Raum Graz und Graz-Umgebung

Bernhard Quehenberger, BSc

Vorgelegt am  
Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Betreuer  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Fellendorf

Mitbetreuender Assistent  
Dipl.-Ing. Dipl.-Ing Thomas Reiter

Graz, am 1.3.2012

## Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am .....

.....

(Unterschrift)

## STATUARY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, .....

.....

date

(signature)

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich Herrn Univ. Ass. Dipl. Ing. Dr. techn. Markus Hoffmann, Herrn Dipl. Ing. Christian Lackner, dem Land Steiermark, sowie den Firmen HUESKER Synthetic GmbH, NAUE GmbH & Co. KG und TenCate Geosynthetics Austria Ges. m. b. H. für die hilfreichen Auskünfte danken. Für die Betreuung von universitärer Seite bedanke ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Fellendorf und Herrn Dipl.-Ing. Dipl.-Ing. Thomas Reiter. Besonderer Dank gebührt meiner Familie, die mich die gesamte Ausbildungszeit hindurch unterstützte.

## Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in zwei Teile. Zu Beginn werden anhand einer Literaturrecherche die Grundlagen erläutert. Nach einer Einführung in das Themengebiet der Geokunststoffe wird auf den Straßenaufbau, mit Vertiefung auf die ungebundenen Tragschichten, und die dabei vorkommenden Geokunststoffverwendungen eingegangen. Den Abschluss bildet eine Zusammenfassung der Grundelemente einer Kostenermittlung für Bauvorhaben, woraufhin wirtschaftliche Überlegungen durchgeführt werden können.

Der zweite Teil der Arbeit beschäftigt sich mit der Beantwortung der Forschungsfrage. Es wird dabei die Wirtschaftlichkeit einer Geokunststoffbewehrung für ungebundene Tragschichten in Aufbauten von großflächigen Parkplätzen im Raum Graz und Graz-Umgebung untersucht. Hinsichtlich der Betrachtungen wird zwischen dem Einsatz bei Baugrundstabilisierungsmaßnahmen in Form einer Bodenauswechslung und der Verwendung im Oberbau unterschieden.

Bezüglich eines Bewehrungseinsatzes bei einer Bodenauswechslung wird durch einen Kostenvergleich festgestellt, welche Schichtstärkeneinsparung im Vergleich zur Bauweise ohne Geokunststoffeinlage notwendig ist, um die durch den Einbau einer Bewehrung entstehenden Mehrkosten auszugleichen. Anschließend wird die ermittelte notwendige Reduzierung mit der laut Herstellerangaben möglichen Einsparung verglichen und auf dessen Wirtschaftlichkeit überprüft.

Für Überlegungen eines geokunststoffbewehrten Oberbaues wird der Frage nachgegangen, inwieweit die Lebensdauer erhöht werden muss, damit die Annuität der Bauweise mit Geokunststoffeinlage ident mit jener der herkömmlichen Ausführung ist. Zusätzlich wird die mit dem Einbau einer Bewehrung kostengleichen Erhöhung der unteren ungebundenen Tragschicht berechnet und die sich dadurch ergebende Lebensdauer mit Hilfe der strukturellen Kennzahl abgeschätzt. Nach einer Gegenüberstellung der Ergebnisse erfolgt eine Beurteilung.

Die Resultate haben ergeben, dass bei Baugrundstabilisierungsmaßnahmen eine Geokunststoffbewehrung, unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeit, bis zu einer Untergrundtragfähigkeit von  $\text{CBR} \leq 4 \%$  ( $E_{v2} \leq 20 \text{ MN/m}^2$ ) wirtschaftlich eingesetzt werden kann. In Bezug auf die Erhöhung der Lebensdauer des Oberbaus ist es schwierig die tatsächlichen Auswirkungen zu bestimmen. Die Frage die sich hierbei stellt ist jene, ob eine Erhöhung von Tragschichten nicht zweckmäßiger wäre.

## Abstract

The present work is dividing into two parts. At the beginning the bases are explained with the help of a literature search. After an introduction to the subject area of the geosynthetics, a road construction will be discussed, with deepening on the base layers and its occurring uses of geosynthetics. An explanation of the fundamentals of the costing for building projects forms the end, whereupon economic considerations can be carried out.

The second part of the work deals with the main issue. In this, the economic efficiency of reinforced road structures by geosynthetics is examined. The view refers to constructions of large parking areas in the region of Graz. Concerning the considerations a distinction is made between the application by improving the soil bearing capacity through replace of unsuitable subsoil material and the use in the superstructure.

By the utilization of unsuitable subsoil material replacement, it is ascertained by a cost comparison, which layer thickness saving is necessary, to equalize the additional costs by a geosynthetic reinforcement installation. Afterwards a relation, between the necessary reduction of the layer thickness and the possible savings as specified by the manufacturer, takes place and is checked by the economy.

For considerations of a reinforced superstructure the investigated question is, how much the lifespan have to increased, that the annuity of the construction with the integrated geosynthetic is identical with that of the conventional design. In addition, dependent on the costs of a geosynthetic usage, the potential raise of the sub base layer is calculated and relating to that, effects on the lifetime is estimate by its structural number. After that a confrontation of the results is following.

Taking account of sustainability, the results have shown, that geosynthetic reinforcement by improving the soil bearing capacity is profitability till a load capacity of  $CBR = 4\%$  ( $E_{v2} = 20 \text{ MN/m}^2$ ). Concerning a use in the superstructure, it is difficultly to determine the effectively life span. The question that arises is, if an increase of the base course is not more suitable.

## Inhaltsverzeichnis:

<b>1. EINLEITUNG .....</b>	<b>14</b>
1.1. AUFGABENSTELLUNG UND ZIEL.....	14
1.2. AUFBAU DER ARBEIT .....	15
<b>2. GEOKUNSTSTOFFE.....</b>	<b>17</b>
2.1. WERKSTOFFE .....	18
2.2. ARTEN VON GEOKUNSTSTOFFEN .....	20
2.2.1. <i>Geotextilien</i> .....	21
2.2.2. <i>Geotextilverwandte Produkte</i> .....	24
2.2.3. <i>Geosynthetische Dichtungsbahnen</i> .....	27
2.2.4. <i>Geoverbundstoffe</i> .....	29
2.3. PRÜFVERFAHREN.....	31
2.4. ALLGEMEINE ANWENDUNGEN VON GEOKUNSTSTOFFEN IM ERDBAU.....	31
2.4.1. <i>Trennen</i> .....	32
2.4.2. <i>Filtern</i> .....	32
2.4.3. <i>Entwässern</i> .....	33
2.4.4. <i>Bewehren</i> .....	33
2.4.5. <i>Schützen</i> .....	33
2.4.6. <i>Abdichten</i> .....	34
<b>3. AUFBAU VON STRAßEN UND SONSTIGEN VERKEHRSFLÄCHEN.....</b>	<b>38</b>
3.1. UNTERBAU .....	39
3.2. OBERBAU.....	42
3.3. OBERBAUBEMESSUNG VON AUFBAUTEN MIT BITUMINÖSER BEFESTIGUNG NACH RVS 03.08.63.....	44
3.4. TRAGFÄHIGKEIT VON OBERBAUTEN MIT BITUMINÖSER BEFESTIGUNG .....	49
<b>4. EINSATZ VON GEOKUNSTSTOFFEN BEI UNGEBUNDENEN     TRAGSCHICHTEN IM STRAßENBAU .....</b>	<b>53</b>
4.1. WIRKUNGSWEISE UND BEMESSUNG .....	54
4.1.1. <i>Trennen und Filtern</i> .....	54
4.1.2. <i>Bewehren</i> .....	57

4.2.	EINBAULAGE .....	61
<b>5.</b>	<b>GRUNDLAGEN DER KOSTENERMITTLUNG (KALKULATION) .....</b>	<b>62</b>
5.1.	KOSTENGRUPPEN .....	63
5.1.1.	<i>Einzelkosten der Teilleistung</i> .....	63
5.1.2.	<i>Baustellengemeinkosten</i> .....	64
5.1.3.	<i>Allgemeine Geschäftskosten</i> .....	66
5.2.	ZUSCHLÄGE.....	67
5.2.1.	<i>Wagnis und Gewinn</i> .....	67
5.2.2.	<i>Umsatzsteuer</i> .....	68
5.3.	KALKULATIONSMETHODEN.....	68
5.3.1.	<i>Kalkulation mit Zuschlagsermittlung über die Endsumme</i> .....	69
5.3.2.	<i>Kalkulation mit vorberechneten Zuschlägen</i> .....	69
5.3.3.	<i>Pauschalpreisangebote</i> .....	69
<b>6.</b>	<b>WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNG EINER GEOKUNSTSTOFFBEWEHRUNG FÜR UNGEBUNDENE TRAGSCHICHTEN IM AUFBAU VON PARKFLÄCHEN .....</b>	<b>70</b>
6.1.	GEOKUNSTSTOFFBEWEHRUNG BEI BODENAUSWECHSLUNGEN (ERHÖHUNG DER FROSTSCHUTZSCHICHT) .....	70
6.1.1.	<i>Bauablauf und notwendige Teilleistungen (Positionen)</i> .....	71
6.1.2.	<i>Leistungsansätze</i> .....	72
6.1.3.	<i>Gerätepreise</i> .....	79
6.1.4.	<i>Mittellohnpreis</i> .....	81
6.1.5.	<i>Schüttmaterial- und Deponiepreise</i> .....	81
6.1.6.	<i>Zeitgebundene Baustellengemeinkosten</i> .....	83
6.1.7.	<i>Notwendige Einsparung der Bodenauswechslungsstärke durch die Einlage eines Geokunststoffes</i> .....	84
6.1.8.	<i>Einsparpotenzial der Schüttstärken durch Geokunststoffeinlagen</i> .....	91
6.1.9.	<i>Wirtschaftlichkeitsbetrachtung</i> .....	96
6.2.	GEOKUNSTSTOFFBEWEHRUNG BEI STANDARD OBERBAUTEN .....	101
6.2.1.	<i>Wahl des Oberbaues</i> .....	101
6.2.2.	<i>Bauablauf und notwendige Teilleistungen (Positionen)</i> .....	102
6.2.3.	<i>Leistungsansätze</i> .....	104
6.2.4.	<i>Gerätepreise</i> .....	105
6.2.5.	<i>Mittellohnpreis</i> .....	105
6.2.6.	<i>Materialpreis für ungebundene Tragschichten</i> .....	105
6.2.7.	<i>Investitionskosten</i> .....	105
6.2.8.	<i>Instandsetzungs- und Rückbaukosten</i> .....	108

6.2.9.	<i>Abschätzung der erforderlichen Lebensdauer</i> .....	110
6.2.10.	<i>Erhöhung der ungebundenen unteren Tragschicht</i> .....	113
6.2.11.	<i>Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Interpretation</i> .....	118
<b>7.</b>	<b>FAZIT</b> .....	<b>120</b>
<b>8.</b>	<b>LITERATUR</b> .....	<b>123</b>
<b>9.</b>	<b>ANHANG</b> .....	<b>128</b>
9.1.	ERMITTLUNG DES MITTELLOHNPREISES .....	128
9.2.	ERMITTLUNG DER GERÄTEPREISE .....	132
9.3.	ANFORDERUNGEN AN DAS KORNGEMISCH VON UNGEBUNDENEN TRAGSCHICHTEN GEM. RVS 08.15.01 (2010) .....	138

## Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 2.1: Einteilung von Geokunststoffen (ÖNORM EN ISO 10318, 2006).....	17
Abbildung 2.2: Verschiedene Arten eines Geovliesstoffes (50)(51)(53)(54).....	22
Abbildung 2.3: Unterschiedliche Produkte von Geogewebe (54)(55)(56)(57) .....	23
Abbildung 2.4: Beispiele von unterschiedlichen Geogittern (58)(59)(60).....	25
Abbildung 2.5: Beispiel eines Geonetzes (61) .....	25
Abbildung 2.6: Unterschiedliche Produkte von Geomatten (62)(63).....	26
Abbildung 2.7: Mögliche Form einer Geozelle (64).....	26
Abbildung 2.8: Einteilung von geosynthetischen Dichtungsbahnen (Saathoff et al. 2001).....	28
Abbildung 2.9: Mögliche Zusammensetzungen für Geoverbundstoffe (ÖNORM EN ISO 10318, 2006).....	30
Abbildung 2.10: Geogitter mit Vliesstoffkomponente für Trenn-, Filter- und Bewehrungsfunktionen (65)(66).....	30
Abbildung 2.11: Geonetz (links) bzw. Geomatte (rechts) mit integrierter Vliesstoffkomponente für Trenn-,Filter- und Dränaufgaben (67)(68).....	30
Abbildung 2.12: Geogitter mit Vliesstoffkomponente bei feinkörnigem, wenig tragfähigem Untergrund(69) .....	34
Abbildung 2.13: Geovliesstoff bei Entwässerungsgraben (70) .....	35
Abbildung 2.14: Stützwand mit geokunststoffbewehrter Erde (71) .....	35
Abbildung 2.15: Einbau von Kunststoffdichtungsbahnen (71) .....	36
Abbildung 2.16: Einsatz von geosynthetischen Tondichtungsbahnen (72) .....	36
Abbildung 2.17: Einbau einer Erosionsschutzmatte (71) .....	37
Abbildung 2.18: Verlegung einer Kunststoffdichtungsbahn mit darüber liegender Dränmatte zur Entwässerung (71) .....	37
Abbildung 3.1: Straßenaufbau (Systemskizze) (RVS 03.08.63, 2008) .....	38
Abbildung 3.2: Lastableitung im Straßenoberbau (eigene Darstellung).....	38
Abbildung 4.1: Wirkungsweise von Geokunststoffen durch die Funktionen Trennen und Filtern (Holtz et al. 1998) .....	54
Abbildung 4.2: Entgegenwirken einer seitlichen Materialverschiebung (Holtz et al 1998).....	57
Abbildung 4.3: Erhöhung der Tragfähigkeit durch Umlenkung der Bruch- und Gleitflächen (Holtz et al 1998) .....	58
Abbildung 4.4: Verringerung der Spurrinnenbildung aufgrund der Membranwirkung (Holtz et al 1998) .....	58
Abbildung 5.1: Gliederung der Kostengruppen für die Kostenermittlungen (eigenen Darstellung) .....	63
Abbildung 5.2: Zuschläge auf die Selbstkosten zur Preisermittlung (eigene Darstellung).....	67
Abbildung 6.1: Einsparung der Bodenauswechslungsstärke aufgrund einer Geokunststoffbewehrung (eigene Darstellung).....	71
Abbildung 6.2: Schematischer Bauablauf mit erforderlichen Positionen der unterschiedlichen Bauweisen (eigene Darstellung) .....	72
Abbildung 6.3: Hydraulikbagger (Liebherr R916) für Abtrag und Laden der Bodenauswechslung (73)73	
Abbildung 6.4: Leistungsermittlung für Hydraulikbagger (Raupefahrwerk).....	74

Abbildung 6.5: LKW-Hinterkipper (Vierachser) für Material wegschaffen und liefern (74) .....	74
Abbildung 6.6: Nenninhalt der Mulden und Umlaufzeiten für Vierachser .....	75
Abbildung 6.7: Planierraupe (Liebherr PR 714) für Einbau Schüttmaterial Bodenauswechslung (75) .....	76
Abbildung 6.8: Einbauleistung Planierraupe .....	76
Abbildung 6.9: Walzenzug (Bomag BW 211) für Verdichtungsarbeiten (76) .....	77
Abbildung 6.10: Flächen- und Mengenleistung für Verdichtungsarbeiten .....	78
Abbildung 6.11: Hydraulikbagger auf Räder (Liebherr A 309) für Hebearbeiten bei Geokunststoffverlegung (77) .....	79
Abbildung 6.12: Preise der eingesetzten Gerätschaften .....	80
Abbildung 6.13: Geografische Lage der angefragten Werke (google maps) .....	82
Abbildung 6.14: Schüttmaterial- und Deponiepreise (Nettopreis ab Werk) .....	82
Abbildung 6.15: Kalkulationsblatt für 5 km Transportstrecke .....	85
Abbildung 6.16: Kalkulationsblatt für 10 km Transportstrecke .....	86
Abbildung 6.17: Kalkulationsblatt für 20 km Transportstrecke .....	87
Abbildung 6.18: Notwendige Schüttstärkeneinsparung in Abhängigkeit des Geokunststoffpreises .....	90
Abbildung 6.19: Notwendige Schüttstärke ohne Bewehrung für $E_{V2}=45 \text{ MN/m}^2$ (Rüegger et al 2003) .....	91
Abbildung 6.20: Notwendige Schüttstärke mit Bewehrung für $E_{V2}=45 \text{ MN/m}^2$ (Rüegger et al 2003) .....	92
Abbildung 6.21: Notwendige Schüttstärke ohne Bewehrung lt. Programm SecuCalc, (eigene Darstellung) .....	93
Abbildung 6.22: Notwendige Schüttstärke mit Bewehrung lt. Programm SecuCalc, (eigene Darstellung) .....	93
Abbildung 6.23: Notwendige Schüttstärken für $E_{V2}=120/45 \text{ MN/m}^2$ lt. Online-Berechnung von TenCate Geosynthetics (eigene Darstellung) .....	94
Abbildung 6.24: Notwendige Schüttstärken für $E_{V2}=80 \text{ MN/m}^2$ lt. Online-Berechnung von TenCate Geosynthetics (eigene Darstellung) .....	95
Abbildung 6.25: Angenommenes Verhältnis zwischen CBR-Wert und Verformungsmodul aus Zweitbelastung $E_{V2}$ .....	95
Abbildung 6.26: Möglicher Einbau einer Geokunststoffbewehrung (eigene Darstellung) .....	102
Abbildung 6.27: Schematischer Bauablauf zur Herstellung des Oberbaus (eigene Darstellung) .....	103
Abbildung 6.28: Grader für Einbau der ungebundenen Tragschichten (New Holland F106.6A) (79) .....	104
Abbildung 6.29: Einheitspreise zur Herstellung der ungebundenen Tragschichten .....	106
Abbildung 6.30: Einheitspreise zur Herstellung der bituminösen Trag- und Deckschicht lt. Preisspeicher Straßenbau des Landes Steiermark (Stand 05/2010) .....	107
Abbildung 6.31: Notwendige Positionen zur Gegenüberstellung für eine Erhöhung der unteren Tragschicht .....	114

## Tabellenverzeichnis:

Tabelle 2.1: Eigenschaften von synthetischen Polymeren (Teil 1) (Müller-Rochholz 2005).....	19
Tabelle 2.2: Eigenschaften von synthetischen Polymeren (Teil 2) (Müller-Rochholz 2005).....	20
Tabelle 3.1: Mindestanforderung an die Verdichtung des Unterbaues (RVS 08.03.01, 2010).....	39
Tabelle 3.2: Mindestanforderungen an ungebundene Tragschichten (RVS 08.15.01, 2010).....	43
Tabelle 3.3: Mittlere Äquivalenzwerte für verschiedene Fahrzeugkategorien (RVS 03.08.63, 2008).....	46
Tabelle 3.4: Mittlere Äquivalenzwerte des JDTLV-Kollektivs für verschiedene Straßenkategorien (RVS 03.08.63, 2008).....	46
Tabelle 3.5: Fahrspurfaktor S in Abhängigkeit von der Fahrstreifenbreite $b_f$ (bei Zwischen- breiten ist die kleinere Fahrstreifenbreite maßgebend) (RVS 03.08.63, 2008).....	46
Tabelle 3.6: Zuwachsfaktor z in Abhängigkeit von Bemessungsperiode n und jährlicher Zuwachsrate p (RVS 03.08.63, 2008).....	47
Tabelle 3.7: Lastklassen aufgrund der Funktion der Verkehrsfläche (RVS 03.08.63, 2008).....	47
Tabelle 3.8: Bemessungstabelle für Oberbauten mit bituminösen Befestigungen (RVS 03.08.63, 2008).....	48
Tabelle 3.9: Schichtkoeffizienten zur Berechnung der österreichischen modifizierten strukturellen Kennzahl (Weninger-Vycudil 2001).....	51
Tabelle 3.10: Modifizierte strukturelle Kennzahlen und zulässige Verkehrsbelastung für Oberbauten mit bituminöser Befestigung (Weninger-Vycudil 2001).....	52
Tabelle 4.1: Einteilung der Untergrundart (RVS 8S.01.2, 1997).....	55
Tabelle 4.2: Mechanische Anforderungen an Geotextilien für Schüttmaterial Rund- oder Kantkorn $d_{max} \leq 63\text{mm}$ (RVS 8S.01.2, 1997).....	55
Tabelle 4.3: Mechanische Anforderungen an Geotextilien für Schüttmaterial Kantkorn $d_{max} > 63\text{mm}$ (RVS 8S.01.2, 1997).....	56
Tabelle 4.4: Zugfestigkeit und Höchstzugkraftdehnung von Geokunststoffprodukten für Bewehrungsaufgaben (Rüegger et al. 2003).....	60
Tabelle 6.1: Notwendige Schichtstärkeneinsparung bei 5 km Transportstrecke.....	88
Tabelle 6.2: Notwendige Schichtstärkeneinsparung bei 10 km Transportstrecke.....	89
Tabelle 6.3: Notwendige Schichtstärkeneinsparung bei 20 km Transportstrecke.....	89
Tabelle 6.4: Gegenüberstellung der Bemessungsdiagramme.....	96
Tabelle 6.5: Geokunststofftype mit Nettopreis (Stand: 2011/12).....	97
Tabelle 6.6: Erforderliche Schichtstärkeneinsparung ohne Berücksichtigung der Nachhaltigkeit.....	98
Tabelle 6.7: Erforderliche Schichtstärkeneinsparung durch Miteinbeziehung der Nachhaltigkeit.....	99
Tabelle 6.8: Erforderliche Schichtstärkeneinsparung bei vergleichbaren Verbundstoffen.....	100
Tabelle 6.9: Oberbaukosten der verschiedenen Bauweisen in Abhängigkeit der Geokunststoffpreise.....	108
Tabelle 6.10: Instandsetzungskosten mit Preisen lt. Preisspeicher Straßenbau (05/2010).....	109
Tabelle 6.11: Rückbaukosten mit Preisen lt. Preisspeicher Straßenbau (05/2010).....	110
Tabelle 6.12: Erforderliche Lebensdauer der Oberbauten mit Geokunststoffeinlagen.....	112
Tabelle 6.13: Mögliche Schichtstärkenerhöhung der ungebundenen unteren Tragschicht bei einlagigem Geokunststoffeinbau.....	116

Tabelle 6.14: Theoretische und angenommene Steigerung der Lebensdauer durch Erhöhung der ungebundenen unteren Tragschicht.....	117
Tabelle 6.15: Gegenüberstellung der notwendigen Lebensdauer hinsichtlich der Annuitätengleichheit und Lebensdauererhöhung aufgrund einer Schichtstärkenerhöhung der ungebundenen unteren Tragschicht .....	118

## Abkürzungsverzeichnis:

BKL	Bodenkasse
BNLW	Bemessungsnormallastwechsel
CBR	California Bearing Ratio
$D_{Pr}$	Verdichtungsgrad bezogen auf die Proctordichte
$d_{max}$	Größtkorn
$E_{Vd}$	dynamische Verformungsmodul
$E_{V1}$	statische Verformungsmodul aus Erstbelastung
$E_{V2}$	statischer Verformungsmodul aus Zweitbelastung
FDVK	Flächendeckende dynamische Verdichtungskontrolle
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
GBR	geosynthetische Dichtungsbahnen
GBR-P	geosynthetische Kunststoffdichtungsbahn
GCE	Geozellen
GGR	Geogitter
GMA	Geomatten
GNT	Genetzte
GOK	Geländeoberkante
GSP	Geospacer
GTP	Geotextilverwandte Produkte
GTX	Geotextilien
Hstk.	Herstellungskosten
JDTLV	Jährlich durchschnittliche tägliche Lastverkehrsstärke
KK	Kantkorn
LKL	Lastklasse
NLW	Normallastwechsel
PE-HD	Polyethylen mit hoher Dichte
PE-LD	Polyethylen mit geringer Dichte
RK	Rundkorn
RVS	Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen
SD	Standardabweichung
SVG	Schweizerischer Verband für Geokunststoffe
UP	Unterbauplanum
U1-3	Untergrundarten
VE	Verrechnungseinheit

## 1. Einleitung

Der Einsatz von Geokunststoffen im Erdbau reicht auf eine jahrzehntelange Geschichte zurück. Durch ihre Funktionen wie *Trennen*, *Filtern*, *Entwässern*, *Bewehren*, *Schützen* und *Abdichten* sind sie in ihrer Anwendung nicht nur unterstützend, sondern führen auch meist zu einer sparsamen und nachhaltigen Bauausführung. Denkt man beispielsweise an geokunststoffbewehrte Steilböschungen, so machen diese gewisse Vorhaben erst realisierbar. Abgesehen von den altbewährten und unverzichtbaren Einsätzen, muss der Einbau von Geokunststoffen aber nicht immer eine Garantie für ein kostenminderndes Ergebnis sein. In dieser Arbeit wird daher die Wirtschaftlichkeit einer vergleichsweise jüngeren Anwendung, nämlich der einer Geokunststoffbewehrung bei ungebundenen Tragschichten in Aufbauten von Straßen und sonstigen Verkehrsflächen, untersucht. Um das Themengebiet aus kalkulatorischen Gründen einzuschränken, liegen die Betrachtungen bei großflächigen Parkplätzen im Raum Graz und Graz-Umgebung.

### 1.1. Aufgabenstellung und Ziel

Für die Untersuchung einer Geokunststoffbewehrung in ungebundenen Tragschichten bei Aufbauten von Straßen und sonstigen Verkehrsflächen soll vorerst eine umfangreiche Literaturrecherche im Zusammenhang mit den Grundlagen erfolgen. Nach einer Einführung in die allgemeine Thematik der Geokunststoffe, wird auf den Straßenaufbau und im Speziellen auf den Einsatz von Geokunststoffen bei deren ungebundenen Tragschichten eingegangen. Anschließend werden die Grundzüge einer Kostenermittlung für Bauvorhaben dargelegt, wodurch aufbauend wirtschaftliche Überlegungen in Bezug auf einen geokunststoffbewehrten Aufbau erfolgen können.

Hinsichtlich einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird der Frage nachgegangen, ob die Vorteile einer Geokunststoffbewehrung, laut Literatur und Herstellerangaben, in einer Schichtstärkeneinsparung bei wenig tragfähigem Untergrund und einer Lebenserhöhung des Oberbaus begründet, sich bei deren Einsatz auch in einem ökonomischen und kostenmindernden Ergebnis widerspiegeln. In den Überlegungen wird zwischen der Verwendung bei Baugrundstabilisierungsmaßnahmen und dem Einbau im Oberbau unterschieden.

Bei der Baugrundstabilisierung wird der Fall einer notwendigen Bodenauswechslung, welcher in den Überlegungen auch mit einer Erhöhung der Frostschuttschicht bei einem Geländeeinschnitt gleichzusetzen ist, beleuchtet. Es wird zunächst festgestellt, welche Reduzierung der Schichtstärke erforderlich ist, um bezüglich des Mehraufwandes einer Geokunststoffbewehrung auf eine kostengleiche Schlussrechnung zu kommen. Danach wird ein Vergleich zwischen der erforderlichen und der laut Hersteller angegebenen möglichen Schichtstärkeneinsparung hergestellt um die Wirtschaftlichkeit einer Geokunststoffbewehrung zu beurteilen.

Gemäß der Verwendung einer Bewehrung in Oberbauten ist in den Überlegungen weniger eine Schichtstärkeneinsparung, als eher die Erhöhung der Lebensdauer gefragt. Dafür werden die Herstellungs-, Instandsetzungs- und Rückbaukosten der Bauweisen mit und ohne Geokunststoffeinbau eines für Parkplätze entsprechenden Standardoberbaus berechnet. Mit Hilfe einer dynamischen Investitionsmethode kann anschließend die notwendige Lebensdauer der Bauweise mit Geokunststoffeinlagen durch Gleichstellung der beiden Annuitäten bestimmt und beurteilt werden. Im Gegenzug wird festgestellt, um wie viel die ungebundene untere Tragschicht in Bezug auf die zusätzlichen Kosten einer Geokunststoffbewehrung erhöht werden kann. Eine Abschätzung der Lebenserhöhung des dadurch verstärkten Oberbaues soll danach mit jenem des geokunststoffbewehrten Aufbaues verglichen und interpretiert werden.

Für die wirtschaftliche Gegenüberstellung der beiden Bauweisen ist vorab eine Erfassung der notwendigen Teilleistungen gefordert. Nach einer Bestimmung, der für die Arbeitsdurchführung angemessenen Betriebsmittel, erfolgt eine Ermittlung der Leistungsansätze. Mit Hilfe der errechneten Mittellohn- und Gerätepreise, sowie den angefragten Material- und Deponiepreisen für den Raum Graz und Graz-Umgebung, können anschließend die Einheitspreise kalkuliert und die Herstellungskosten durch einen durchschnittlichen Baustellengemeinkostenzuschlag berechnet werden.

## **1.2. Aufbau der Arbeit**

Beginnend mit einer allgemeinen Einleitung in Kapitel 1, folgt in Kapitel 2 eine Einführung zum Thema Geokunststoffe. Dabei wird ein Überblick über die verschiedenen Arten, Werkstoffe und deren Funktionen im Erdbau gegeben.

In Kapitel 3 wird auf die wesentlichen Grundlagen von Straßen und sonstigen Verkehrsflächen eingegangen, wobei das Hauptaugenmerk bei den ungebundenen Tragschichten liegt. Neben der Oberbaubemessung für bituminös befestigte Straßen nach RVS 03.08.63, wird auch ein Teil der strukturellen Kennzahl zur Abschätzung der Tragfähigkeit gewidmet. Nachfolgend wird in Kapitel 4 auf die spezielle Verwendung von Geokunststoffen bei ungebundenen Tragschichten in Aufbauten von Straßen eingegangen. Abgesehen von den Wirkungsweisen wird auch hinsichtlich der Bemessung und Einbaulage Stellung genommen.

Für die Kostenermittlung notwendige Grundlagen werden in Kapitel 5 behandelt. Neben den Kostengruppen und den Zuschlägen werden dabei auch Kalkulationsmethoden beschrieben.

Die Hauptaufgabe dieser Arbeit ist in Kapitel 6 ersichtlich. Hierbei werden die wirtschaftlichen Überlegungen und Ergebnisse in Bezug auf den Einsatz einer Geokunststoffbewehrung für ungebundene Tragschichten bei großflächigen Parkplätzen im Raum Graz und Graz-Umgebung angeführt. Das Kapitel gliedert sich in zwei Punkte, wobei im ersten die Bewehrung bei Baugrundstabilisierungen durch Bodenauswechslung untersucht, und im zweiten die Verwendung im Oberbau betrachtet wird. Anschließend werden in Kapitel 7 nochmals die Ergebnisse zusammengefasst und ein Fazit gezogen.

## 2. Geokunststoffe

Der Bereich Geokunststoffe ist weitläufig und umfangreich. Um im Zuge dieser Arbeit den Rahmen nicht zu sprengen, beschränkt sich dieses Kapitel auf eine Einführung in die Thematik. Detaillierte Informationen sind aus dementsprechender Fachliteratur zu entnehmen.

Sämtliche Produkte, welche durch mindestens einen Bestandteil aus natürlichem oder synthetischem Polymerwerkstoff erzeugt werden, in ihrer Erscheinungsform als Flächengebilde, Streifen oder räumliche Struktur auftreten und bei geotechnischen oder anderen Verwendungen im Bauwesen in Kontakt mit Boden und/oder anderen Baustoffen kommen, werden unter dem Oberbegriff Geokunststoffe zusammengefasst (vgl. ÖNORM EN ISO 10318, 2006). Laut ÖNORM EN ISO 10318 (2006) werden Geokunststoffe in folgende Untergruppen eingeteilt:

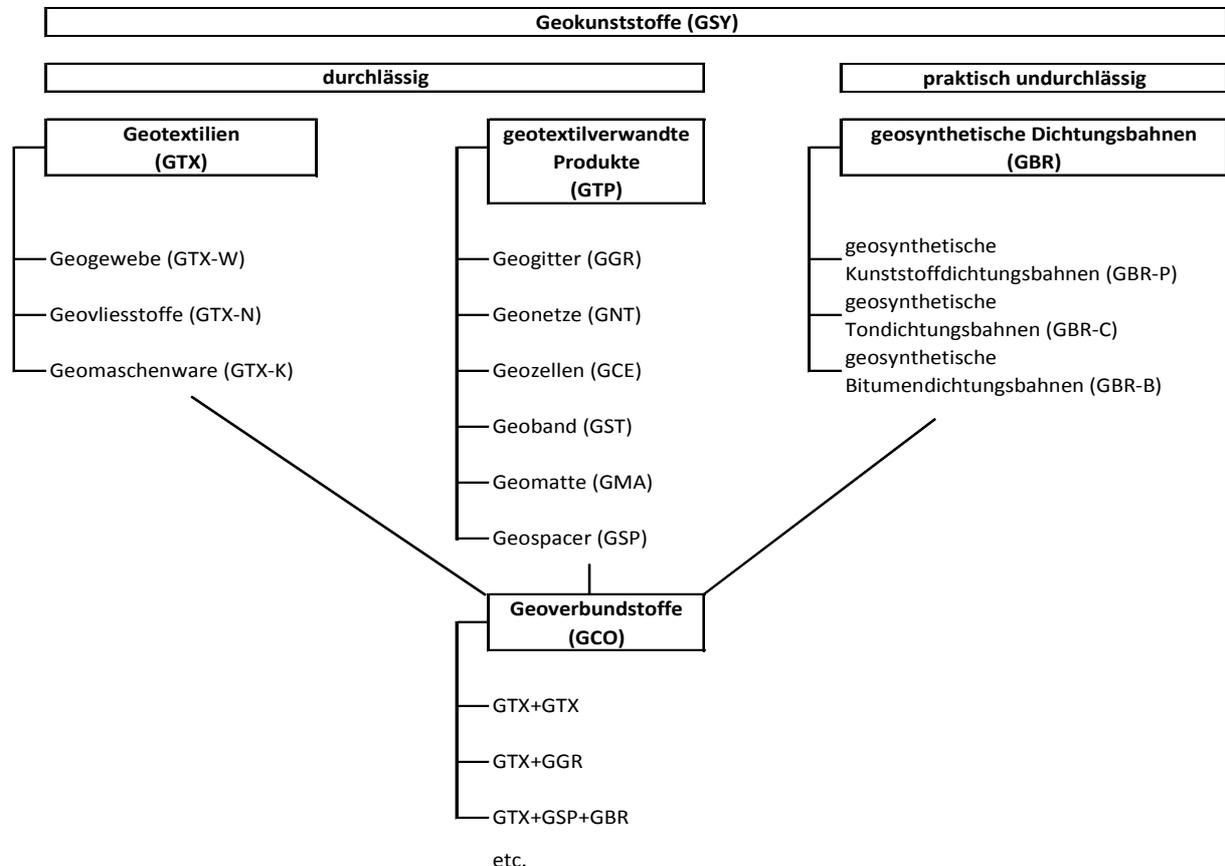


Abbildung 2.1: Einteilung von Geokunststoffen (ÖNORM EN ISO 10318, 2006)

## 2.1. Werkstoffe

Der für die Herstellung von Geokunststoffen gewählte Werkstoff hängt im Wesentlichen von der Art des Produktes beziehungsweise von deren Verwendung und geforderten Eigenschaften ab. Obwohl Produkte aus natürlichen Polymeren wie beispielsweise Flachs, Hanf, Jute oder Kokos ihren Einsatz als schützende Komponenten für begrünende Flächen finden, wird der überwiegende Teil an eingesetzten Geokunststoffen aus industriell hergestellten synthetischen Polymerwerkstoffen gefertigt. Die für die Produktion anwendbaren synthetischen Polymere sind:

### **Aramid (AR)**

Textilfasern aus Aramid besitzen eine sehr hohe spezifische Festigkeit bei kleinen Verformungen (Bruchdehnung 3%). Bezüglich des Zeitstandverhaltens sind Aramidfasern etwas ungünstiger als jene von Polyester (vgl. Müller-Rochholz 2005).

### **Polyamid (PA)**

Polyamid kommt bei Geokunststoffen kaum zum Einsatz. Die Begrenzung ist wahrscheinlich auf Preisgründe zurückzuführen (vgl. Müller-Rochholz 2005).

### **Polyethylen (PE)**

Dieser Werkstoff wird oft bei Kunststoffdichtungsbahnen und für Geokunststoffe, bei denen hohe Dehnung und Beständigkeit gegen Chemikalien gefordert wird, eingesetzt. Je nach Herstellungsverfahren besitzt der Werkstoff höhere beziehungsweise niedrigere Dichte. Üblicherweise kommt das durch ein Niederdruckverfahren hergestellte Polyethylen mit hoher Dichte und der Bezeichnung PE HD zum Einsatz. PE LD kennzeichnet hingegen jenes Polyethylen mit geringer Dichte und wird im Hochdruckverfahren hergestellt (vgl. Müller-Rochholz 2005).

### **Polyester, speziell Polyethylenterephthalat (PES/PET)**

Polyethylenterephthalat gehört zur Familie der Polyester. Die Eigenschaften sind neben einer hohen spezifischen Festigkeit, ein geringes Kriechverhalten, weshalb er bei Geokunststoffen, die für Bewehrungszwecke angewandt werden, der meist verwendete Werkstoff ist. In stark alkalischen Bereichen sind Fasern aus PET nicht beständig und sind daher zu vermeiden (vgl. Müller-Rochholz 2005).

## Polypropylen (PP)

Polypropylen ist ein preisgünstiger Werkstoff, der aufgrund seiner Beständigkeit und den guten mechanischen Eigenschaften im Bereich von Geokunststoffen oft herangezogen wird (vgl. Müller-Rochholz 2005).

## Polyvinylalkohol (PVA)

Dieser Grundstoff zeichnet sich durch hohe Festigkeit bei kleinen Verformungen aus. Er wird aber wie Polyamid selten für Geokunststoffe eingesetzt (vgl. Müller-Rochholz 2005).

## Glas (E-Glas)

Glas weist neben hoher Temperatur- und Chemikalienbeständigkeit eine hohe Zugfestigkeit bei geringer Dehnung auf. Es gelangt aber aufgrund der großen Beschädigungsempfindlichkeit durch Kerben im geotechnischen Bereich kaum zum Einsatz (vgl. Müller-Rochholz 2005).

Einen Überblick bestimmter Grundeigenschaften der erwähnten Polymere wird in Tabelle 2.1 und Tabelle 2.2 gegeben.

Bezeichnung		Dichte ( $\pm 0,01$ ) kg/dm <sup>3</sup>	Erweichungstemp. (DSC) ° C	$\sigma$ - $\epsilon$	
				spez. Festigkeit N/mm <sup>2</sup>	Höchstkraft- dehnung %
kurz	lang				
PA	Polyamid	1,14	180 - 200	70 - 100	15 - 25
aromatische PA	Aramid (Parastruktur)	1,38	nicht bestimmbar	250 - 400	2 - 5
PE	Polyethylen	0,96 (PE HD)	130 - 140	32 - 65	10 - 45
		0,93 (PE LD)	110 - 120	9 - 27	20 - 60
PES/PET	Polyester	1,37	234 - 240	95 - 130	8 - 20
PP	Polypropylen	0,91	150 - 170	13 - 55	15 - 200
PVA	Polyvinylalkohol	1,28	200 - 220	65 - 85	5 - 10
Glas	E-Glas	2,50	850	175 - 300	2 - 5

Tabelle 2.1: Eigenschaften von synthetischen Polymeren (Teil 1) (Müller-Rochholz 2005)

Bezeichnung		Kriechen	Beständigkeit gegen			
kurz	lang		Säuren	Laugen	Licht	Mikro- biologie
PA	Polyamid	mittel	+	+	0 <sup>1</sup>	+
aromatische PA	Aramid (Parastruktur)	sehr gering	+	+	+ <sup>1</sup>	++
PE	Polyethylen	sehr hoch (PE HD)	++	++	+ <sup>1</sup>	++
		sehr hoch (PE LD)	++	++	+ <sup>1</sup>	++
PES/PET	Polyester	sehr gering	+	+ <sup>2</sup>	+ <sup>3</sup>	++
PP	Polypropylen	mittel	++	++	+ <sup>1</sup>	++
PVA	Polyvinylalkohol	gering	+	+	++	++
Glas	E-Glas	-	++	++	+	++

<sup>1</sup> Stabilisatoren erforderlich  
<sup>2</sup> bis pH = 9 - 10  
<sup>3</sup> durch Stabilisatoren verbesserbar

**Tabelle 2.2: Eigenschaften von synthetischen Polymeren (Teil 2) (Müller-Rochholz 2005)**

Neben den erwähnten Polymeren kommen noch Polyvinylchlorid (PVC) oder Bitumen zum Einsatz. Sie übernehmen im Bereich der Geokunststoffe die Funktion der Umhüllung. Des Weiteren werden aus fertigungstechnischen Gründen, aber auch zur Verbesserung der Eigenschaften, Zusatzstoffe wie zum Beispiel Stabilisatoren, Weichmacher, Füllstoffe, etc., verwendet. Hierbei ist darauf zu achten, dass diese für Boden und Wasser keine schadhafte Belastung darstellen (vgl. FGSV 2005).

## 2.2. Arten von Geokunststoffen

Wie in Abbildung 2.1 dargestellt, unterscheiden sich Geokunststoffe grundsätzlich durch durchlässige und praktisch undurchlässige Produkte. Des Weiteren kann man sie unterteilen in Geotextilien, geotextilverwandte Geokunststoffe, geosynthetische Dichtungsbahnen und Geoverbundstoffe. In den nächsten Unterpunkten werden die einzelnen Produkte beschrieben.

### 2.2.1. Geotextilien

Bei Geotextilien handelt es sich um ein flächenhaftes, durchlässiges Textil, welches aus natürlichem oder synthetischem Polymerwerkstoff besteht und bei geotechnischen und anderen Anwendungen im Bauwesen in Kontakt mit Boden und/oder anderen Materialien verwendet wird. Die hier unter Textil definierten Textilien lassen sich nach ÖNORM EN ISO 10318 (2006) unterteilen in:

- *Geovliesstoffe*
- *Geomaschenware*
- *Geogewebe*

#### **Geovliesstoffe**

Zum Einsatz kommen hierbei Filamente (endlose Fasern), beziehungsweise 3 bis 15cm lange Spinnfasern (Stapelfasern). Je nach verwendeten Fasern spricht man von Filament- oder Spinnfaservliesstoff (Stapelfaservliesstoff). Die Elemente werden regellos zu einem flächenhaften Gebilde verfestigt, das je nach Verfahren mechanisch, thermisch oder chemisch erfolgt. Die mechanischen Eigenschaften von Vliesstoffen sind weitgehend richtungsunabhängig, können jedoch durch eine teilgerichtete Ablage der Fasern beziehungsweise durch Verstrecken der Vliesstoffe beeinflusst werden. Bei einer Zugbeanspruchung werden jene in Zugrichtung liegenden Fasern sofort gespannt, der Rest orientiert sich nach dieser, wodurch Vliesstoffe in Bezug auf Maschenware und Gewebe eine hohe Dehnbarkeit aufweisen. Der Einsatz eines Vliesstoffes ist vielseitig und besitzt neben Trenn- und Filterfunktionen auch geringe Bewehrungseigenschaften (vgl. FGSV 2005).

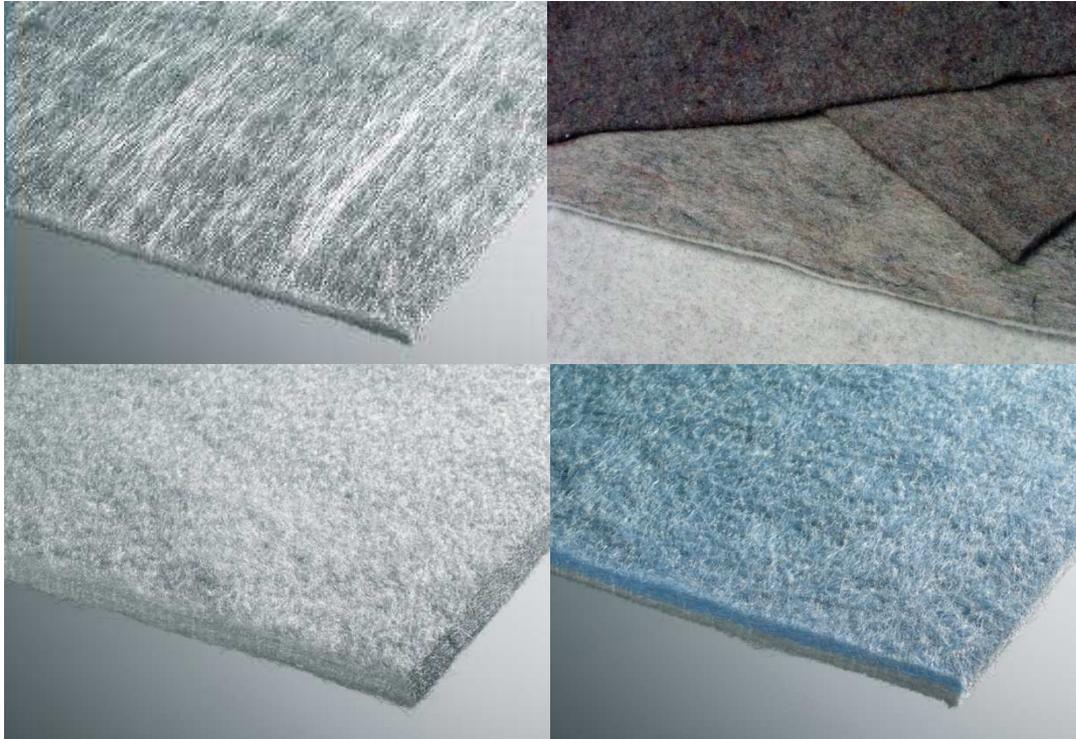


Abbildung 2.2: Verschiedene Arten eines Geovliesstoffes (50)(51)(53)(54)

### Geomaschenware

Geomaschenware ist der Oberbegriff für *Flächengebilde, die aus einem oder mehreren Fadensystemen bestehen, die schleifenförmig miteinander verbunden (vermascht) sind oder aus einem oder mehreren geradlinig verlaufenden Fadensystemen bestehen und durch ein weiteres Fadensystem miteinander verbunden werden (Fadenlagennähgewirke, Kettenwirkware, Raschelware)* (Saathoff et al. 2009).

Geomaschenware ist also ein gestricktes oder gewirktes Geotextil aus einem oder mehreren Garnen, Fasern, Filamenten oder anderen Elementen. Wirkwaren mit durchgehenden, geradlinig verlaufenden Fadensystemen eignen sich besonders für Einsätze, in denen Zugbeanspruchungen auftreten. Im Vergleich zum Gewebe können hohe Zugbeanspruchungen bei geringer Konstruktionsdehnung in Richtung der geradlinig verlaufenden Fadensysteme aufgenommen werden (vgl. Saathoff et al. 2009).

## Geogewebe

Gewebe kennzeichnen sich durch rechtwinklig sich kreuzende Fadensysteme (Kette und Schuss) aus. Zur Herstellung werden Spinnfasergarne, Multifilamentgarne, Zwirne, Monofilamente, Folienbändchen oder Spleißgarne verwendet. Neben der Anzahl der Elemente je Längeneinheit, unterscheiden sich Geogewebe auch durch ihre Verwebung beziehungsweise Bindung. Hierbei ist zwischen Leinwand-, Körper-, Panama- und Atlasbindungen (vgl. Müller-Rochholz 2005) zu unterscheiden. Mechanische Eigenschaften sind aufgrund der Anordnung der Elemente richtungsabhängig. Um eine Verbesserung der Eigenschaften zu erzielen, werden Kreuzungspunkte gegebenenfalls verfestigt. Gewebe eignen sich wie Maschenware zur Aufnahme von Zugkräften (vgl. FGSV 2005).

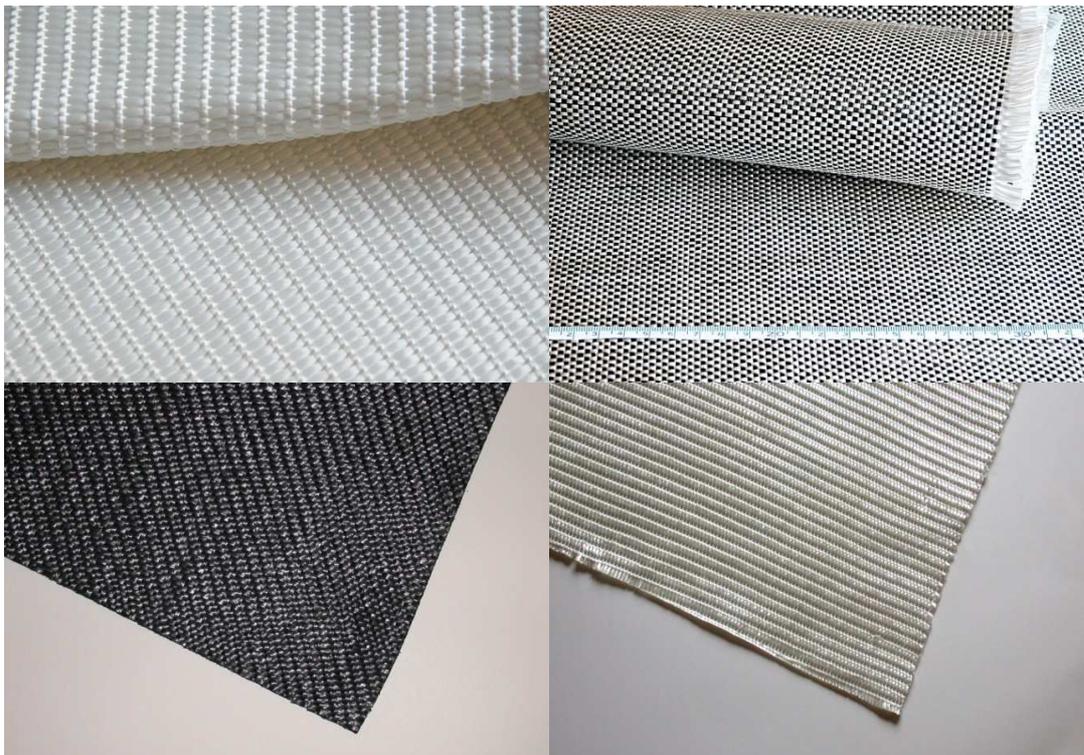


Abbildung 2.3: Unterschiedliche Produkte von Geogewebe (54)(55)(56)(57)

## 2.2.2. Geotextilverwandte Produkte

Flächenhafte Geokunststoffe, welche durchlässig sind und aus synthetischen oder natürlichen Polymeren hergestellt werden, sich jedoch nicht nach einer Definition in Geovliesstoff, Geomaschenware oder Geogewebe einteilen lassen, werden als geotextilverwandte Produkte bezeichnet (vgl. ÖNORM EN ISO 10318, 2006).

### Geogitter

*Flächenhafte, polymere Struktur aus einem regelmäßigen offenen Netzwerk, dessen Zuelemente durch Extrudieren, Verbinden oder Verflechten miteinander verbunden sind und dessen Öffnungen größer als die Bestandteile sind (ÖNORM EN ISO 10318, 2006).*

Geogitter lassen sich nach FGSV (2005) in vier Gruppen gliedern:

- *Gewebte Geogitter*
- *Kettengewirkte (geraschelte) Geogitter*
- *Gestreckte Geogitter*
- *Gelegte Geogitter*

Unter gewebten Geogittern versteht man ein Gewebe mit Öffnungen über 10 mm, die meist eine Polymerumhüllung aufweisen (vgl. FGSV 2005).

Kettengewirkte (geraschelte) Geogitter kennzeichnen sich ebenfalls durch Öffnungen über 10 mm und kommen vorwiegend mit einer Polymerumhüllung zum Einsatz. Sie unterscheiden sich jedoch von gewebten Geogittern insofern, als hierbei kettengewirkte Maschenware zum Einsatz kommt (vgl. FGSV 2005).

Durch Strecken in Längs- und/oder Querrichtung von Kunststoffbahnen oder extrudierten Geogittern entstehen gestreckte Geogitter (vgl. FGSV 2005). Die Streckung von Polymeren bewirkt eine stärkere Orientierung der Makromoleküle, wodurch die Steifigkeit zunimmt und die Kriechverformung abnimmt. Die bei Höchstkraft einsetzende Dehnung nimmt deutlich ab (vgl. Müller-Rochholz 2005).

Gelegte Geogitter werden durch kreuzweises Verlegen von extrudierten und gestreckten Streifen beziehungsweise aus gebündelten oder nebeneinander in einer Ebene angeordnete Garnlagen mit Polymerumhüllung, welche an den Kreuzungspunkten verbunden werden, hergestellt (vgl. FGSV 2005).



Abbildung 2.4: Beispiele von unterschiedlichen Geogittern (58)(59)(60)

Im Folgenden beschränken sich die Erläuterungen der Produkte auf die Definitionen laut ÖNORM EN ISO 10318 (2006).

### Geonetz

*Geokunststoffe bestehend aus parallelen Sätzen von Rippen, die unter verschiedenen Winkeln überlagert und miteinander verbunden sind mit ähnlichen Sätzen (ÖNORM EN ISO 10318, 2006).*



Abbildung 2.5: Beispiel eines Geonetzes (61)

## Geomatte

*Drei-dimensionale durchlässige Struktur aus polymeren Kunststoffdrähten (Monofilamenten) und/oder anderen Elementen (synthetisch oder natürlich), mechanisch und/oder thermisch und/oder chemisch und/oder anders verfestigt (ÖNORM EN ISO 10318, 2006).*

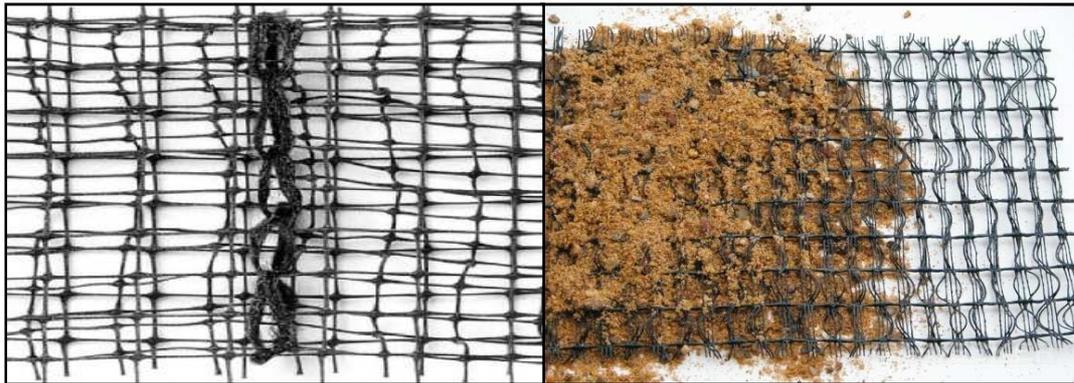


Abbildung 2.6: Unterschiedliche Produkte von Geomatten (62)(63)

## Geozelle

*Dreidimensionale, durchlässige polymere (synthetisch oder natürliche) Waben- oder ähnliche Zellstruktur, hergestellt aus mit einander verbundenen Geokunststoffstreifen (ÖNORM EN ISO 10318, 2006).*

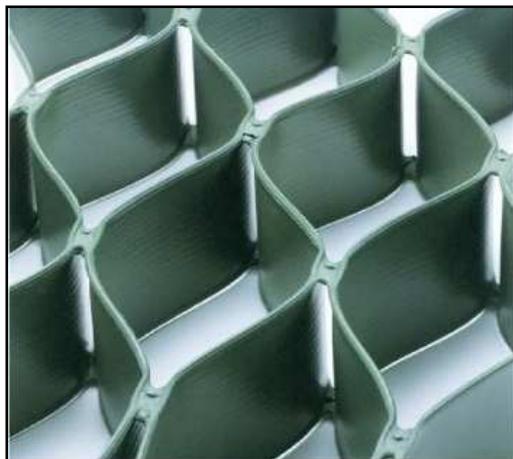


Abbildung 2.7: Mögliche Form einer Geozelle (64)

## **Geoband**

*Polymeres Material in Form eines Streifens mit einer Breite von höchstens 200 mm, das bei geotechnischen Anwendungen und im Bauwesen in Kontakt mit Boden und/oder einem anderen Material verwendet wird (ÖNORM EN ISO 10318, 2006).*

## **Geospacer**

*Dreidimensionale polymere Struktur für die Schaffung eines Luftzwischenraumes im Boden und/oder in einem anderen Stoff bei geotechnischen Anwendungen oder im Bauwesen (ÖNORM EN ISO 10318, 2006).*

### **2.2.3. Geosynthetische Dichtungsbahnen**

Es handelt sich hierbei um Dichtungsbahnen, die aus geosynthetischem Material hergestellt werden, eine niedrige Durchlässigkeit aufweisen und bei geotechnischen Einsätzen und allgemein im Bauwesen zur Verringerung beziehungsweise zur Vermeidung, in Bezug auf Durchströmen einer Flüssigkeit, verwendet werden (vgl. ÖNORM EN ISO 10318, 2006).

Geosynthetische Dichtungsbahnen werden laut ÖNORM EN ISO 10318 (2006) unterteilt in:

- *Geosynthetische Kunststoffdichtungsbahn*
- *Geosynthetische Tondichtungsbahn*
- *Geosynthetische Bitumendichtungsbahn*

Eine weitere Möglichkeit der Unterteilung wird in Abbildung 2.8 dargelegt. Hierbei wird grundsätzlich in Dichtungsbahnen und dichtungsbahnverwandte Produkte unterschieden.

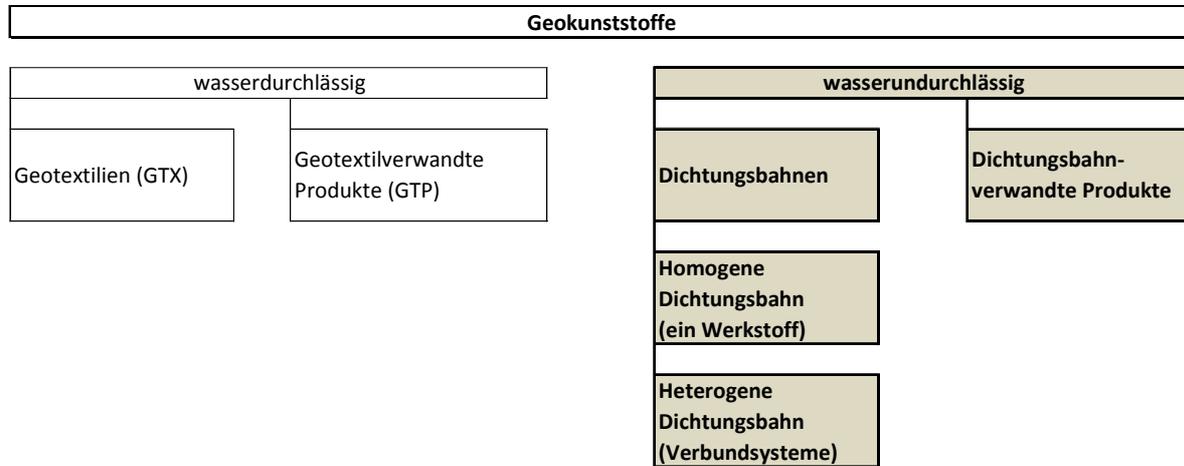


Abbildung 2.8: Einteilung von geosynthetischen Dichtungsbahnen (Saathoff et al. 2001)

### Homogene Dichtungsbahn

Unter homogene Dichtungsbahnen fallen sowohl Folien mit einer Dicke von  $< 1,0$  mm, als auch aus einem Werkstoff (Thermoplaste/Elastomere) oder aus Mischpolymerisaten (z.B. Mischung PE und Bitumen) hergestellte homogene Kunststoffdichtungsbahnen mit einer Dicke  $\geq 1,0$  mm (vgl. Saathoff et al. 2001).

### Heterogene Dichtungsbahn

Diese bilden ein Verbundsystem und werden bei Saathoff et al. (2001) eingeteilt in:

- *Dichtungsbahnen mit Trägereinlagen oder AKW/CKW-Sperrbahnen*
- *Dichtungsbahnen mit verbundenen Schutzschichten*
- *Bitumenbahnen mit Kunststoffeinlagen in einer Mindestdicke von 5,0 mm*

Grundsätzlich können Dichtungsbahnen eine glatte, profilierte oder sandrauhe Oberfläche besitzen, welche unterschiedliche bodenmechanische Reibungseigenschaften mit sich bringen. Die Verbindungen werden entweder geschweißt, geklebt oder mit anderen Verfahren hergestellt. Wichtig dabei ist, dass Verbindungen die gleichen Anforderungen wie die Bahnen selbst aufweisen müssen (vgl. Saathoff et al. 2001).

## Dichtungsbahnverwandte Produkte

Verwandte Produkte von Dichtungsbahnen werden nach (Saathoff, et al. 2009) eingeteilt in:

- *Geosynthetische Tondichtungsbahnen*
- *Quellmitteldichtungsbahnen*
- *Beschichtete Geotextilien, die als Produkt wasserundurchlässig sind*
- *Verbundstoffe aus Folien bzw. Dichtungsbahn und Bentonit bzw. Ton*

Bei geosynthetischen Tondichtungsbahnen ist das momentan verwendete Tonmineral Bentonit, weshalb hierbei meist von Bentonitmatten die Rede ist. Grundsätzlich wird hierbei zwischen zwei durch Vernadelung oder Vernähung verbundenen Geotextillagen Bentonit (Schichtsilikate) eingebettet, das Wasser zwischen den Schichten aufnimmt und dabei erheblich quillt. Bei hohem Quellwiderstand beziehungsweise hoher Auflast besitzen Bentonitmatten einen Durchlässigkeitsbeiwert im Bereich von  $10^{-11}$  m/s (vgl. Müller-Rochholz 2005).

Als Quellmitteldichtungsbahnen bezeichnet man Vliesstoffe, die mit dichtendem polymerem Quellmittel ausgestattet sind. Derzeit werden als Quellmittel Acrylate verwendet, wobei man sich hierbei noch in der Entwicklungsphase befindet und kaum Praxiserfahrungen gesammelt hat (vgl. Saathoff et al. 2009).

### 2.2.4. Geoverbundstoffe

*Industriell vorgefertigtes zusammengesetztes Material, bei dem mindestens ein Bestandteil ein Geokunststoff ist (ÖNORM EN ISO 10318, 2006).*

Verbundstoffe kommen zur Anwendung, wenn mehrere Funktionen von einem Geokunststoffprodukt nicht erfüllt werden können (z.B. trennen und bewehren), oder dessen Eigenschaften für eine bestimmte Funktion alleinig nicht ausreicht (vgl. Müller-Rochholz 2005).

In Abbildung 2.9 werden einige Beispiele für Geoverbundstoffe nach den zusammengesetzten Geokunststoffen und ihrer Hauptfunktion dargelegt. Die Abbildung 2.10/2.11 dienen zur Veranschaulichung von Produkten für Trenn-, Filter- und Bewehrungsaufgaben sowie Trenn-, Filter- und Dränaufgaben.

Geoverbundstoffe						
Trennen	Filtern	Dränen	Bewehren	Schützen	Dichten	Schützen gegen Erosion
GTX + Garne	GTX + GTX	GSP + GTX (+ GBR-P)	GTX + GTX	GTX + GTX	GTX + Boden (Bentonit)	GTX + GCE
GTX + GTX	GTX + GMA	GNT + GTX (+ GBR-P)	GTX + GGR	GTX + Boden	GBR-P + Boden (Bentonit)	GGR + GMA
usw.	usw.	usw.	usw.	GMA + Boden	GNT + Boden	GTX + Samenkörner
				GTX + GMA	usw.	usw.
				GTX + GGR		
				usw.		

Abbildung 2.9: Mögliche Zusammensetzungen für Geoverbundstoffe (ÖNORM EN ISO 10318, 2006)



Abbildung 2.10: Geogitter mit Vliesstoffkomponente für Trenn-, Filter- und Bewehrungsfunktionen (65)(66)

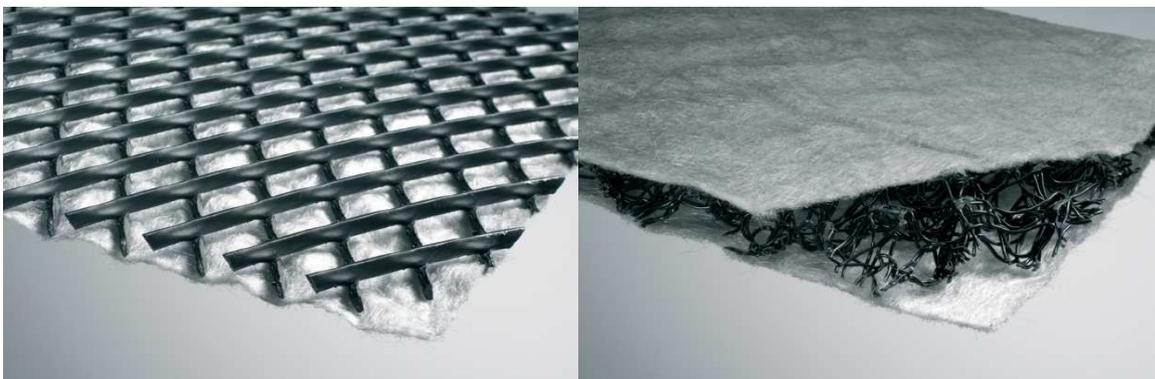


Abbildung 2.11: Geonetz (links) bzw. Geomatte (rechts) mit integrierter Vliesstoffkomponente für Trenn-, Filter- und Dränaufgaben (67)(68)

## 2.3. Prüfverfahren

Prüfverfahren sind bei Geokunststoffprodukten wichtig und unerlässlich. Sie haben zu beurteilen, ob die Materialien den Anforderungen in der Praxis genügen. Je nach Anwendung gibt es eine Vielzahl an nachzuweisenden Materialkennwerten und somit dementsprechend viele Prüfungsverfahren. Hierbei sei auf die anzuwendenden Normen verwiesen, worin die erforderlichen Prüfungen und Prüfmethoden geregelt sind.

## 2.4. Allgemeine Anwendungen von Geokunststoffen im Erdbau

Die Verwendung von Geokunststoffen im Erdbau ist nicht mehr wegzudenken. Bauvorhaben bei denen keine dieser Materialien eingesetzt werden, gehören der Minderheit an. In der ÖNORM EN ISO 10318 (2006) werden die Anwendungsbereiche gegliedert in:

- *Rückhaltebecken und Staudämme*
- *Kläerteiche und Sedimentationsanlagen*
- *Kanäle*
- *Feststoffdeponien*
- *Straßen*
- *Gründungen und Stützbauwerke*
- *Eisenbahnunterbau*
- *Erosionsschutzsysteme*
- *Tunnel und erdberührte Bauwerke*
- *Dränanlagen*

Die in den unterschiedlichen Gebieten eingesetzten Geokunststoffe übernehmen dabei Funktionen, welche sich generell in sechs Gruppen einteilen lassen. An dieser Stelle sei erwähnt, dass Produkte oft mehrere Aufgaben gleichzeitig übernehmen, diese sind nach ÖNORM EN ISO 10318 (2006):

- *Trennen*
- *Filtern*
- *Entwässern*
- *Bewehren*
- *Schützen*
- *Abdichten*

### 2.4.1. Trennen

Trennen ist eines der ältesten Anwendungsgebiete von Geokunststoffen und weit verbreitet. Unter dieser Funktion versteht man das Trennen von Bodenmaterial (Bodenschichten) mit unterschiedlichen Eigenschaften beziehungsweise Kornzusammensetzung. Hauptsächliches Anwendungsgebiet ist die Trennung von meist weichem, feinkörnigem Untergrund und grobem Schüttmaterial. Grundsätzlich soll durch Trennen nach Rügger et al. (2003) folgendes erreicht werden:

- *Verhindern der Materialdurchmischung*
- *Vermeiden von Materialverlusten durch Eindringen von Grobmaterial ins Feinmaterial*
- *Verbessern der Verdichtungseigenschaften und der Befahrbarkeit der ersten Schicht*
- *Verhindern eines Aufsteigens von Feinmaterial ins Grobmaterial durch Pumpeffekte bei dynamischen Belastungen (z.B. Verkehr)*
- *Langfristiges Sicherstellen der Froststabilität von Foundationsschichten durch Fernhalten von Feinmaterial*

Bei Trennfunktionen ist darauf zu achten, dass dies meist mit *Filtern* und/oder *Bewehren* verbunden ist und darf deshalb bei den Anforderungen an das Produkt nicht außer Acht gelassen werden (vgl. FGSV 2005).

### 2.4.2. Filtern

Neben der Trennfunktion ist auch der Einsatz als Filter eine altbewährte Anwendung von Geokunststoffen. Hierbei sollte verhindert werden, dass feinkörniges Bodenmaterial (meist anstehender Boden) bei möglichst druckfreiem Wasserdurchfluss, von deren Schicht in eine grobkörnige Schicht (Filtermaterial) ausgeschwemmt wird. Neben der Hauptfunktion des Filterns wird somit eine Sekundärfunktion des Trennens erfüllt. Bei Anwendungen dieser Art soll vor allem darauf geachtet werden, dass der Wasserdurchfluss unter möglichst geringem Druckverlust gewährleistet wird. Bei der Wahl des Geokunststoffes sind somit die Durchlässigkeit, sowie die richtige Abstimmung der charakteristischen Öffnungsweite maßgebend (vgl. Rügger et al. 2003).

### **2.4.3. Entwässern**

Für Entwässerungsaufgaben werden unterschiedliche Geokunststoffprodukte eingesetzt. Viele übernehmen dabei weitere Funktionen, die zum Schutz, Trennen oder Filtern dienen. Beim Entwässern beziehungsweise Drainieren wird zufließendes Wasser aus dem umliegenden Bodenmaterial in der Geokunststoffebene abgeleitet. Wie beim Filtern soll dabei der Druckverlust des zuströmenden Wassers möglichst gering sein und das Einschwemmen von feinem Material aus dem Boden weitgehend verhindert werden (Durchlässigkeit bzw. Abstimmung der charakteristischen Öffnungsweite) (vgl. Rügger et al. 2003).

### **2.4.4. Bewehren**

Hierbei tragen Geokunststoffe einerseits zur Vermeidung von Gleit- oder Bruchflächen und andererseits zur Erhöhung der Tragfähigkeit von Foundationsschichten bei. Dies erfolgt dadurch, indem das bewehrende Element (Geokunststoff) dem Bodenmaterial dessen fehlende Eigenschaft der Zugkraftaufnahme einbringt. In Bezug auf Gleit- und Bruchflächen, welche bei Überschreitung der Scherfestigkeit im Boden auftreten, können Gleitkräfte durch die vom Geokunststoff aufgenommenen Zugkräfte umgelenkt werden und somit eine Verschiebung des Bodenmaterials verhindern. Bei Foundationsschichten werden Geokunststoffe eingesetzt, um die Tragfähigkeit des Bodenmaterials zu verbessern, sowie Verformungen und Schichtdicken zu reduzieren. Voraussetzung für die Erfüllung dieser Aufgaben ist neben den erforderlichen Materialkennwerten und einer ausreichenden Verbundwirkung zwischen Boden und Geokunststoff eine ausreichende Verankerung des Geokunststoffes (vgl. Rügger et al. 2003).

### **2.4.5. Schützen**

Geokunststoffe übernehmen im Erdbau die Schutzfunktion gegen Erosion durch Wasser und Wind unter anderem bei Böschungen, periodisch wasserführenden Entwässerungseinrichtungen, hinterfüllten und überschütteten Bauwerken, sowie Lärmschutzwällen (vgl. Saathoff et al. 2009). Des Weiteren dienen sie dem Schutz von Abdichtungen bei Bauelementen gegen die mechanische Beanspruchung des umliegenden Bodens (vgl. FGSV 2005).

## 2.4.6. Abdichten

Abdichtungen werden in den verschiedensten Bereichen eingesetzt, wo eine Durchdringung von Wasser oder Schadstoffen verhindert werden soll. Zu ihren Aufgaben gehört nach FGSV (2005):

- *Abdichten zur Verhinderung von Wasserverlusten*
- *Abdichten gegen Versickerung von Wasser in den Untergrund, z.B. Abdichtung von Regenwasserrückhaltebecken und Löschteichen*
- *Schutz des Bodens und des Grundwassers in Wasserschutzgebieten vor Eindringen wassergefährdender Stoffe aus Verkehrsanlagen (z.B. Straßen, Tankstellen, Rastanlagen)*
- *Abdichtung von Schüttungen aus belasteten Böden oder aus industriellen Nebenprodukten*

Zur Veranschaulichung der Einsatzgebiete von Geokunststoffen und deren Funktionen werden in den nachfolgenden Abbildungen Beispiele dargelegt.



Abbildung 2.12: Geogitter mit Vliesstoffkomponente bei feinkörnigem, wenig tragfähigem Untergrund(69)

Bei dem in Abbildung 2.12 eingesetzten Verbundstoff sorgt der Vliesstoff für eine Trennung zwischen dem feinkörnigen bindigen Untergrund und des grobkörnigen nichtbindigen Schüttmaterials. Dadurch wird eine Vermischung der beiden Schichten auf Dauer verhindert. Das Geogitter verstärkt die Bewehrungseffekte des Vliesstoffes und bewirkt, dass ein Eindrücken des Schüttmaterials in den wenig tragfähigen Untergrund reduziert und die Tragfestigkeit der eingebauten Schicht erhöht wird.



**Abbildung 2.13: Geovliesstoff bei Entwässerungsgraben (70)**

Der Einbau eines Geovliesstoffes bei Entwässerungsgräben unterbindet durch ihre Filterfunktion ein Einschwemmen des feinkörnigen Bodenmaterials in die grobkörnige Kiesschicht, wodurch diese in voller Stärke erhalten bleibt.



**Abbildung 2.14: Stützwand mit geokunststoffbewehrter Erde (71)**

Wegen der Zugkraftaufnahme durch Geokunststoffe können Scherkräfte im Boden umgelenkt und Böschungen steiler ausgeführt werden. Diese Art der Verwendung tritt meist aus Platz- und/oder Kostengründen ein.



Abbildung 2.15: Einbau von Kunststoffdichtungsbahnen (71)

Dichtungsbahnen werden überall dort eingesetzt, wo keine Durchdringung von Wasser und/oder Schadstoffen erwünscht ist und besitzen daher ein umfangreiches Einsatzgebiet.



Abbildung 2.16: Einsatz von geosynthetischen Tondichtungsbahnen (72)



Abbildung 2.17: Einbau einer Erosionsschutzmatte (71)

In Abbildung 2.17 wird eine Erosionsschutzmatte in die Böschung eines Entwässerungsgrabens eingebaut und dient somit als Schutz gegen Erosion durch Wasser.



Abbildung 2.18: Verlegung einer Kunststoffdichtungsbahn mit darüber liegender Dränmatte zur Entwässerung (71)

Dränmatten finden ihren Einsatz dort, wo Wasser abgeleitet werden soll. Durch ihre Verwendung wird eine künstliche Schicht geschaffen in der das Wasser abgeführt wird.

Generell ist noch zu erwähnen, dass die verschiedenen Funktionen von Geokunststoffen nur erfüllt werden können, wenn das richtige Material mit den geforderten Kennwerten eingesetzt wird, die Verlegung regelgemäß erfolgt und beim Einbau der verwendete Geokunststoff nicht beschädigt wird.

### 3. Aufbau von Straßen und sonstigen Verkehrsflächen

Grundsätzlich lässt sich der Aufbau von Straßen und sonstigen Verkehrsflächen, wie in Abbildung 3.1 dargestellt, in Oberbau, Unterbau und Untergrund gliedern, wobei im Falle eines Geländeeinschnittes (fehlender Dammkörper) der Unterbau entfällt beziehungsweise mit dem Untergrund gleichzustellen ist.

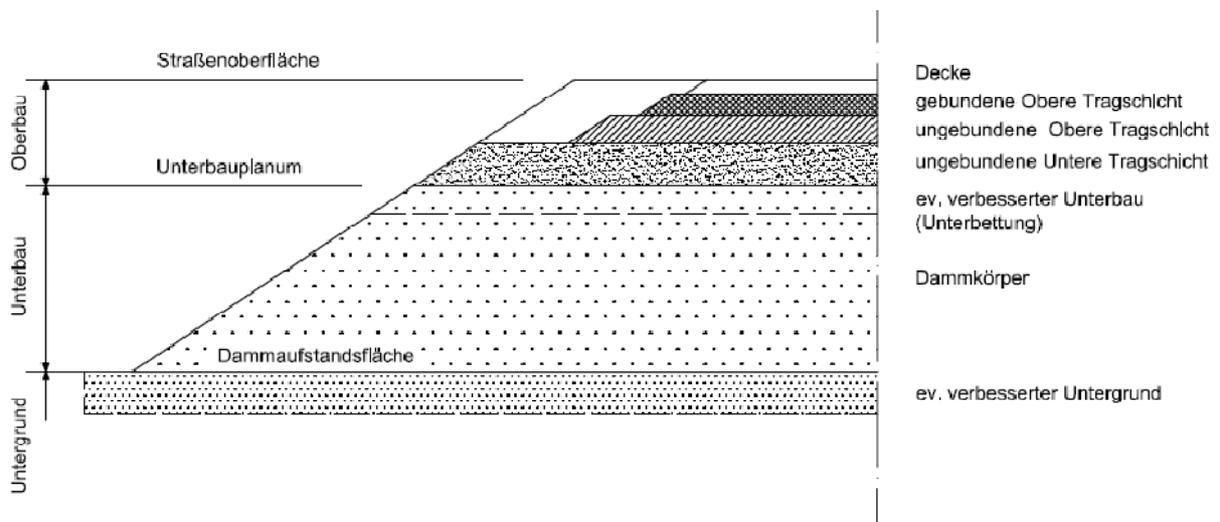


Abbildung 3.1: Straßenaufbau (Systemskizze) (RVS 03.08.63, 2008)

Kernstück jedes Aufbaues ist der Oberbau, welcher sich wiederum in Deckschicht, obere Tragschicht und untere Tragschicht unterteilen lässt. Aufgabe des Oberbaues ist neben einem frostsicheren Aufbau vor allem eine schonende Ableitung der auftretenden Kräfte über die einzelnen Schichten in den weniger tragfähigen Unterbau beziehungsweise Untergrund (siehe Abbildung 3.2).

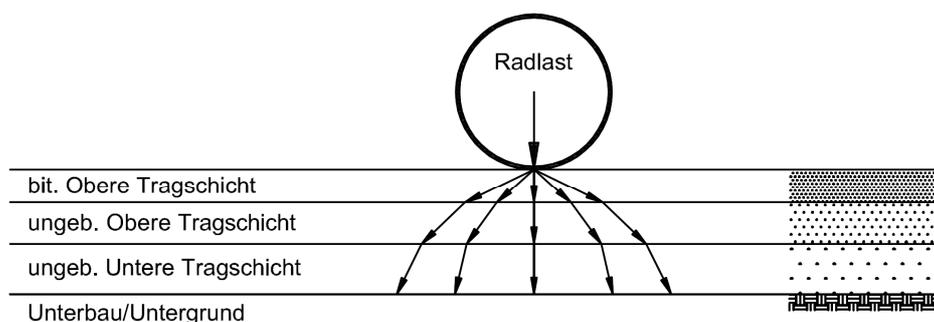


Abbildung 3.2: Lastableitung im Straßenoberbau (eigene Darstellung)

### 3.1. Unterbau

Die Anforderung an den Unterbau wird in Österreich in der RVS 08.03.01 geregelt. Hinsichtlich des Unterbauplanums wird ein profilgerechter, ebener Einbau gefordert, wobei die Abweichung von der Sollhöhe nicht mehr als  $\pm 3$  cm betragen darf. Aus Entwässerungsgründen muss das Planum bei Straßen eine Querneigung von mindestens 4% aufweisen, in besonderen Fällen (z.B. Stadtstraßen) ist eine Herabsetzung auf bis zu 2% zulässig. Zur Sicherstellung der Filterstabilität zwischen Unterbau und der unteren Tragschicht des Oberbaues muss die Kornzusammensetzung der oberen Lage des Unterbaues derartig beschaffen sein, dass ein bedeutsames Hochsteigen von Feinteilen in die ungebundene Tragschicht auf Dauer abgewendet werden kann. Dies wird erreicht indem der Quotient aus 15% Siebdurchgang des Filtermaterials  $d_{15}(F)$  (ungebundene Tragschicht) und 85% Siebdurchgang des Unterbaumaterials  $d_{85}(U)$  einen Wert von  $\leq 5$  ein nimmt (vgl. RVS 08.03.01, 2010).

$$d_{15}(F) : d_{85}(U) \leq 5 \tag{3.1}$$

Kann der vorgeschriebene Wert nicht erreicht werden, ist eine Filterschicht oder ein wasserdurchlässiges Geotextil zu verwenden. Bezüglich der Tragfähigkeit sind die Werte in Tabelle 3.1 einzuhalten. Die Verdichtung hat dabei so zu erfolgen, dass mindestens der dynamische Verformungsmodul  $E_{vd}$ , der statische Verformungsmodul  $E_{v1}$ , oder der Verdichtungsgrad  $D_{Pr}$  erreicht wird (vgl. RVS 08.03.01, 2010).

Anmerkung: Mit wenigen Ausnahmen wird die erforderliche Tragfähigkeit durch die Bestimmung des Verformungsmoduls nachgewiesen. Dabei wird der Boden durch eine kreisförmige Platte belastet und die auftretenden Setzungen gemessen. Aus dem Last-Setzungs-Diagramm kann dann der Verformungsmodul ermittelt werden.

Tiefenbereich	$E_{vd}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$E_{v1}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$D_{Pr}$ [%]	$\Delta_{FDVK}$ [%]	$SD_{FDVK}$ [%]
Unterbauplanum	38	35	100	$\leq 5$ (0)	$\leq 20$
ab 1m unter Unterbauplanum	24 (26)	20	99	$\leq 5$ (0)	$\leq 20$
ab Dammaufstandsflächen (einschl. Bodenauswechslung)	18 (16)	15 (7,5)	97 (95)	$\leq 5$ (0)	$\leq 20$ *)
*) Für Dammaufstandsflächen auf natürlich anstehenden Böden ist der Grenzwert der Standardabweichung nicht anzuwenden, der Wert ist jedoch aufzuzeichnen und zu dokumentieren. Klammerwerte gelten für bindige Böden					

**Tabelle 3.1: Mindestanforderung an die Verdichtung des Unterbaues (RVS 08.03.01, 2010)**

Hierin bedeuten:

$E_{vd}$  = *Dynamischer Verformungsmodul des dynamischen Lastplattenversuches mittels des Leichten Fallgewichtsgerätes*

$E_{v1}$  = *Statischer Verformungsmodul des statischen Lastplattenversuches aus der Erstbelastungskurve zwischen den Laststufen  $p_1 = 0,1 \text{ MN/m}^2$  und  $p_2 = 0,2 \text{ MN/m}^2$*

$D_{Pr}$  = *Erzielter Verdichtungsgrad (%), bezogen auf die Proctordichte  $p_{Pr}$*

$\Delta_{FDVK}$  = *Verdichtungszuwachs der dynamischen Messwerte der Flächendeckenden Dynamischen Verdichtungskontrolle (FDVK) zwischen zwei aufeinander folgenden Überfahrten auf derselben Walzspur*

$SD_{FDVK}$  = *Standardabweichung des Mittelwertes der dynamischen Messwerte der FDVK auf dem jeweiligen Prüffeld*

Können die in Tabelle 3.1 erforderlichen Werte durch Verdichtung nicht erreicht werden, stehen laut RVS 08.03.01 (2010) folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

- Verbessern oder Verfestigen des Untergrundes bzw. Unterbaues
- Vergrößerung der Dicke der Tragschicht(en)

Für die Verbesserung beziehungsweise Verfestigung des Untergrundes/Unterbaues werden in der RVS 08.03.01 (2010) folgende Maßnahmen angeführt:

### **Bodenverdichtung**

*Bei geringfügigem Unterschreiten der Verdichtungsanforderungen darf in Abhängigkeit von Bodenart, Wassergehalt und Verdichtungsgerät der anstehende Untergrund oder die Schüttung nachverdichtet werden (RVS 08.03.01, 2010).*

### **Mechanische Bodenverbesserung**

1. *Verbessern von Gesteinskörnungsgemischen mit enggestufter Korngrößenverteilung (z.B. GR,E Sa,E) durch Einmischen von geeigneten Korngruppen oder Gesteinskörnungen.*
2. *Verbessern von feinen Gesteinskörnungen (schluffigen oder tonigen Böden) durch Einmischen von geeigneten Korngruppen oder groben Gesteinskörnungen, erforderlichenfalls nach vorherigem Auflockern mittels geeigneten Gerätes.*

- 
3. *Verbessern von weichen Böden durch Einrütteln oder Einbauen von groben Gesteinskörnungen oder Gesteinskörnungsgemischen (RVS 08.03.01, 2010).*

### **Bodenauswechslung**

*Dieses besteht aus dem Entfernen des ungeeigneten Bodens und Ersatz durch ein geeignetes Gesteinskörnungsgemisch (RVS 08.03.01, 2010).*

### **Einbau von Geokunststoffen**

*Bei Dämmen, An- oder Einschnitten in weichen Untergrund kann die erforderliche Tiefe der Bodenauswechslung durch die Verwendung von Geotextilien reduziert werden bzw. der vermischungsfreie Einbau von Bodenauswechslungsmaterial auf feinkörnigen Böden erst ermöglicht werden (RVS 08.03.01, 2010).*

### **Bodenverbesserung mit Bindemitteln - Kalkstabilisierung**

*Falls die Verdichtungsanforderungen bei feinkörnigen Böden nicht erreicht werden können, besteht die Möglichkeit, eine Bodenverbesserung mit Kalk (gem. ÖNORM EN 14227-11) anstelle der Bodenauswechslung durchzuführen. Die erforderliche Zugabemenge von Kalk ist in Abhängigkeit vom natürlichen Wassergehalt des Bodens und der Korngrößenverteilung durch Laborversuche zu ermitteln und in Probefeldern zu verifizieren (RVS 08.03.01, 2010).*

### **Bodenverfestigung mit hydraulischen Bindemitteln**

*Falls die Verdichtungsanforderungen bei fein- bis grobkörnigen Böden nicht erreicht werden können, besteht die Möglichkeit, die anstehenden Böden mit hydraulischen Bindemitteln (Zement – gem. ÖNORM EN 14227-10, Schlacke – gem. ÖNORM EN 14227-12, hydraulische Tragschichtbinder – gem. ÖNORM EN 14227-13, Flugasche – gem. ÖNORM EN 14227-14) zu verbessern. Die erforderliche Zugabemenge der hydraulischen Bindemittel ist in Abhängigkeit vom natürlichen Wassergehalt des Bodens und der Korngrößenverteilung durch Laborversuche zu ermitteln und in Probefeldern zu verifizieren (RVS 08.03.01, 2010).*

Wird eine Verbesserung des Untergrundes durch die aufgezählten Möglichkeiten nicht erreicht, müssen tiefreichende Bodenverbesserungsmaßnahmen, wie zum Beispiel Vorlastschüttung, Überlastschüttung, Tiefendrain, Rüttelstopfsäulen, Rütteldruckverdichtung, etc., getroffen werden (vgl. RVS 08.03.01, 2010).

### 3.2. Oberbau

Als Oberbau wird bei Straßen und sonstigen Verkehrsflächen der frostsichere Aufbau oberhalb des Unterbauplanums bezeichnet. Er besteht, wie bereits eingangs erwähnt, aus einer unteren Tragschicht, einer oberen Tragschicht und einer Deckschicht. Laut RVS 03.08.63 (2008) wird bei den Deckschichten zwischen *bituminöser Deckschicht*, *Betondecke* und *Pflasterstein- und Pflasterplattendecke* unterschieden. Bei Tragschichten kann neben der Lage im Oberbau auch noch zwischen gebundener Tragschicht und ungebundener Tragschicht unterschieden werden, wobei die untere Tragschicht ausschließlich in ungebundener Form eingebaut wird. Nach RVS 03.08.63 (2008) und RVS 08.17.01 (2009) wird zwischen folgenden gebundenen Tragschichten unterschieden:

- *Bituminöse Tragschichten*
- *Tragschichten aus Pflaster-Drainbeton*
- *Mit Zement stabilisierte Tragschichten*
- *Mit Tragschichtbinder (hydraulisches Bindemittel niedriger Anfangs- und hoher Endfestigkeit) stabilisierte Tragschichten*
- *Mit Bitumen (Bitumenemulsion oder Schaumbitumen) stabilisierte Tragschicht*
- *Mit Bitumen (Bitumenemulsion oder Schaumbitumen) und Zement stabilisierte Tragschichten*

Im Zuge dieser Arbeit liegt das Augenmerk jedoch auf ungebundenen Tragschichten (mit Ausnahme von Tragschichten aus rezykliertem Asphaltgranulat), weshalb hierauf nachstehend näher eingegangen wird. Bezüglich Deckschichten, gebundenen Tragschichten und ungebundenen Tragschichten aus rezykliertem Asphaltgranulat wird auf die folgenden Richtlinien verwiesen:

- RVS 08.16.01 Anforderungen an Asphalttschichten
- RVS 08.17.02 Deckenherstellung (Betondecke)
- RVS 08.18.01 Pflasterstein- und Pflasterplattendecken, Randeinfassungen
- RVS 08.17.01 Mit Bindemittel stabilisierte Tragschichten
- RVS 08.15.02 Ungebundene Tragschichten mit Asphaltgranulat

### Ungebundene Tragschichten lt. RVS 08.15.01 (2010)

Für ungebundene Tragschichten werden Gesteinskörnungsgemische aus natürlichen Gesteinskörnungen, rezyklierten Gesteinskörnungen oder industriell hergestellten Gesteinskörnungen (z.B. Hochofenschlacke, Stahlwerkschlacke) beziehungsweise deren Mischungen verwendet. Ungebundene obere Tragschichten der Lastklasse S bis II gemäß RVS 03.08.63 (2008) dürfen maximale 5 M.-% an rezykliertem Asphaltgranulat aufweisen. Bei den restlichen Lastklassen und für ungebundene untere Tragschichten darf der Anteil bei höchstens 50 M.-% liegen (vgl. RVS 08.15.01, 2010).

Hinsichtlich der Mindestanforderungen an die eingebaute Tragschicht und dem Korngemisch erfolgt in der RVS 08.15.01 (2010) eine Unterteilung in U-Klassen. Die notwendigen Eigenschaften für das Korngemisch sind in Punkt 9.3 dargelegt. Bezüglich der Tragfähigkeit und Verdichtung müssen die Werte des Verformungsmoduls  $E_{v1}$  und das Verdichtungsverhältnis  $E_{v2}/E_{v1}$ , in Tabelle 3.2 nachgewiesen werden. Kann das Verhältnis  $E_{v2}/E_{v1}$  nicht erlangt werden, kann im Zweifelsfall der Verdichtungsgrad  $D_{Pr}$  herangezogen werden. Bei Nichterreichen der Werte müssen dementsprechende Maßnahmen wie beispielsweise Wasserzugabe und eine Nachverdichtung gesetzt werden (vgl. RVS 08.15.01, 2010)

		ungebundene Obere Tragschicht					ungebundene Untere Tragschicht			ungebundene Tragschichten ohne gebundene Überbauung		
		für alle LK		LK II bis VI			für alle LK			U9	U10	
Kennwert	Klasse Prüfnorm	U1 <sup>2)</sup>	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8			
$E_{v1}$ <sup>3)</sup>	ÖNORM B 4417	$\geq 120$ MN/m <sup>2</sup>	$\geq 90$ MN/m <sup>2</sup>			$\geq 75$ MN/m <sup>2</sup>	$\geq 72$ MN/m <sup>2</sup>		$\geq 60$ MN/m <sup>2</sup>	<i>keine Anforderungen, bzw. im Bauvertrag festzulegen</i>		
$E_{v2}/E_{v1}$ <sup>3)</sup>	ÖNORM B 4417	$\leq 2,2$										
$D_{Pr}$	ÖNORM B 4414-2	$\geq 103$ %					$\geq 101$ %					
Sollhöhe <sup>3)</sup>	-	$\pm 2$ cm <sup>4)</sup>					$\pm 3$ cm					
Ebenheit <sup>3)</sup>	ÖNORM EN 13036-8 4-m-Richtlatte	$\leq 15$ mm / 4 m					-					
<p><sup>1)</sup> Bei Nichterreichen des geforderten Wertes <math>E_{v2}/E_{v1}</math> sind geeignete Maßnahmen zu setzen. In Zweifelsfällen gilt der Verdichtungsgrad <math>D_{Pr}</math>.</p> <p><sup>2)</sup> U1 umfasst auch die Zentralgemischte Kantkörnung gemäß Bautyp 2 der RVS 03.08.63</p> <p><sup>3)</sup> Für die ungebundene Tragschicht auf ländlichen Straßen mit gebundener Überbauung ist der Grenzwert <math>E_{v1} \geq 60</math> MN/m<sup>2</sup> mit <math>E_{v2}/E_{v1} \leq 2,5</math> oder <math>E_{v1} \geq 45</math> MN/m<sup>2</sup> mit <math>E_{v2}/E_{v1} \leq 2,2</math> einzuhalten. Im maßgeblichen Bauvertrag sind die Verdichtungsanforderungen zu präzisieren. Für die Sollhöhe ist eine Genauigkeit von <math>\pm 4</math> cm, für die Ebenheit <math>\leq 20</math> mm/ 4 m einzuhalten.</p> <p><sup>4)</sup> Bei Höhengebundenheit der Fahrbahnoberkante (z.B. bei Anschlussstraßen, Ortsgebieten mit Einbauten, Randsteinen, in Tunneln) ist die Sollhöhe jedenfalls mit einer Genauigkeit von <math>\pm 1</math> cm einzuhalten.</p>												

**Tabelle 3.2: Mindestanforderungen an ungebundene Tragschichten (RVS 08.15.01, 2010)**

---

Weitere wesentliche Bestimmungen für ungebundene Tragschichten werden in den folgenden Punkten zusammengefasst (vgl. RVS 08.15.01, 2010):

- In einem Arbeitsgang darf eine Schichtdicke von höchstens 45 cm (im verdichteten Zustand) eingebaut werden.
- Das nominelle Größtkorn D darf 1/3 der Tragschichtdicke beziehungsweise 90 mm nicht überschreiten.
- Die untere Tragschicht darf erst eingebaut werden, wenn die geforderten Werte für das Unterbauplanum erreicht sind. Das Planum darf nicht aufgeweicht sein. Eine Verschmutzung der unteren Tragschicht durch zum Beispiel nicht frostsicheres Material muss vermieden werden.
- Beim Einbau darf sich das Korngemisch nicht entmischen und ist bei günstigem Wassergehalt gleichmäßig zu verdichten.
- Die untere Tragschicht ist so herzustellen, dass sie im Bau und Betriebszustand der Straße einwandfrei entwässert. In Dammlage ist sie an der Gefälleseite bis zur Böschungsflechte, bei Einschnitten bis zur Entwässerungseinrichtung zu ziehen.
- Beim Einbau der oberen Tragschichten ist darauf zu achten, dass die Durchlässigkeit durch Verunreinigungen oder Feinkornanreicherung nicht beeinträchtigt wird.
- Bezüglich Frostsicherheit der Klassen U1 bis U8 muss das eingebaute Material gemäß ÖNORM B 4810 geprüft und gemäß ÖNORM B 4811 beurteilt werden.

### **3.3. Oberbaubemessung von Aufbauten mit bituminöser Befestigung nach RVS 03.08.63**

Für die Oberbaubemessung von Straßenneubauten im Erdbaubereich (ohne Zwischenausbau beziehungsweise ohne stufenweisen Ausbau) ist in Österreich die RVS 03.08.63 anzuwenden. Unter Berücksichtigung der erforderlichen Mindesttragfähigkeit auf dem Unterbauplanum werden in Abhängigkeit der Verkehrsbelastung die unterschiedlichen tragfähigkeitsäquivalenten Oberbautypen mit den erforderlichen Dicken der einzelnen Schichten angegeben (vgl. RVS 03.08.63, 2008).

Bezüglich der Verkehrsbelastung wird in sieben Lastklassen (S bis VI) unterschieden. Die maßgebende Verkehrsbelastung, welche als Bemessungsnormallastwechsel (BNLW) bezeichnet wird, gibt die äquivalente Anzahl von Übergängen mit einer Normachslast von

100 kN an und bezieht sich auf den höchstbelasteten Fahrstreifen. Sie errechnet sich nach RVS 03.08.63 (2008) durch folgende Gleichung:

$$BNLW = NLW_{\text{tägl}} \times R \times V \times S \times 365 \times n \times z \quad (3.2)$$

$NLW_{\text{tägl}}$  Anzahl der durchschnittlich täglichen Normlastwechsel (Übergänge der Normachslast von 100 kN) für den gesamten Querschnitt zum Zeitpunkt der Verkehrsübergabe.

Dieser wird ermittelt:

- bei Kenntnis der jährlich durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke  $JDTV_i$  der Fahrzeugkategorie  $i$  im gesamten Querschnitt zum Zeitpunkt der Verkehrsübergabe aus:

$$NLW_{\text{tägl}} = \sum_i JDTV_i \times \ddot{A}_i \quad (3.3)$$

mit:

$\ddot{A}_i$  ... Mittlerer Äquivalenzwert der jeweiligen Fahrzeugkategorie  $i$  gemäß Tabelle 3.3

- wenn keine Ergebnisse aus Verkehrszählungen mit Unterscheidung der Fahrzeuge in Fahrzeugkategorien  $i$  vorliegen aus:

$$NLW_{\text{tägl}} = JDTV_{\text{ges}} \times \ddot{A}_{JDTLV} \quad (3.4)$$

mit:

$JDTV_{\text{ges}}$  ... Jährlich durchschnittliche tägliche Lastverkehrsstärke (LKW, LKW-ähnliche Fahrzeuge und Busse je 24 Std., alle Tage) für den gesamten Querschnitt zum Zeitpunkt der Verkehrsübergabe; ermittelt aus Zählungen bzw. aufgrund von Abschätzungen über  $JDTV$ -Wert und Lastverkehrsanteil

$\ddot{A}_{JDTLV}$  ... Mittlerer Äquivalenzwert des  $JDTLV$ -Kollektivs für die entsprechende Straßenkategorie gemäß Tabelle 3.4

- R*      *Richtungsfaktor für die Aufteilung des Lastverkehrs auf die Fahrtrichtungen (0,5 bei gleichmäßiger Aufteilung des Lastverkehrs auf beide Fahrtrichtungen)*
- V*      *Faktor zur Berücksichtigung der Verteilung des Lastverkehrs auf mehrere Richtungsfahrstreifen. 1,0 bei 1 bzw. 2 Richtungsfahrstreifen 0,9 bei 3 oder mehr Richtungsfahrstreifen*
- S*      *Faktor zur Berücksichtigung der Fahrspurverteilung innerhalb des Fahrstreifens gemäß den Werten der Tabelle 3.5*
- n*      *Bemessungsperiode in Jahren (Regelfall 20 Jahre für bituminöse Befestigungen und Pflasterstein- und Pflasterplattendecken bzw. 30 Jahre für Betondecken)*
- z*      *Zuwachsfaktor unter Berücksichtigung einer jährlichen Zuwachsrate p (%) (siehe Tabelle 3.6)*

$$z = \frac{q^n - 1}{n \times (q - 1)} \quad \text{mit} \quad q = 1 + \frac{p}{100} \tag{3.5}$$

Fahrzeugkategorie	Ä
Lkw ohne Anhänger	0,70
Lkw mit Anhänger bzw. Sattelzug	1,20
Bus	0,60
Linienbus (ÖPNV)	0,80
Liniengelenkbus (ÖPNV)	1,40

Tabelle 3.3: Mittlere Äquivalenzwerte für verschiedene Fahrzeugkategorien (RVS 03.08.63, 2008)

Straßenkategorie	Ä <sub>JDTLV</sub>
Autobahnen	1,00
sonstige Straßen	0,90

Tabelle 3.4: Mittlere Äquivalenzwerte des JDTLV-Kollektivs für verschiedene Straßenkategorien (RVS 03.08.63, 2008)

b <sub>f</sub>	< 3,00 m <sup>1)</sup>	3,00 m	3,25 m	3,50 m	3,75 m	≥ 4,00 m
S	1,00	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70

<sup>1)</sup> Gilt nur für Ortsdurchfahrten bzw. für einzelne Richtungsfahrstreifen bei seitlichen Begrenzungen.  
In allen anderen Fällen ist der Wert für b<sub>f</sub> = 3,00 m anzusetzen

Tabelle 3.5: Fahrspurfaktor S in Abhängigkeit von der Fahrstreifenbreite b<sub>f</sub> (bei Zwischenbreiten ist die kleinere Fahrstreifenbreite maßgebend) (RVS 03.08.63, 2008)

		Mittlere jährliche Zuwachsrate p [%]					
		0	1	2	3	4	5
Bemessungs- periode [Jahre]	5	1,00	1,02	1,04	1,06	1,08	1,11
	10	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,26
	15	1,00	1,07	1,15	1,24	1,33	1,44
	20	1,00	1,10	1,22	1,34	1,49	1,65
	25	1,00	1,13	1,28	1,46	1,67	1,91
	30	1,00	1,16	1,35	1,59	1,87	2,21

Tabelle 3.6: Zuwachsfaktor z in Abhängigkeit von Bemessungsperiode n und jährlicher Zuwachsrate p (RVS 03.08.63, 2008)

In Bezug auf den Zuwachsfaktor z sind Ergebnisse von Verkehrszählungen oder Verkehrsprognosen maßgebend. Bei Fehlen dieser ist mit einer mittleren jährlichen Zuwachsrate von  $p = 3\%$  bei Autobahnen, und  $p = 1\%$  bei sonstigen Straßen zu rechnen (vgl. RVS 03.08.63, 2008).

Nach Ermittlung des BNLW-Wertes kann die erforderliche Lastklasse bestimmt und der Oberbautyp nach Tabelle 3.8 ausgewählt werden. Überschreitungen von Lastklassengrenzen um bis zu 10% sind dabei zulässig (vgl. RVS 03.08.63, 2008).

In Ausnahmefällen können Straßen auch nach ihrer Funktion der dementsprechenden Lastklasse zugeordnet werden (siehe Tabelle 3.7). Für Verkehrsflächen mit Linienbusverkehr (ÖPNV) ist jedoch immer die Ermittlung des Bemessungsnormallastwechsel (BNLW) notwendig.

Lastklasse	Funktion der Verkehrsfläche
IV	Sammelstraßen, Fußgängerzonen mit schweren Ladeverkehr, ständig benutzte Parkflächen für Lkw- und Busverkehr, Verkehrsflächen in Nebenanlagen für Pkw und Lkw
V	Siedlungsstraßen, Fußgängerzonen mit Ladeverkehr, ständig benutzte Parkflächen für Pkw-Verkehr und geringem Lkw- und Busverkehr
VI	Verkehrsflächen mit Pkw- und gelegentlichem Lkw-Verkehr, ständig benutzte Parkflächen für Pkw-Verkehr und gelegentlichem Lkw- und Busverkehr

Tabelle 3.7: Lastklassen aufgrund der Funktion der Verkehrsfläche (RVS 03.08.63, 2008)

Lastklasse (n = 20 Jahre)	S	I	II	III	IV	V	VI	
BNLW in Mio.	> 10 bis 25 <sup>1)</sup>	> 4 bis 10	> 1,3 bis 4	> 0,4 bis 1,3	> 0,1 bis 0,4	> 0,05 bis 0,1	≤ 0,05 <sup>3)</sup>	
<b>Baufotype 1</b> bit. Decke + bit. Tragschichte ungeb. obere Tragschichte ungeb. untere Tragschichte	cm 25 20 30 UP	cm 23 20 30 UP	cm cm 20 22 20 20 30 30 UP UP	cm cm 16 18 20 20 30 30 UP UP	cm cm 13 15 20 20 30 30 UP UP	cm cm 10 12 20 20 30 30 UP UP	cm cm 7 9 15 15 30 30 UP UP	
<b>Baufotype 2<sup>2)</sup></b> bit. Decke + bit. Tragschichte ungeb. obere TS aus ZGKK ungeb. untere Tragschichte	cm 23 18 30 UP	cm 21 18 30 UP	cm 18 18 30 UP	cm 14 18 30 UP	cm 11 18 30 UP	cm 8 18 30 UP	cm 6 18 30 UP	
<b>Baufotype 3</b> bit. Decke + bit. Tragschichte ungeb. obere TS aus RA ungeb. untere Tragschichte	/		/		cm 16 10 40 UP	cm 13 10 40 UP	cm 10 10 40 UP	cm 7 10 40 UP
<b>Baufotype 4</b> bit. Decke + bit. Tragschichte zementstab. Tragschichte ungeb. untere Tragschichte	cm 17 30 20 UP	cm 15 30 20 UP	cm 15 25 20 UP	cm 10 25 20 UP	cm 10 20 20 UP	cm 5 20 20 UP	cm 5 18 20 UP	
$E_{v1UP} \geq 35 \text{ MN/m}^2$								

- 1) Für höhere Belastungen ist eine gesonderte Dimensionierung erforderlich.
- 2) Die Dickenfestlegungen für das Asphaltpaket gelten nur, wenn auf der ZGKK-Schichte der höhere Abnahmewert  $E_{v1UP} > 120 \text{ MN/m}^2$  gemäß RVS 08.15.01 erreicht wird. Ansonsten sind die entsprechenden Dickenwerte der Bauftype 1 maßgebend.
- 3) Bei geringer belasteten Verkehrsflächen kann unter Berücksichtigung der saisonalen Verteilung der Schwerverkehrsbelastung und der klimatischen und hydrologischen Bedingungen bei Einhaltung der erforderlichen Mindestschichtdicken eine weitere Abminderung der Schichtdicken erfolgen.

 bituminöse Tragschichte und Decke gemäß RVS 08.16.01	 ungebundene obere Tragschichte gemäß RVS 08.15.01, Zentralgemischte Kantkörnung (mind. C <sub>90/2</sub> )
 ungebundene obere Tragschichte aus recyciertem, gebrochenem oder gefrästem Asphaltgranulat RA	 stabilisierte Tragschichte (ST-Z, ST-T) gemäß RVS 08.17.01
 ungebundene obere Tragschichte gemäß RVS 08.15.01 (C <sub>WR</sub> )	 ungebundene untere Tragschichte gemäß RVS 08.15.01 (C <sub>WR</sub> )
 ungebundene obere Tragschichte gemäß RVS 08.15.01 (C <sub>90/20</sub> , C <sub>90/2</sub> )	

**Tabelle 3.8: Bemessungstabelle für Oberbauten mit bituminösen Befestigungen (RVS 03.08.63, 2008)**

### 3.4. Tragfähigkeit von Oberbauten mit bituminöser Befestigung

Um eine analytische Betrachtung des Tragfähigkeitsverhaltens von Oberbauten zu erhalten, müssen eine Vielzahl von Kenndaten der einzelnen Schichten beziehungsweise des Materials zur Verfügung stehen (E-Modul, Ermüdungsfestigkeit, Temperaturkenngrößen, etc.). Dies ist oft mit erheblichem Aufwand verbunden. Eine Abhilfe schafft hierbei ein Verfahren, das auf amerikanische Untersuchungen zurückführt. Dabei wird die Tragfähigkeit von Oberbauten mit Hilfe einer Kennzahl abgeschätzt. Im AASHTO-Guide (American Association of State Highway and Transportation Officials) wird die Tragfähigkeitskennzahl, die als strukturelle Kennzahl bezeichnet wird, bei Weninger-Vycudil (2001) durch folgende Gleichung beschrieben:

$$SN = \sum_{i=1}^n (a_i \times D_i) \quad (3.6)$$

*SN*..... strukturelle Kennzahl (structural number)

*a<sub>i</sub>*..... Schichtkoeffizient der Schicht *i*

*D<sub>i</sub>*..... Schichtdicke der Schicht *i*

*N*..... Anzahl der Schichten der Oberbaukonstruktion

Hierbei wird durch Multiplikation der Schichtdicke mit dem entsprechenden Schichtkoeffizienten (Materialkoeffizienten) eine äquivalente Schichtdicke gebildet, welche durch Aufsummierung der einzelnen Schichten die strukturelle Kennzahl des betrachteten Oberbaus darstellt (vgl. Weninger-Vycudil 2001).

Im Gegensatz zum AASHTO-Guide wird im Pavement Management System der Weltbank HDM-III und HDM-4 auch die Tragfähigkeit des Unterbaues/Untergrundes durch einen zusätzlichen Term berücksichtigt. Die dadurch modifizierte strukturelle Kennzahl errechnet sich somit in Weninger-Vycudil (2001) aus:

$$SNC = 0,394 \times \sum_{i=1}^n (a_i \times h_i) + SN_{sg} \quad (3.7)$$

*SNC* ..... modifizierte strukturelle Kennzahl (modified structural number)

*a<sub>i</sub>* ..... Schichtkoeffizient der Schicht *i*

*h<sub>i</sub>* ..... Schichtdicke der Schicht *i*

*n* ..... Anzahl der Schichten der Oberbaukonstruktion

*SN<sub>sg</sub>* ..... Korrekturfaktor für den Einfluss des Untergrundes (structural number subgrade)

0,394 ..... Konstante zur Umrechnung der Schichtdicke von „inch“ in „cm“

Aus der modifizierten strukturellen Kennzahl des HDM-III wurde 1995 eine für Österreich angepasste „österreichische“ modifizierte strukturelle Kennzahl abgeleitet. Sie unterscheidet sich von jenem des HDM-III durch das Weglassen der Umrechnungskonstante und errechnet sich nach Weninger-Vycudil (2001) mit:

$$SNC_A = \sum_{i=1}^n (a_i \times h_i) + SN_{sg} \quad (3.8)$$

*SNC<sub>A</sub>* ..... (österreichische) modifizierte strukturelle Kennzahl

*a<sub>i</sub>* ..... Schichtkoeffizient der Schicht *i*

*h<sub>i</sub>* ..... Schichtdicke der Schicht *i*

*n* ..... Anzahl der Schichten der Oberbaukonstruktion

*SN<sub>sg</sub>* ..... Korrekturfaktor für den Einfluss des Untergrundes

Der Korrekturfaktor *SN<sub>sg</sub>* wird durch folgende Formel in Weninger-Vycudil (2001) ermittelt:

$$SN_{sg} = 3,51 \times \log_{10} CBR - 0,85 \times (\log_{10} CBR)^2 - 1,43 \quad (3.9)$$

mit:

$$CBR_{Frühjahr} = 10 \times E_{dyn, Frühjahr} = \frac{1}{5} E_{v1} \quad (3.10)$$

*CBR* ..... *In-situ CBR-Wert (%)*

*E<sub>v1</sub>* ..... *Verformungsmodul aus Lastplattenversuch (MN/m<sup>2</sup>)*

*E<sub>dyn</sub>* ..... *dynamischer E-Modul (MN/m<sup>2</sup>)*

Anmerkung: Der CBR-Wert (California Bearing Ratio) ist die in % ausgedrückte Steifigkeit eines Bodens gegenüber einem genormten Standardboden. Man erhält ihn, indem ein Stempel von 20 cm<sup>2</sup> Querschnittsfläche mit konstanter Geschwindigkeit in den Boden gepresst wird und dabei der Widerstand (entgegenwirkende Kraft) gemessen wird (vgl. Pichler 2002). Vor allem im englischsprachigen Raum wird die Tragfähigkeit oft durch den CBR-Wert angegeben.

Nachdem in Österreich die Mindesttragfähigkeit des Unterbauplanums laut RVS 08.03.01 und RVS 03.08.63 einen Wert von  $E_{v1} = 35 \text{ MN/m}^2$  aufweisen muss, errechnet sich der Korrekturfaktor  $SN_{sg}$  durch die vorangegangenen Formeln zu einem Wert von 0,93. Durch Elimination des Umrechnungsmultiplikators von 0,394 muss jedoch der Korrekturfaktor noch durch diese Zahl dividiert werden, womit sich in Bezug auf die „österreichische“ modifizierte strukturelle Kennzahl ein Standardkorrekturfaktor für den Einfluss des Untergrundes/Unterbaues von 2,4 ergibt (vgl. Weninger-Vycudil 2001).

Bezüglich der Schichtkoeffizienten  $a_i$  ist zu erwähnen, dass diese in Abhängigkeit mit dem E-Modul der jeweiligen Schicht stehen. In Österreich wurden spezielle Werte, in Anlehnung an die Schichtkoeffizienten des AASHTO-Guides, durch die hierzulande verwendeten Materialien sowie in Übereinstimmung der strukturellen Gleichwertigkeit laut RVS 03.08.63, abgeleitet (siehe Tabelle 3.9) (vgl. Weninger-Vycudil 2001).

Schichtbezeichnung	Material der Schicht	Schichtkoeffizient $a_i$
Bituminöse Deck- und Tragschicht	AB, BT, BTD, etc.	0,40
Obere ungebundene Tragschicht	Kantkörnung	0,14
Obere ungebundene Tragschicht	Rundkörnung	0,10
Obere ungebundene Tragschicht	Zentralgemischte Kantkörnung	0,20
Obere ungebundene Tragschicht	RA Material	0,20
Obere Tragschicht	Zementstabilisierung	0,24
Untere ungebundene Tragschicht	-	0,08

**Tabelle 3.9: Schichtkoeffizienten zur Berechnung der österreichischen modifizierten strukturellen Kennzahl (Weninger-Vycudil 2001))**

Berechnet man die strukturelle Kennzahl von den in der RVS 03.08.63 abgebildeten Oberbautypen (siehe Tabelle 3.8), so kann die Beziehung mit dem dazugehörigen Bemessungsnormallastwechsel verdeutlicht werden.

Bautype	LK S	LK I	LK II	LK III	LK IV	LK V
zulässige Verkehrsbelastung in Mio. NLW						
BT 1-4	25,0	10,0	4,0	1,3	0,4	0,1
modifizierte strukturelle Kennzahlen für Oberbauten nach RVS 03.08.63						
BT 1-3	17,6	16,8	15,6	14,0	12,8	11,6
BT 4	18,0	17,2	16,0	14,0	12,8	10,8

**Tabelle 3.10: Modifizierte strukturelle Kennzahlen und zulässige Verkehrsbelastung für Oberbauten mit bituminöser Befestigung (Weninger-Vycudil 2001)**

Für ermittelte strukturelle Kennzahlen, die zwischen denen der Standardaufbauten laut RVS 03.08.63 liegen, kann die zulässige Verkehrsbelastung, ausgedrückt durch den Bemessungsnormallastwechsel BNLW, durch folgende Gleichung interpoliert werden (Weninger-Vycudil 2001):

$$BNLW = 10^{\log BNLW_{LKk} + (\log BNLW_{LKg} - \log BNLW_{LKk}) \times \frac{SNC_A - SNC_{A,LKk}}{SNC_{LKg} - SNC_{LKk}}} \quad (3.11)$$

*BNLW..... zulässige Verkehrsbelastung des betrachteten Oberbaus*

*BNLW<sub>LKk</sub>... zulässige Verkehrsbelastung des entsprechend nächstdünnen Regelaufbaus gemäß RVS 03.08.63*

*BNLW<sub>LKg</sub>... zulässige Verkehrsbelastung des entsprechend nächstdickeren Regelaufbaus gemäß RVS 03.08.63*

*SNC<sub>A</sub>..... (österreichische) modifizierte strukturelle Kennzahl des betrachteten Oberbaus*

*SNC<sub>A,LKk</sub>... (österreichische) modifizierte strukturelle Kennzahl des nächstdünnen Regelaufbaus gemäß RVS 03.08.63*

*SNC<sub>A,LKg</sub>... (österreichische) modifizierte strukturelle Kennzahl des nächstdickeren Regelaufbaus gemäß RVS 03.08.63*

## 4. Einsatz von Geokunststoffen bei ungebundenen Tragschichten im Straßenaufbau

Wie bereits im vorherigen Kapitel beschrieben, besteht der Aufbau von Straßen und sonstigen Verkehrsflächen aus mehreren Schichten, die zur Aufgabe haben über längere Zeit eine möglichst schonende Ableitung der auftretenden Kräfte in den Untergrund zu gewährleisten und die notwendige Frostsicherheit zu erfüllen. Geokunststoffe, insbesondere Geotextilien und Geogitter, sowie deren Verbundstoffe, können diese Forderungen an den Straßenaufbau unterstützen und verbessern. Vor allem im Zusammenhang mit wenig tragfähigem Untergrund können durch ihre Funktionen *Trennen*, *Filtern* und *Bewehren* nach Holtz et al. (1998) folgende Vorteile eingebracht werden:

- Reduzierte Beanspruchung des Unterbauplanums und eine Vermeidung des Eindrückens von Körner der unteren Tragschicht in den Unterbau/Untergrund (*Trennen*)
- Vermeiden des Aufsteigens von Feinteilen des Unterbaues in die untere Tragschicht durch Pumpeffekte bei dynamischen Lastbeanspruchungen oder sonstigen Wanderungseffekten (*Trennen*, *Filtern*)
- Durch das Fernhalten von Feinteilen in der Tragschicht bleibt die Frostbeständigkeit erhalten (*Trennen*, *Filtern*)
- Reduzierung der Stärke von Bodenauswechslungsmaterial (*Trennen*, *Bewehren*)
- Verringerung der Beschädigung des Unterbauplanums während des Einbaues der Tragschichten (*Trennen*, *Bewehren*)
- Verringerung der unterschiedlichen Setzungen beziehungsweise Verformungen der Schichten aufgrund der Belastungen (*Bewehren*)
- Reduzierung der Instandhaltungskosten und Erhöhung der Lebensdauer (*Trennen*, *Filtern*, *Bewehren*)

Bei all den Vorteilen muss auch erwähnt werden, dass bei Nichteintreten der gewünschten Wirkungen sich die Mehrkosten des Einbaus nachteilig auswirken können.

## 4.1. Wirkungsweise und Bemessung

Nach den zuvor aufgezählten Vorteilen wird in diesem Punkt auf die Wirkungsweise und Bemessung von Geokunststoffen eingegangen. Hierbei werden jedoch die altbewährten Funktionen *Trennen* und *Filtern* gesondert von jener des *Bewehrens* behandelt. Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass die hier behandelten Filteraufgaben von einem Trenn- beziehungsweise Verstärkungsgeotextil übernommen werden. Für Geotextilien, die bei einem Filter oder einer Drainage eingesetzt werden, gelten bezüglich der Bemessung andere Anforderungen, die in der RVS 8S.01.2 angeführt sind.

### 4.1.1. Trennen und Filtern

Geokunststoffe mit Trenn- und Filteraufgaben verhindern die Vermischung von zwei unterschiedlichen Kornabstufungen. Dies ist nicht nur für die Frostbeständigkeit des Straßenaufbaues, sondern auch für die Beibehaltung der erforderlichen Tragschichtdicken wichtig. Abbildung 4.1 veranschaulicht den Effekt einer Trenn- und Filterschicht zwischen einem wenig tragfähigen bindigen Untergrund und der Tragschicht. Während beim linken Bild die Feinanteile ungehindert in die Tragschicht wandern können und somit die Beständigkeit gegen Frost, sowie die effektive Tragschichtdicke verringern, werden sie am rechten Bild durch eine Geokunststoffeinlage daran gehindert.

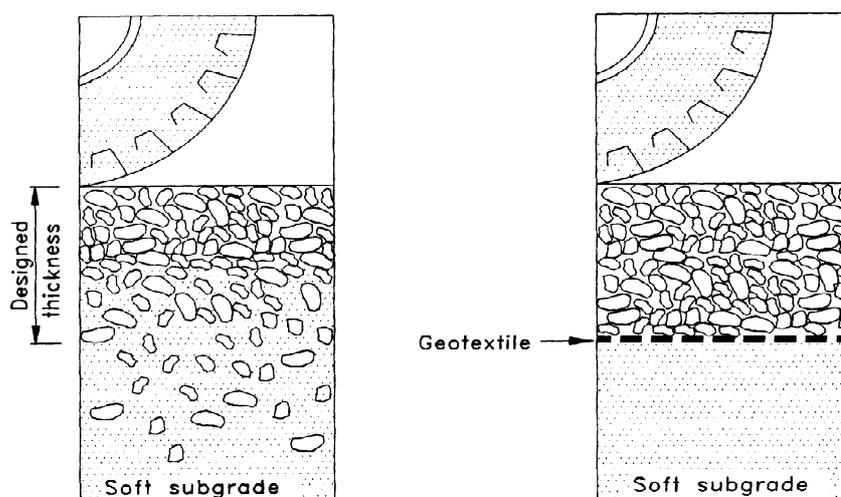


Abbildung 4.1: Wirkungsweise von Geokunststoffen durch die Funktionen Trennen und Filtern (Holtz et al. 1998)

Für die Bemessung von Geokunststoffen bezüglich *Trennen* und *Filtern* ist in Österreich die RVS 8S.01.2 (1997) anzuwenden. Für die mechanischen Anforderungen an Trenn- und Verstärkungsgeotextilien sind hierbei folgende Parameter maßgebend:

- Untergrund
- Schüttmaterial
- Verkehrsbelastung

Beim Untergrund wird in drei Kategorien unterschieden, wobei als entscheidender Parameter die Tragfähigkeit, ausgedrückt durch den statischen Verformungsmodul aus Erstbelastung  $E_{V1}$ , herangezogen wird (siehe Tabelle 4.1).

Untergrund	$E_{V1}$
U1	$\leq 5 \text{ MN/m}^2$
U2	5 - 15 $\text{MN/m}^2$
U3	$> 15 \text{ MN/m}^2$

Tabelle 4.1: Einteilung der Untergrundart (RVS 8S.01.2, 1997)

In Bezug auf die Verkehrsbelastung wird hierbei, in Anlehnung an die RVS 03.08.63, zwischen den Lastklassen I-IV und der Lastklasse V differenziert. Nachdem der Untergrund und die Verkehrsbelastung eingestuft sind, können die erforderlichen mechanischen Anforderungen an das Geotextil in Abhängigkeit von der Kornform und vom Größtkorn  $d_{\max}$  des Schüttmaterials bestimmt werden. Dabei ist für Rund- und Kantkorn mit einem Größtkorn bis 63 mm Tabelle 4.2 und für Kantkorn mit einem Größtkorn von über 63 mm Tabelle 4.3 anzuwenden (die in den Tabellen angegebenen Werte beziehen sich auf eine Schichtstärke der ersten Lage von 40 cm) (vgl. RVS 8S.01.2, 1997).

U	LKL gem. RVS 3.63	Höchstzugkraft	Höchstzugkraftdehnung	Stempeldruckkraft	Lochdurchmesser/ Kegelfallvers.	Pyramiden Durchdr.- Kraft (stat.)	Pyramiden Durchdr.- Kraft (dyn.)
		kN/m	%	N	mm	N	N
U1	LKL I - IV	$\geq 23$	$> 55$	$\geq 3850$	$< 15$	$\geq 1000$	$\geq 660$
	LKL V	$\geq 21$	$> 55$	$\geq 3500$	$< 16$	$\geq 900$	$\geq 600$
U2	LKL I - IV	$\geq 18,5$	$> 55$	$\geq 3000$	$< 17$	$\geq 750$	$\geq 510$
	LKL V	$\geq 15,5$	$> 55$	$\geq 2700$	$< 21$	$\geq 660$	$\geq 450$
U3	LKL I - IV	$\geq 13,5$	$> 55$	$\geq 2300$	$< 23$	$\geq 560$	$\geq 390$
	LKL V	$\geq 11$	$> 55$	$\geq 1850$	$< 27$	$\geq 490$	$\geq 310$

Tabelle 4.2: Mechanische Anforderungen an Geotextilien für Schüttmaterial Rund- oder Kantkorn  $d_{\max} \leq 63 \text{ mm}$  (RVS 8S.01.2, 1997)

U	LKL gem. RVS 3.63	Höchst- zugkraft	Höchst- zugkraft- dehnung	Stempel- durch- drückkraft	Lochdurch- messer/ Kegel- fallvers.	Pyramiden Durchdr.- Kraft (stat.)	Pyramiden Durchdr.- Kraft (dyn.)
		kN/m	%	N	mm	N	N
U1	LKL I - IV	≥ 26	> 55	≥ 4200	< 14	≥ 1140	≥ 750
	LKL V	≥ 23	> 55	≥ 3850	< 15	≥ 1000	≥ 660
U2	LKL I - IV	≥ 21	> 55	≥ 3500	< 16	≥ 900	≥ 600
	LKL V	≥ 18,5	> 55	≥ 3000	< 17	≥ 750	≥ 510
U3	LKL I - IV	≥ 15,5	> 55	≥ 2700	< 21	≥ 660	≥ 450
	LKL V	≥ 13,5	> 55	≥ 2300	< 23	≥ 560	≥ 390

Tabelle 4.3: Mechanische Anforderungen an Geotextilien für Schüttmaterial Kantkorn  $d_{\max} > 63\text{mm}$  (RVS 8S.01.2, 1997)

Aus entwässerungstechnischen Gründen müssen Trenn- und Verstärkungsgeotextilien auch eine gewisse Durchlässigkeit aufweisen. Hierbei ist darauf zu achten, dass in Hinsicht auf die Funktion *Filtern*, eine entsprechende Filterstabilität gegeben ist. Die RVS 8S.01.2 (1997) schreibt eine mechanische Filterstabilität im folgenden Bereich vor:

$$0,06 \text{ mm} \leq O_{90,w} \leq 0,2 \text{ mm}$$

$O_{90,w}$  ist dabei die wirksame Öffnungsweite des Geotextils und beschreibt jenen Korndurchmesser, bei dem 90% des Prüfbodens zurückgehalten werden. Bezüglich der hydraulischen Filterstabilität ist eine Durchlässigkeit normal zur Ebene von  $k_v \geq 1 \times 10^{-3} \text{ m/s}$  und eine Permittivität von  $\psi \geq 1 \text{ s}^{-1}$  einzuhalten (vgl. RVS 8S.01.2, 1997).

Neben den erwähnten Anforderungen müssen Trenn- und Verstärkungsgeotextilien auch eine Beständigkeit gegen Umwelteinflüsse (UV-Einstrahlung, chemische und biologische Einflüsse) aufweisen. Diesbezüglich, und in Hinsicht auf die mechanischen und hydraulischen Prüfungen, werden an dieser Stelle auf die RVS 8S.01.2 und die anzuwendenden Normen verwiesen.

#### 4.1.2. Bewehren

Der Vorteil des Bewehens durch Geokunststoffe liegt darin, dass dem Boden die fehlende Komponente der Zugkraftaufnahme gegeben wird. Durch diesen Effekt kann die Tragfähigkeit erhöht, sowie die Verformungen reduziert werden und somit die Lebensdauer von Straßen und sonstigen Verkehrsflächen verlängern. Die Wirkungsweise ist dabei jedoch etwas komplexer als jene des *Trennens* und *Filterns*. Nach Holtz et al. (1998) lässt sich der Nutzen einer Bewehrung in den nachstehenden Abbildungen dargestellt und anschließend beschriebenen Phänomenen zusammenfassen.

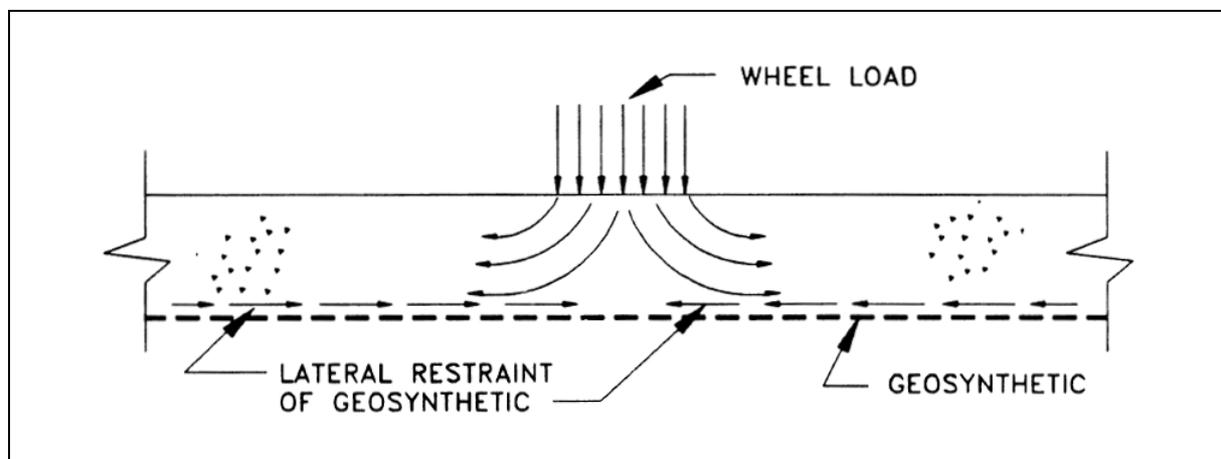


Abbildung 4.2: Entgegenwirken einer seitlichen Materialverschiebung (Holtz et al 1998)

Wird eine ungebundene Tragschicht durch ein Rad belastet, tendieren die Gesteinskörnungen unter der Auflast seitlich auszuweichen. Je schlechter die Tragfähigkeit (Scherfestigkeit) des Untergrundes, desto weniger wirkt er diesem Verhalten an der Oberfläche entgegen. Bei einem Untergrund mit geringer Tragfähigkeit besteht somit die Gefahr, dass sich an deren Oberfläche, sowie an jener der ungebundenen Tragschicht, Spurrinnen bilden. Durch die Einlage eines Geokunststoffes werden, bei guter Verbundwirkung mittels Verzahnung und/oder Reibung, Zugkräfte mobilisiert, welche die seitliche Verschiebung einschränken und somit eine Rinnenbildung verhindern können (vgl. Holtz et al. 1998).

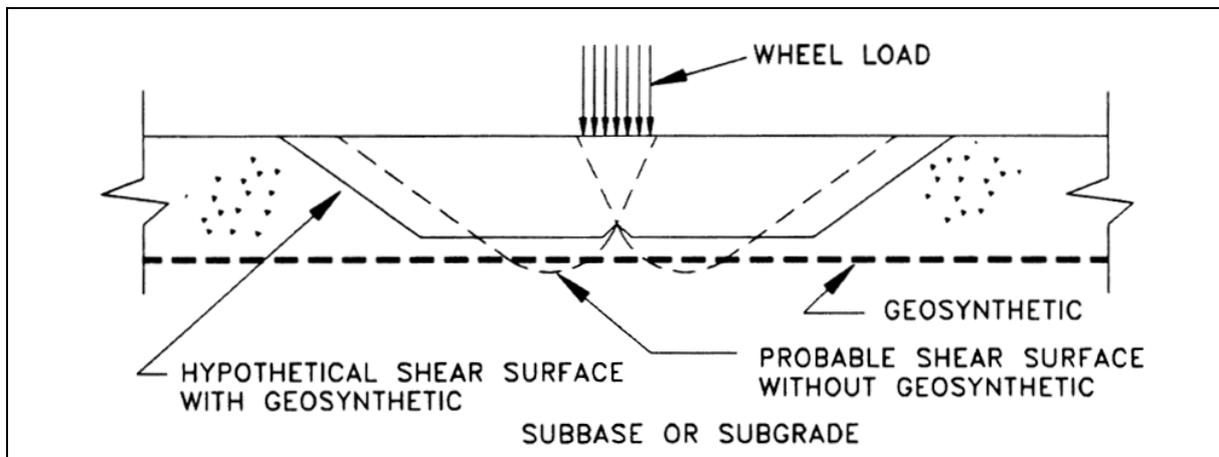


Abbildung 4.3: Erhöhung der Tragfähigkeit durch Umlenkung der Bruch- und Gleitflächen (Holtz et al 1998)

Bei Überschreitung der zulässigen Scherfestigkeit des Untergrundes, aufgrund zu hoher Auflast (Radlast), versagt die Tragfähigkeit und es kommt zu einer Bruch- beziehungsweise Gleitfläche. Geokunststoffe sind in der Lage die Scherkräfte an deren Fläche durch Zugkräfte umzulenken. Dadurch wird der Verlauf der Gleitfläche zu Gunsten einer höheren Tragfähigkeit der Straße verändert (vgl. Holtz et al. 1998).

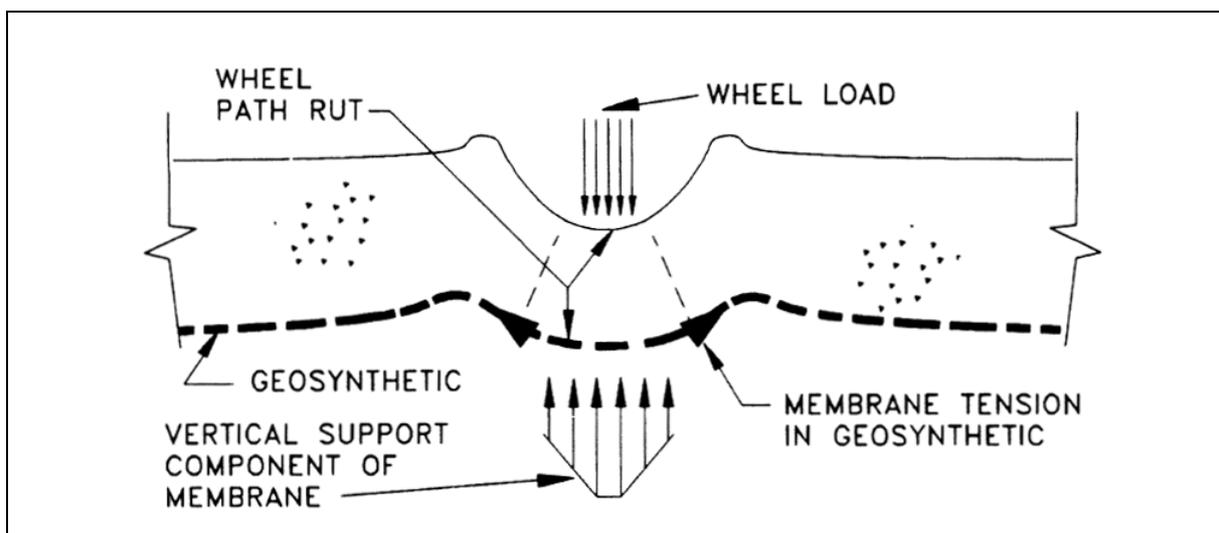


Abbildung 4.4: Verringerung der Spurrinnenbildung aufgrund der Membranwirkung (Holtz et al 1998)

Wird durch die Radlast eine Verformung (Spurrinne) im Untergrund verursacht, dehnt sich der Geokunststoff und es werden Zugkräfte freigesetzt, die der vom Rad verursachten Kraft

---

entgegenwirken. Je nach Höchstzugkraftdehnung des Geokunststoffes müssen hierbei jedoch zum Teil erhebliche Verformungen auftreten. Dieser Effekt kommt daher hauptsächlich bei unbefestigten Straßen zum Tragen (vgl. Holtz et al. 1998).

Für das Erreichen der gewünschten Wirkung und in Hinblick auf die Bemessung, sind die Kennwerte des Geokunststoffes, des Bodenmaterials, sowie deren Verbundwirkung maßgebend. Hierbei sind folgende Faktoren entscheidend und zu beachten:

**Zugfestigkeit des Geokunststoffes:** Die Anforderung ist hierbei in erster Linie, dass die Zugkraft höher als der Bemessungswert der Beanspruchung ist. Aufgrund des Einsatzes ist dabei die Langzeitzugfestigkeit ausschlaggebend. Diese wird ermittelt, indem die aus dem Streifenzugversuch gewonnene Kurzzeitzugfestigkeit durch Abminderungsfaktoren reduziert wird. Maßgebende Faktoren sind dabei laut Rügger et al. (2003):

- *Kriechen (Zeit, Temperatur)*
- *Einbau (Korngrößenverteilung, Kornform des Kontaktbodens, Tragfähigkeit des Verlegeplanums, Verdichtungsenergie)*
- *Anschlüsse (Art des Anschlusses bzw. der Verbindung, Zeit, Temperatur)*
- *Dauerhaftigkeit (Umgebungseinflüsse aus Boden und Wasser)*
- *Dynamische Beanspruchung*

Werte hierfür sind je nach Schüttmaterial und Produkt unterschiedlich und können zum Teil aus Rügger et al. (2003) entnommen werden.

**Kraft-Dehnungsverhalten des Geokunststoffes:** Damit Zugkräfte aktiviert werden können muss sich der Geokunststoff dehnen (Hookesches Gesetz). Je nach Höhe der Dehnung steigt die freigesetzte Zugkraft bis hin zur Höchstzugkraftdehnung. Für die aus der Bemessung erforderliche Zugfestigkeit des Geokunststoffes muss demnach die notwendige Dehnung gewährleistet sein. Nachdem bei Straßenaufbauten Verformungen unerwünscht sind, ist diesbezüglich auf eine geringe Höchstzugkraftdehnung zu achten. In Tabelle 4.4 sind Kurzzeitzugfestigkeit und Höchstzugkraftdehnung von Geokunststofffamilien angegeben. Hierbei soll es sich jedoch um einen groben Überblick handeln. Für genaue Werte der einzelnen Produkte sind Herstellerangaben zu beziehen.

Geokunststofffamilie		übliche Rohstoffe	üblicher Bereich der Zugfestigkeit	üblicher Bereich der HZK-Dehnung
			[kN/m]	[%]
gestreckte Geogitter	biaxial	Polypropylen	20 ... 50	10 ... 20
	einaxial	High Density Polyethylen	40 ... 200	10 ... 15
gelegte Geogitter		Polyethylenterephthalat	20 ... 600 <sup>1)</sup>	5 ... 10
		Polypropylen	20 ... 400	8 ... 15
gewobene Geogitter (Maschenweite > 5 mm, i.A. PVC- beschichtet)		Polyethylenterephthalat	30 ... 600 <sup>1)</sup>	10 ... 20
		Polyvinylalkohol	30 ... 600 <sup>1)</sup>	5 ... 10
		Aramid	20 ... 600 <sup>1)</sup>	3 ... 5
Multifil-Gewebe		Polyethylenterephthalat	30 ... 400 <sup>1)</sup>	10 ... 20
		Polyvinylalkohol	30 ... 400 <sup>1)</sup>	5 ... 10
		Polypropylen	50 ... 200 <sup>1)</sup>	15 ... 30
Monofil-Gewebe		Polyethylen	20 ... 50	15 ... 40
Bändchengewebe		Polypropylen	30 ... 100	15 ... 30
Vliese (z.T. isotrop)		Polypropylen	20 ... 120	30 ... 60
		Polyethylenterephthalat	20 ... 120	30 ... 60

<sup>1)</sup> für Spezialanwendungen können Produkte auch mit höheren Zugfestigkeiten hergestellt werden

**Tabelle 4.4: Zugfestigkeit und Höchstzugkraftdehnung von Geokunststoffprodukten für Bewehrungsaufgaben (Rüegger et al. 2003)**

**Tragfähigkeit des Untergrundes:** Die Tragfähigkeit beziehungsweise Scherfestigkeit des Untergrundes ist ein Maß für die Effektivität einer Bewehrung. Je geringer diese ist, desto mehr verformt sich der Untergrund unter Belastung, und umso höher ist die Dehnung des Geokunststoffes. Bei Erreichen der Höchstzugkraftdehnung kann dadurch die maximale Zugfestigkeit des Geokunststoffes mobilisiert werden und den Wirkungsgrad damit erhöhen. Eine schlechte Scherfestigkeit besitzen meist wassergesättigte, feinkörnige Böden, welche bei Kurzzeitbelastung undrainiert reagieren. Bei Bemessungsansätzen zählt deshalb oft die undrainierte Scherfestigkeit  $c_u$  als Kriterium. Böden mit einem Wert von  $c_u < 90 \text{ kN/m}^2$  weisen im Grunde genommen eine schlechte Tragfähigkeit auf.

**Verbundwirkung:** Maßgebend für die Kraftübertragung und somit für das Funktionieren einer Bewehrung ist eine gute Verbundwirkung zwischen Geokunststoff und dem Kontaktboden (Untergrund/Schüttmaterial, ev. Schüttmaterial/Schüttmaterial). Übertragen werden die Kräfte vorwiegend über Reibung (bei grobmaschigem Geogitter auch durch Verzahnung) und zu einem mäßigen Teil über Adhäsion infolge Kohäsion. Entscheidend für Reibung (Verzahnung) und Adhäsion sind dabei nach Rüegger et al. (2003):

- *Korngrößenverteilung des Kontaktbodens*
- *Reibung/Kohäsion des Kontaktbodens*
- *Öffnungs-/ Maschenweite des Geokunststoffes*
- *Oberflächenstruktur des Geokunststoffes*
- *Wasser in feinkörnigen, wenig durchlässigen Kontaktböden (Aufbau von Porenwasserüberdruck auf der Kontaktfläche)*

Die Verbundwirkung infolge Reibung und Kohäsion zwischen Geokunststoff und Boden kann mittels Scherversuch (einseitiges Gleiten), oder durch einen Ausziehversuch (zweiseitiges Ausziehen) ermittelt werden (vgl. Rügger et al. 2003).

Die vielen produktspezifischen und projektbezogenen (unterschiedliche Bodenverhältnisse) Einflussgrößen lassen erahnen, wie schwierig sich eine Bemessung gestalten lässt. Die Tatsache, dass es nach jahrzehntelanger Forschung noch nicht gelungen ist eine allgemein gültige Bemessungsmethode zu entwickeln, ist darauf zurückzuführen, dass sich der inhomogene, anisotrope Boden und das Verhalten des Geokunststoffes im eingebauten Zustand schwer bis nicht modellieren lassen. Man kann in diesem Fall also nur von Bemessungsansätzen und Abschätzungen reden, wobei hier Vorsicht geboten ist. Geokunststoffe für Bewehrungszwecke garantieren nicht immer für ein positives Ergebnis. Auf diese Tatsache sollte bei Bemessungsansätzen geachtet werden und bei Großprojekten durch Überprüfungen vor Ort kontrolliert werden. Neben einer Abschätzung der Wirkungen durch die Methode der finiten Elemente (FEM), gibt es Ansätze für eine Bemessung aufgrund diverser empirischer und analytischer Betrachtungen beziehungsweise durch analytische Modelle, welche durch Versuche modifiziert wurden. Ein Überblick wird hierin in Berg et al. (2000) und Perkins et al. (1997) gegeben.

## **4.2. Einbaulage**

Die Verwendung von Geokunststoffen im Straßenaufbau wird meist in Verbindung mit feinkörnigem bindigem Unterbau und/oder einem wenig tragfähigen Untergrund gebracht. Demzufolge ist die Haupteinbaulage von Geokunststoffen zwischen der ungebundenen unteren Tragschicht und einem feinkörnigen bindigen Unterbau sowie bei wenig tragfähigem Untergrund zwischen diesem und der ersten Schüttlage. Ansonsten können Geokunststoffe zur Verstärkung dort eingelegt werden, wo die Herstellung eines Planums erfolgt.

## 5. Grundlagen der Kostenermittlung (Kalkulation)

Basis jeder Kostenermittlung, meist als Kalkulation bezeichnet, ist eine Leistungsbeschreibung des Bauvorhabens durch den Bauherrn. Für Verkehrsflächen erfolgt dies vorwiegend über eine konstruktive Leistungsbeschreibung, in der die zu erbringenden Teilleistungen (Positionen) mit deren technischen Spezifikationen nach Gewerken aufgedgliedert werden (Leistungsverzeichnis). Für die Kostenermittlung der zu erbringenden Teilleistungen wird je nach Phase des Bauvorhabens zwischen folgenden Kalkulationsarten unterschieden:

**Angebotskalkulation:** Hierbei befindet sich der Auftragnehmer (ausführendes Unternehmen) im Wettbewerb mit anderen Bietern. Die Kostenermittlung baut in Bezug auf Bauverfahren, Arbeitsablauf und Baustoffpreise auf Annahmen und Erfahrungen auf. Eine genaue Ermittlung der Kosten ist aus Informationsmangel, Zeit- und Kostengründen kaum möglich (vgl. Hoffman et al. 2011).

**Auftragskalkulation (Vertragskalkulation):** Diese kommt im Zuge der Verhandlungen zwischen Bauherrn und des anbietenden Unternehmers bis zur Erteilung des Auftrages zum Einsatz. Sie stellt eine Überarbeitung der Angebotskalkulation dar, wenn Abweichungen zur ausgeschriebenen Leistung nach Qualität oder Umfang verhandelt wurden. Das daraus resultierende Ergebnis wird im Bauauftrag als Vertragssumme vereinbart (vgl. Hoffman et al. 2011).

**Nachtragskalkulation:** Treten während der Bauphase nachträglich gewünschte beziehungsweise notwendige Bauleistungen auf, welche nicht im Bauvertrag enthalten sind, oder ändert sich die Grundlage der Preisermittlung (bei Nichtverschulden des Auftragnehmers) durch beispielsweise Verlängerung der Vorhaltezeit der Baustelleneinrichtung, werden die Kosten durch eine Nachtragskalkulation ermittelt (vgl. Hoffman et al. 2011).

Neben den genannten Kalkulationen, die zur Ermittlung der Kosten und des Preises eines Bauvorhabens dienen, ist an dieser Stelle vollständigkeithalber noch die Arbeitskalkulation als Bestandteil der Arbeitsvorbereitung für eine wirtschaftliche Leistungserstellung und die Nachkalkulation für Soll-Ist-Vergleiche, Sammlung von Erfahrungswerten und Ermittlung von Selbstkostenerstattungspreisen und Kennzahlen zu erwähnen (vgl. Hoffman et al. 2011).

## 5.1. Kostengruppen

Die Kosten einer Bauleistung werden nach dem Verursachungsprinzip in Kostengruppen eingeteilt. Abbildung 5.1 gibt einen Überblick über die kostenrechnungstechnische Gliederung für die Kostenermittlung.

<b>Einzelkosten der Teilleistungen (EKT)</b>
<b>+ Baustellengemeinkosten (BGK)</b>
<hr/>
<b>= Herstellungskosten</b>
<b>+ Allgemeine Geschäftskosten (in % v. Hstk.)</b>
<hr/>
<b>= Selbstkosten</b>
<hr/> <hr/>

Abbildung 5.1: Gliederung der Kostengruppen für die Kostenermittlungen (eigenen Darstellung)

### 5.1.1. Einzelkosten der Teilleistung

Einzelkosten kennzeichnen sich dadurch aus, indem sie sich dem Kostenträger, sprich der erbrachten Teilleistung, unmittelbar zuteilen lassen (z.B. anfallende Gerätekosten und Lohnkosten für 1 m<sup>3</sup> Bodenaushub). Einzelkosten werden getrennt nach Kostenarten erfasst. Eine oft verwendete Kostenartengliederung ist jene nach:

- Lohn
- Sonstige Kosten
- Geräte
- Fremdleistung

Je nach Bauvorhaben können auch noch zusätzliche Kostenarten (z.B. Schalung, Rüstung, Verbau) verwendet werden (vgl. Hoffman et al. 2011).

Zur Bestimmung der Kostenarten im Zuge einer Kalkulation sollen möglichst realitätsnahe Werte angenommen werden. Dies erfordert vom Kalkulator neben dem bautechnischen Wissen vor allem praktische Erfahrung.

---

## 5.1.2. Baustellengemeinkosten

Können Kosten nicht direkt einer Leistung (Position) zugeordnet werden, handelt es sich um Gemeinkosten der Baustelle. Wie die Einzelkosten werden auch sie getrennt nach Kostenarten erfasst. Meist sind im Leistungsverzeichnis Positionen zur Erfassung von Baustellengemeinkosten vorhanden (z.B. Einrichten der Baustelle). In diesem Fall handelt es sich im Grunde genommen zwar um Gemeinkosten, sie haben aber den Charakter von Einzelkosten (Zurechenbarkeit einer Leistung). Abgesehen von dieser Tatsache gehören zu den Baustellengemeinkosten nach Hoffman et al. (2011) folgende Kosten:

### **Baustelleneinrichtung:**

#### Einmalige Kosten:

- *An- und Abtransport der Einrichtungen, Büros und Unterkünfte einschließlich Ladekosten*
- *Auf-, Um- und Abbau der Einrichtungen und Unterkünfte einschließlich Autokran*
- *An- und Abtransport der Hilfsstoffe, Schalung und Gerüste einschließlich Ladekosten am Bauhof und auf der Baustelle*
- *Herstellen und Beseitigen der befestigten Flächen, Gleisanlagen, Einzäunungen, Sicherungsanlagen und Schutzgerüste*
- *Verkehrslenkung*
- *Versorgungsanschlüsse einrichten und abbauen*
- *Bauschild*
- *Ausstattung der Büros und Unterkünfte*

#### Zeitabhängige Kosten:

- *Vorhalten der Einrichtungen, Büros und Unterkünfte*
- *Unterhalten der Einrichtungen, Büros und Unterkünfte*
- *Betriebsstoffe der Einrichtung*
- *Vorhalten der Gleis-, Sicherungsanlagen und Schutzgerüste*
- *Unterhalten der befestigten Flächen, der Gleisanlagen, Einzäunungen, Sicherungsanlagen und Schutzgerüste*
- *Versorgungsanschlüsse vor- und unterhalten*

---

## **Gerätekosten:**

### Einmalige Kosten:

- *An- und Abtransport der Geräte einschließlich Ladekosten und eventuell Autokran*
- *Auf-, Ab- und Umbau der Geräte*
- *Vorhaltekosten der Leistungsgeräte für Transport-, Auf- und Abbauzeiten*

### Zeitabhängige Kosten:

- *Vorhaltekosten der Bereitstellungsgeräte*
- *Bedienungs- und Pflegelöhne*
- *Betriebsstoffe der Bereitstellungsgeräte*

## **Allgemeine Baukosten:**

### Einmalige Kosten:

- *Technische Bearbeitung (Konstruktive Bearbeitung, Arbeitsvorbereitung, Baugrunduntersuchung, Beweissicherungen)*
- *Abrechnung und Vermessung*
- *Baustellenversicherungen (Bauwesen, Haftpflicht, sonstige Versicherungen)*

### Zeitabhängige Kosten:

- *Baustellengehälter (mit gehaltsgebundenen Kosten)*
- *Kleingeräte und Werkzeuge*
- *Verkehrskosten der Baustelle*
- *Kosten des Bürobedarfs (Verbrauchsmaterial, Porto, Telefon, Telefax, Reisekosten, Bewirtung und Werbung)*
- *Sonstige allgemeine Baukosten (Baustoffprüfung, Schuttcontainer, Bewachung durch Fremdunternehmer)*

## **Allgemeine Hilfslöhne (zeitabhängig):**

- *Magaziner und Elektriker*
- *Vermessungs- und Laborgehilfen*
- *Boten und Fahrer*
- *Bewachung durch Eigenpersonal*
- *Laufende Baureinigung*

- *Sonstige Hilfslöhne*

**Nebensstoffe und Nebenfrachten:**

- *Transporte zur Baustellenversorgung*
- *Sonstige Frachtkosten*

**Sonderkosten:**

- *Pachten, Mieten*
- *Lizenzkosten*
- *Winterbau*
- *Besondere Finanzierungskosten*
- *Besondere Wagnisse (objektspezifisch)*

**Bauzinsen:**

Bauzinsen berücksichtigen die Kosten, welche durch die zeitliche Verschiebung zwischen erbrachter Leistung und der Bezahlung durch den Bauherrn verursacht werden. Bauzinsen können bei gewöhnlicher Handhabung in den Baustellengemeinkosten oder aber auch in den allgemeinen Geschäftskosten erfasst werden (vgl. Hoffman et al. 2011).

**Bauschlussreinigung:**

Die Bauschlussreinigung kann als eigener Punkt betrachtet werden, oder in der Baustelleneinrichtung Berücksichtigung finden.

**Sonstiges:**

Die zuvor angeführten Kosten sind eine Zusammenfassung der üblichen Gemeinkosten eines Bauvorhabens. Projektspezifisch können jedoch auch noch andere Gemeinkosten auftreten, welche bei der Kalkulation beachtet werden müssen.

### **5.1.3. Allgemeine Geschäftskosten**

Mittels der allgemeinen Geschäftskosten werden die Betriebskosten des Firmenunternehmens abgedeckt. Sie werden als ermittelter Prozentsatz, bezogen auf den Umsatz, den Herstellungskosten zugeschlagen. Der betriebsabhängige Zuschlagsatz liegt in

etwa zwischen 8 und 20% (vgl. Hoffman et al. 2011). Zu den allgemeinen Geschäftskosten zählen zum Beispiel:

- *Geschäftsführung*
- *Allgemeine Verwaltung*
- *Personalbüro*
- *Buchhaltung*
- *Betriebsversicherungen*
- *Bauhof und Fuhrpark*
- *Betriebliche Ausbildung*
- *etc.*

## 5.2. Zuschläge

Der Zuschlag aus Wagnis und Gewinn macht die Kosten zu Preisen. Durch den steuerrechtlichen Zuschlag der Umsatzsteuer erhält man den Bruttopreis.

Einzelkosten der Teilleistung (EKT)
+ Baustellengemeinkosten (BGK)
<hr/>
= Herstellungskosten
+ Allgemeine Geschäftskosten (in % v. Hstk.)
<hr/>
= <b>Selbstkosten</b>
+ <b>Wagnis u. Gewinn (in % v. Hstk.)</b>
<hr/>
<b>Nettopreis</b>
+ <b>Umsatzsteuer (20%)</b>
<hr/>
<b>Bruttopreis</b>
<hr/> <hr/>

Abbildung 5.2: Zuschläge auf die Selbstkosten zur Preisermittlung (eigene Darstellung)

### 5.2.1. Wagnis und Gewinn

Wie bei den allgemeinen Geschäftskosten werden auch Wagnis und Gewinn, in Bezug auf den Umsatz, als Prozentsatz den Herstellungskosten zugeschlagen. Unter Wagnis werden

---

hierbei die Risiken des Unternehmens als Ganzes durch beispielsweise Konjunkturschwankungen oder der Abhängigkeit bei Vergabe- und Investitionsverhalten beherrschender Auftraggeber kompensiert (vgl. Hoffman et al. 2011). Der Gewinn erklärt sich aus wirtschaftlicher Sicht von selbst.

### 5.2.2. Umsatzsteuer

Aus steuerrechtlichen Gründen schuldet das Unternehmen dem Staat die Umsatzsteuer. Diese besteuert den Mehrwert (Mehrwertsteuer), den der Auftragnehmer durch seine Leistungen erbracht hat. Leistungen und Lieferungen, die im Zuge der Bauausführung durch Dritte (z.B. Subunternehmer) erbracht wurden, kann der Auftragnehmer als Vorsteuer von seiner Steuerschuld abziehen, weshalb bei Kalkulationen stets die Nettopreise herangezogen werden (vgl. Hoffman et al. 2011). Durch den Zuschlag der Umsatzsteuer, die derzeit in Österreich bei 20% liegt, erhält man den Bruttopreis.

### 5.3. Kalkulationsmethoden

Bei den im Bauwesen verwendeten Kalkulationsverfahren handelt es sich aus Sicht der Kostenrechnung um eine Vollkostenrechnung. Alle Kosten (variable Kosten und Fixkosten), welche für eine Leistungserstellung auftreten, werden den Kostenträgern (Positionen) möglichst direkt zugerechnet. Einzelkosten können den Positionen direkt zugerechnet werden. Gemeinkosten, die keiner Position wie zum Beispiel „*Einrichten der Baustelle*“ zugeordnet werden können, müssen durch einen Umlageschlüssel auf die einzelnen Teilleistungen zugeschlagen werden. Wie die grundsätzliche Verteilung der Gemeinkosten erfolgt ist dem Unternehmen zu überlassen und bietet Möglichkeiten für strategische Überlegungen. Allgemeine Geschäftskosten werden mittels Verrechnungssatz in den Positionen berücksichtigt (vgl. Hoffman et al. 2011).

Durch die Charakteristik handelt es sich bei der Kostenermittlung um eine Zuschlagskalkulation. Hierbei wird in Hoffman et al. (2011) zwischen zwei Vorgehensweisen unterschieden.

- *Kalkulation mit Zuschlagsermittlung über die Endsumme (Umlagekalkulation)*
- *Kalkulation mit vorberechneten Zuschlägen (Zuschlagskalkulation)*

---

### 5.3.1. Kalkulation mit Zuschlagsermittlung über die Endsumme

Diese Methode lässt sich in drei Teile gliedern und funktioniert folgendermaßen:

- 1.) Für jede Position aus dem Leistungsverzeichnis werden die Einzelkosten, getrennt nach den Kostenarten (z.B. Lohn, Sonstige Kosten, Geräte, Fremdleistungen), ermittelt und aufsummiert. Des Weiteren werden die Gemeinkosten für das betreffende Bauvorhaben errechnet. Die Angebotssumme ergibt sich dann durch die Addition der Einzelkosten, Gemeinkosten und den vorbestimmten Zuschlagsätzen aus den allgemeinen Geschäftskosten, Wagnis und Gewinn.
- 2.) Ermittlung eines auf die Einzelkosten bezogenen Zuschlages aus Baustellengemeinkosten, allgemeine Geschäftskosten, Wagnis und Gewinn. Dabei können die Zuschlagsätze für die einzelnen Kostenarten variieren (z.B. bei Lohn und Geräte höherer Zuschlagsatz durch ein geräteintensives Bauvorhaben im Straßenbau).
- 3.) Durch die zugeschlagenen Sätze auf die Einzelkosten können die Einheitspreise und Positionspreise ermittelt werden (vgl. Hoffman et al. 2011).

### 5.3.2. Kalkulation mit vorberechneten Zuschlägen

Eine vereinfachte Methode stellt die Kalkulation mit vorberechneten Zuschlägen dar. Hierbei werden die Zuschlagssätze aus vergleichbaren Projekten oder aus dem Gesamtbetrieb (z.B. durch Kostenermittlung am Ende des Jahres gegliedert in Kostengruppen) vorberechnet und den Einzelkosten, getrennt nach deren Kostenarten, direkt zugeschlagen. Bei dieser Methode ist jedoch aufgrund der nicht objektspezifischen Berechnung der Zuschläge Vorsicht geboten (vgl. Hoffman et al. 2011).

### 5.3.3. Pauschalpreisangebote

Bei Pauschalpreisangeboten wird eine Angebotssumme für die gesamte Bauleistung geboten und erfordert somit keine Umlage beziehungsweise Zuschläge der Baustellengemeinkosten auf die Teilleistungen. Die Summe ergibt sich durch die Berechnung der Einzelkosten, Baustellengemeinkosten sowie den Zuschlägen aus den allgemeinen Geschäftskosten, Wagnis und Gewinn (vgl. Hoffman et al. 2011).

## **6. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einer Geokunststoffbewehrung für ungebundene Tragschichten im Aufbau von Parkflächen**

Hinsichtlich einer wirtschaftlichen Betrachtung zweier Ausführungsvarianten ist es vor allem im Bauwesen schwierig eine allgemeine Aussage zu tätigen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass jedes Bauvorhaben ein Unikat darstellt. Die Rahmenbedingungen sind meist unterschiedlich und haben dementsprechende Auswirkungen auf die Kalkulation und im Weiteren auf die Herstellungskosten und den Preis. In den Überlegungen des folgenden Kapitels ist deshalb auf die gewählten Ansatzwerte und Preise zu achten und auf diese Rücksicht zu nehmen. Um aus kalkulatorischen Gründen die Überlegungen ein wenig einzugrenzen handelt es sich bei den Projektvorhaben um großflächige Parkplätze (z.B. Park and Ride Anlagen) im Raum Graz und Graz Umgebung. Die Betrachtungen beziehen sich auf eine Schüttstärkeneinsparung im Falle einer notwendigen Bodenauswechslung (bei einem Geländeeinschnitt gleichzustellen mit einer Erhöhung der Frostschutzschicht) zum Einen und zum Anderen auf die erforderliche Lebensdauer des Oberbaues, um den Einsatz einer Geokunststoffbewehrung aus wirtschaftlicher Sicht zu rechtfertigen.

### **6.1. Geokunststoffbewehrung bei Bodenauswechslungen (Erhöhung der Frostschutzschicht)**

Können durch eine normale Verdichtung des anstehenden Bodens die Anforderungen an den Unterbau (siehe Tabelle 3.1) nicht erfüllt werden, muss dieser gemäß RVS 08.03.01 verfestigt beziehungsweise verbessert werden, oder die Dicke der Tragschichten (Frostschutzschicht) vergrößert werden. In den folgenden Überlegungen wird davon ausgegangen, dass bei einem Geländeeinschnitt der anstehende Boden durch normales Verdichten nicht die geforderten Werte des Unterbauplanums erreichen kann und somit aufgrund dessen Eigenschaften eine Bodenauswechslung (Erhöhung der Frostschutzschicht) notwendig ist. Nachdem eine Geokunststoffbewehrung die Tragfähigkeit erhöhen soll, kann die erforderliche Schüttstärke durch dessen Einlage minimiert werden (siehe Abbildung 6.1). In den folgenden Abschnitten werden hierfür wirtschaftliche Überlegungen angestellt.

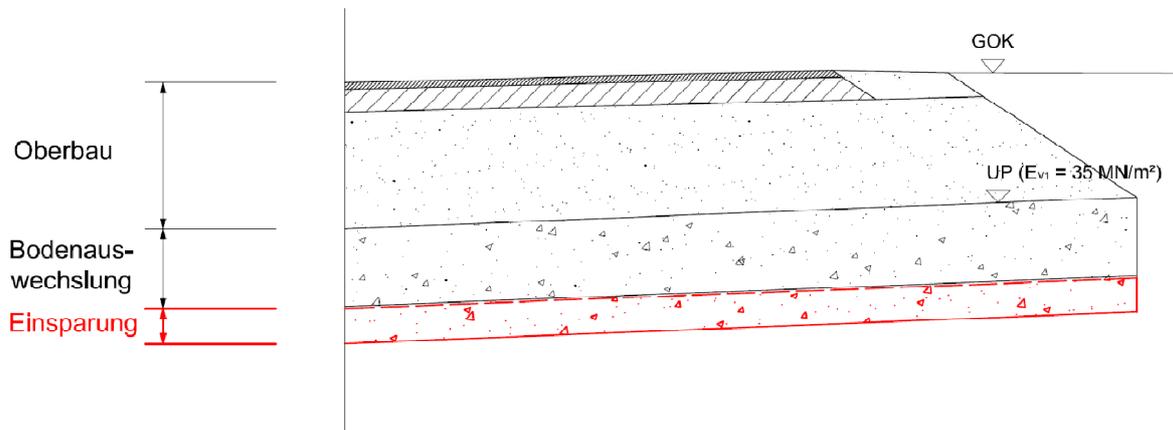


Abbildung 6.1: Einsparung der Bodenauswechslungsstärke aufgrund einer Geokunststoffbewehrung (eigene Darstellung)

### 6.1.1. Bauablauf und notwendige Teilleistungen (Positionen)

Für die Überlegungen sind nur die zu erbringenden Leistungen der beiden Bauweisen (mit und ohne Geokunststoffeinlage) von Interesse, welche einen Unterschied hinsichtlich der Herstellungskosten bewerkstelligen. Diese sind:

- Bodenauswechslung Bodenklasse 2-5 abtragen + laden
- Bodenauswechslung Bodenklasse 2-5 wegschaffen
- **Geokunststoff verlegen (nur bei Bauweise mit Geokunststoffeinlage)**
- Schüttmaterial für Bodenauswechslung liefern
- Schüttmaterial für Bodenauswechslung einbauen
- (Zeitgebundene Baustellengemeinkosten)

Der für die genannten Teilleistungen zugehörige Bauablauf ist in Abbildung 6.2 dargestellt. Dabei wird aufgrund der Vollständigkeit auch die Position „Planum für Bodenauswechslung herstellen“ dargestellt, die jedoch wegen der Gleichwertigkeit in beiden Bauweisen keine Auswirkungen auf den Kostenvergleich hat.

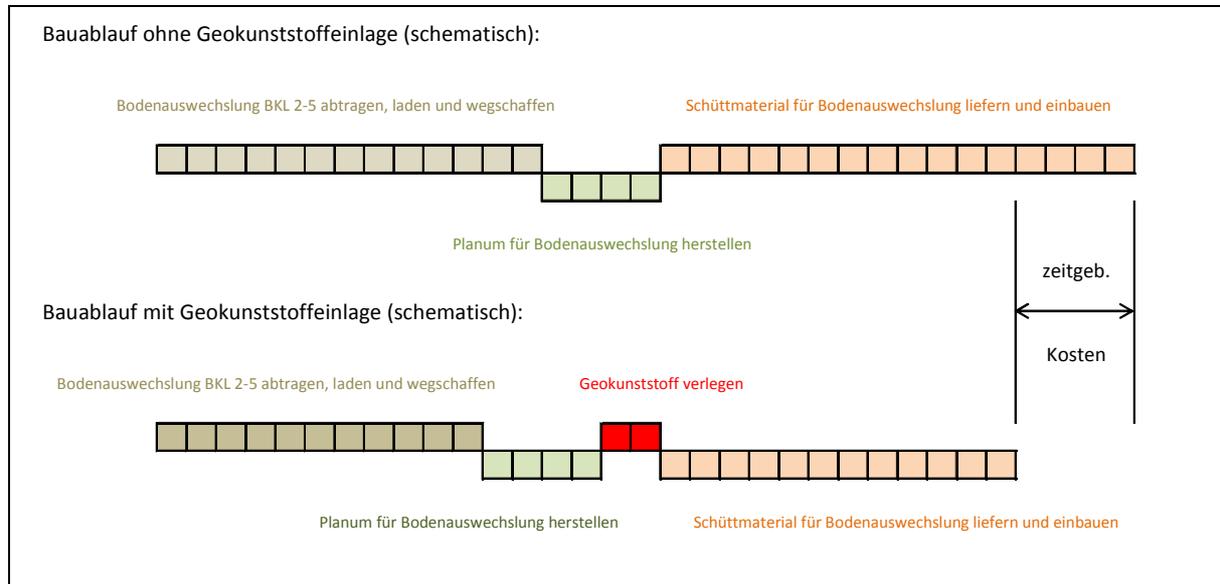


Abbildung 6.2: Schematischer Bauablauf mit erforderlichen Positionen der unterschiedlichen Bauweisen (eigene Darstellung)

### 6.1.2. Leistungsansätze

Je nach Art, Umfang und Randbedingungen der zu erbringenden Leistungen ist die Wahl bezüglich Anzahl der Arbeitskräfte und Nutzleistungen (Größenordnung) der Gerätschaften so zu treffen, dass eine möglichst wirtschaftliche Durchführung der Arbeiten gewährleistet wird. Diesbezügliche Überlegungen und die damit verbundenen Leistungsansätze basieren in der Praxis auf Erfahrungswerten des Betriebes beziehungsweise Kalkulators. Da im Zuge dieser Arbeit keine Erfahrungswerte vorliegen, werden übliche Geräte für vorliegende Bauvorhaben gewählt und die Leistungsansätze mit Hilfe der *Zahlentafeln für den Baubetrieb* (Hoffman et al. 2011) ermittelt.

Die für die Leistungserbringung erforderlichen Geräte sind:

- Hydraulikbagger mit Raupenfahrwerk für Abtrag Bodenauswechslung
- Lastkraftwagen-Hinterkipper (4-Achser) für Material wegschaffen und liefern
- Planierraupe für Einbau Bodenauswechslung
- Walzenzug für Verdichtungsarbeiten
- Hydraulikbagger auf Rädern für Hebearbeiten beim Verlegen des Geokunststoffes

---

### Hydraulikbagger mit Raupenfahrwerk:

Für den Abtrag der Bodenauswechslung wird ein Hydraulikbagger (Raupenfahrwerk) mit einer Motorleistung von 115 Kilowatt (ca. 24 Tonnen Einsatzgewicht) herangezogen. Jener Klasse entspricht der Hydraulikbagger in Abbildung 6.3.



Abbildung 6.3: Hydraulikbagger (Liebherr R916) für Abtrag und Laden der Bodenauswechslung (73)

Der Leistungsansatz beträgt  $95 \text{ m}^3$  feste Masse/Stunde. Die Berechnung ist in Abbildung 6.4 zusammengefasst.

**Nutzleistung Hydraulikbagger für Bodenauswechslung abtragen und laden:**

<b>Grundleistung:</b>	$Q_B = V_R \cdot f_L \cdot n \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4$	=	<b>160,70 m<sup>3</sup> feste Masse/h</b>
<b>Nutzleistung:</b>	$Q_A = Q_B \cdot f_E$	=	<b>120,52 m<sup>3</sup> feste Masse/h</b>
<b>angesetzte Leistung:</b>	<b>(aufgr. Arbeitskette 80% Q<sub>A</sub>)</b>	=	<b>95,00 m<sup>3</sup> feste Masse/h</b>

Ladefaktor:  $f_L = f_F / f_S$  = 1,01

Löffelinhalt  $V_R$ : 1,00 [m<sup>3</sup>]

Füllungsfaktor  $f_F$ : 1,20 (Bodenklasse 4)

Auflockerungsfaktor  $f_S$ : 1,19 (Bodenklasse 4, mitteldichte Lagerung)

Spielzahl  $n$ : 192 [1/h] (Tieföffel, Bodenklasse 4)

Einsatzfaktoren:

Schwenkwinkel  $f_1$ : 1,00 (90°)

Grabtiefe  $f_2$ : 1,00 (1m)

Entleerung  $f_3$ : 0,83 (Volumenverhältnis LKW/Tieföffel > 6)

Einsatzart  $f_4$ : 1,00 (behinderungsfreies Arbeiten)

Nutzleistungsfaktor  $f_E$ : 0,75 (Baustellenbedingungen gut, Betriebsbedingungen gut)

Abbildung 6.4: Leistungsermittlung für Hydraulikbagger (Raupefahrwerk)

**Lastkraftwagen-Hinterkipper (4-Achser):**

Das Wegschaffen des Bodenmaterials (Bodenauswechslung) und das Liefern des einzubauenden Schüttmaterials erfolgt durch Lastkraftwagen-Hinterkipper (Vierachser).



Abbildung 6.5: LKW-Hinterkipper (Vierachser) für Material wegschaffen und liefern (74)

Entscheidend für den Leistungsansatz ist hierbei der Nenninhalt der Mulde, welcher sich aus der zulässigen Nutzlast und der Lagerungsdichte des zu liefernden Materials ergibt, sowie die Umlaufzeit der Lastkraftwagen. Einen Überblick der errechneten Ansätze gibt Abbildung 6.6, wobei die Umlaufzeiten für 5, 10 und 20 Kilometer Transportweg (eine Strecke) berechnet sind.

<b>Nenninhalt der Mulde und Umlaufzeiten Vierachser für Wegschaffen und Liefern:</b>				
zulässiges Gesamtgewicht zg:				32,0 [to]
Eigengewicht eg:				12,0 [to]
zulässige Nutzlast znl:	$znl = zg - eg$			20,0 [to]
Lagerungsdichte Bodenaushubmaterial $\rho_B$ :				1,7 [to/m <sup>3</sup> ]
Lagerungsdichte Schüttmaterial $\rho_S$ :				2,0 [to/m <sup>3</sup> ]
Nenninhalt der Mulde (wegschaffen):	$znl/\rho_B$			11,8 [m <sup>3</sup> feste Masse]
Nenninhalt der Mulde (liefern):	$znl/\rho_S$			10,0 [m <sup>3</sup> feste Masse]
<b>ang. Nenninhalt Mulde (wegschaffen):</b>				<b>11,0 [m<sup>3</sup> feste Masse]</b>
<b>ang. Nenninhalt Mulde (liefern):</b>				<b>9,0 [m<sup>3</sup> feste Masse]</b>
mittl. Geschw. beladen $v_V$ :				40 [km/h]
mittl. Geschw. leer $v_L$ :				50 [km/h]
Kippzeit $t_K$ :				0,6 [min] (0,5 - 0,7 min)
Wagenwechselzeit am Ladegerät $t_W$ :				0,5 [min] (0,3 - 0,5 min)
Grundleistung Ladegerät $Q_B$ :				120 [m <sup>3</sup> feste Masse/h]
<b>Umlaufzeit wegschaffen:</b>		<b>5 km</b>	<b>10 km</b>	<b>20 km</b>
Dauer der Leerfahrt $t_L$ :	$t_L = L * 60 / v_L$	6,0	12,0	24,0 [min]
Dauer der Lastfahrt $t_V$ :	$t_V = L * 60 / v_V$	7,5	15,0	30,0 [min]
Beladezeit $t_B$ :	$t_B = V_R * 60 / Q_B$	5,5	5,5	5,5 [min]
Umlaufzeit t:	$t = t_B + t_V + t_K + t_W + t_L$	20,1	33,6	60,6 [min]
<b>Umlaufzeit t:</b>	<b><math>t = (t_B + t_V + t_K + t_W + t_L)/60</math></b>	<b>0,34</b>	<b>0,56</b>	<b>1,01 [h]</b>
<b>Umlaufzeit liefern:</b>		<b>5 km</b>	<b>10 km</b>	<b>20 km</b>
Dauer der Leerfahrt $t_L$ :	$t_L = L * 60 / v_L$	6,0	12,0	24,0 [min]
Dauer der Lastfahrt $t_V$ :	$t_V = L * 60 / v_V$	7,5	15,0	30,0 [min]
Beladezeit $t_B$ :	$t_B = V_R * 60 / Q_B$	4,5	4,5	4,5 [min]
Umlaufzeit t:	$t = t_B + t_V + t_K + t_W + t_L$	19,1	32,6	59,6 [min]
<b>Umlaufzeit t:</b>	<b><math>t = (t_B + t_V + t_K + t_W + t_L)/60</math></b>	<b>0,32</b>	<b>0,54</b>	<b>0,99 [h]</b>

Abbildung 6.6: Nenninhalt der Mulden und Umlaufzeiten für Vierachser

## Planierraupe:

Das Schüttmaterial für die Bodenauswechslung wird mit einer Planierraupe eingebaut, die in einer Größenordnung vergleichbar mit der in Abbildung 6.7 abgebildeten Liebherr PR 714 ist.



Abbildung 6.7: Planierraupe (Liebherr PR 714) für Einbau Schüttmaterial Bodenauswechslung (75)

Die vorliegende Motorleistung des gewählten Gerätes liegt bei 90 Kilowatt (ca. 14 Tonnen Einsatzgewicht) und ergibt nach Berechnungen (siehe Abbildung 6.8) eine Einbauleistung von 95 m<sup>3</sup> feste Masse/Stunde.

### Nutzleistung Planierraupe für Einbau Schüttmaterial:

<b>Grundleistung:</b>	$Q_B = V_R \cdot f_L \cdot n \cdot f_1 \cdot f_2$	=	<b>157,50 m<sup>3</sup> feste Masse/h</b>
<b>Nutzleistung:</b>	$Q_A = Q_B \cdot f_E$	=	<b>118,13 m<sup>3</sup> feste Masse/h</b>
<b>angesetzte Leistung:</b>	<b>(aufgr. Arbeitskette 80% Q<sub>A</sub>)</b>	=	<b>95,00 m<sup>3</sup> feste Masse/h</b>
Ladefaktor:	$f_L = f_F / f_S$	=	0,83
Schildfüllung $V_R$ :	2,70	[m <sup>3</sup> ]	
Füllungsfaktor $f_F$ :	1,00	(Schüttmaterial Lieferzustand)	
Auflockerungsfaktor $f_S$ :	1,2	(Schüttmaterial, Einbauzustand)	
Spielzahl $n$ :	100	[1/h] (mittlere Förderweite 20m)	
Schildform $f_1$ :	0,70	(A-Schild)	
Neigung Förderweg $f_2$ :	1,00	(0%)	
Nutzleistungsfaktor $f_E$ :	0,75	(Baustellenbedingungen gut, Betriebsbedingungen gut)	

Abbildung 6.8: Einbauleistung Planierraupe

### Walzenzug:

Für die Verdichtungsarbeiten wird ein Walzenzug mit einem Betriebsgewicht von 11 Tonnen und einer Arbeitsbreite von 2130 mm eingesetzt. Dies entspricht der Klasse einer Bomag BW 211 (siehe Abbildung 6.9), die für mittlere bis schwere Verdichtungsarbeiten eingesetzt wird.



Abbildung 6.9: Walzenzug (Bomag BW 211) für Verdichtungsarbeiten (76)

Im Hinblick auf die Kalkulation ist es notwendig, die Flächenleistung des Walzenzuges mit Hilfe der Schüttagendicke auf eine Mengenleistung in  $\text{m}^3$  umzurechnen. Nachdem in den Überlegungen die Stärke der Bodenauswechslung jedoch variabel ist, fehlt hierbei der Bezug. Als Annahme wird ein Leistungseinsatz des Walzenzuges mit 70 % der Einbaudauer angesetzt, wodurch  $135 \text{ m}^3$  feste Masse/Stunde verdichtet werden. Dies entspricht bei einer Nutzleistung von  $380 \text{ m}^2/\text{h}$  (siehe Abbildung 6.10) einer mittleren Einbaustärke von etwa 35 cm.

**Nutzleistung Walzenzug für Verdichtungsarbeiten:**

<b>Grundleistung:</b>	$Q_{BA} = b' \cdot v \cdot 1/z$	<b>511,20 m<sup>2</sup>/h</b>
<b>Nutzleistung:</b>		
<b>Flächenleistung:</b>	$Q_{AA} = Q_{BA} \cdot f_E$	<b>383,40 m<sup>2</sup>/h</b>
<b>Mengenleistung d=50cm:</b>	$Q_{AV} = Q_{AA} \cdot d$	<b>191,70 m<sup>3</sup>/h</b>
<b>Mengenleistung d=40cm:</b>	$Q_{AV} = Q_{AA} \cdot d$	<b>153,36 m<sup>3</sup>/h</b>
<b>Mengenleistung d=30cm:</b>	$Q_{AV} = Q_{AA} \cdot d$	<b>115,02 m<sup>3</sup>/h</b>
<b>Mengenleistung d=20cm:</b>	$Q_{AV} = Q_{AA} \cdot d$	<b>76,68 m<sup>3</sup>/h</b>

wirksame Arbeitsbreite b`:	1,70	[m] (0,8 fache der Walzenbreite b=2130mm)
Arbeitsgeschwindigkeit v:	1.500	[m/h] (Annahme: 25m/min)
Zahl der Übergänge z:	5	
Nutzleistungsfaktor f <sub>E</sub> :	0,75	(Baustellenbedingungen gut, Betriebsbedingungen gut)

**Abbildung 6.10: Flächen- und Mengenleistung für Verdichtungsarbeiten**
**Hydraulikbagger auf Räder:**

Geotextilien, Geogitter oder deren Verbundstoff werden in Rollen angeliefert und durch Ausrollen, in der Regel von zwei Bauarbeitern, verlegt. Das Rollengewicht, abhängig vom Produkt und verpackter Fläche, kann dabei bis zu 300 kg oder mehr betragen. Für Hebearbeiten wird deshalb ein Hydraulikbagger, der auch für andere Leistungen wie zum Beispiel Entwässerungs- und Kabelgrabarbeiten eingesetzt werden kann, angesetzt. Die Motorleistung beträgt 60 Kilowatt bei einem Einsatzgewicht von ca. 13 Tonnen (in etwa ein Liebherr A 309). Da der Einsatz nur auf Hebearbeiten begrenzt ist, wird dieser bei der Position „Geokunststoff verlegen“ nur mit der Hälfte der Verlegezeit kalkuliert. Der Leistungsansatz wird bei den betrachtenden Bauvorhaben mit 1000 m<sup>2</sup>/Stunde angenommen. Durch eine notwendige Überlappung der Geokunststoffbahnen wird auf die Fläche 10% zugeschlagen.



Abbildung 6.11: Hydraulikbagger auf Räder (Liebherr A 309) für Hebearbeiten bei Geokunststoffverlegung (77)

### Arbeitskräfte:

Neben den Maschinisten werden bei den betrachteten Teilleistungen zwei Arbeitskräfte für die Verlegung des Geokunststoffes und bei der Position „Schüttmaterial für Bodenauswechslung einbauen“ eine Arbeitskraft mit 30% Lohnstundenanteil zur Unterstützung für einen höhengerechten Einbau einkalkuliert.

### 6.1.3. Gerätepreise

Die Vorhaltekosten der Geräte werden mit Hilfe der Österreichischen Baugeräteliste (ÖBGL 2009) ermittelt. Es erfolgt somit eine lineare Abschreibung des mittleren Neuwertes bezogen auf das Anschaffungsjahr (bilanzielle Abschreibung) und eine einfache gleichmäßige Zinsrechnung. Weitere Punkte sind im Folgenden zusammengefasst:

- Anschaffungsjahr der Geräte ist 2007
- Aufgrund der hoch angesetzten Werte in der ÖBGL, wird bei Abschreibung und Verzinsung mit 40% und bei den Reparaturkosten mit 60% kalkuliert.

- Reparaturkosten werden mit 60% und 40% auf die Kostenarten Lohn und Stoff verteilt.
- Für Wartungsarbeiten wird auf die Lohnstunde 10% zugeschlagen.
- Treibstoffkosten werden mit 0,08 (Vierachser) bzw. 0,16 Liter/kWh und mit 1,25 €/Liter angenommen. Kosten für Schmierstoffe werden mit 10% der Treibstoffkosten berücksichtigt.
- Der Zuschlag für allgemeine Geschäftskosten, Wagnis und Gewinn beträgt bei allen Kostenarten 11% (12,36% v. Hstk).

Die Gerätepreise werden mittels Kalkulationsformblätter berechnet, welche im Punkt 9.2 für alle Geräte ersichtlich sind. Einen Überblick der Preise stellt Abbildung 6.12 dar.

<b>Gerätepreise:</b>			
<b>Gerät:</b>	<b>Lohn [€/h]</b>	<b>Sonstiges [€/h]</b>	<b>Gerätepreis [€/h]</b>
Hydraulikbagger 115 kW	49,50	50,16	99,66
Hydraulikbagger 60 kW	46,23	29,07	75,30
Planierdraupe 90 kW	54,71	49,14	103,85
Walzenzug 11 to	46,57	38,01	84,58
LKW Vierachser	49,87	45,32	95,19

Abbildung 6.12: Preise der eingesetzten Gerätschaften

In Bezug auf die hier dargelegten Gerätepreise sei darauf hingewiesen, dass trotz Abminderung der ÖBGL-Werte, die Preise in der Praxis üblicherweise geringer sind. Nachdem die Kalkulationsansätze jedoch firmenspezifisch sind und diesbezüglich keine Informationen bekannt sind, wird darauf keine Rücksicht genommen und mit den theoretisch ermittelten Preisen kalkuliert.

#### 6.1.4. Mittellohnpreis

Der eingesetzte Mittellohnpreis für die Kalkulation beträgt 36,28 €/Stunde. Die für die Preisermittlung (siehe Punkt 9.1) entscheidenden Parameter sind:

- Die Mannschaft besteht aus einem Facharbeiter, einem Bauhilfsarbeiter und aufgrund der geräteintensiven Leistungserbringung aus 10 angelernten Bauarbeitern (Maschinisten). Das unproduktive Personal wird in den Baustellengemeinkosten erfasst.
- Der überkollektivvertragliche Mehrlohn beträgt 9,7%.
- Es wird mit einer Normalarbeitszeit von 39 h/Wo gerechnet (keine Überstunden oder Mehrarbeit).
- Die Aufzahlung für Erschwernisse ergibt sich aus Schmutz- und Abbrucharbeiten und wird mit 10% Zuschlag für die gesamte Mannschaft mit einberechnet.
- Aufgrund der Arbeitszeiten erhält die gesamte Belegschaft ein „Taggeld klein“ von 9,43 €/Tag. Übernachtungsgeld und Fahrtkostenvergütung entfällt, da eine tägliche Heimfahrt mit einem Mannschaftsbus erfolgt.
- Folgende %-Sätze werden auf den Mittellohn zugeschlagen:  
Direkte Lohnnebenkosten 26,90%  
Umgelegte Lohnnebenkosten 81,69%  
Andere lohngedundene Kosten 11,50%
- Der Zuschlag durch allgemeine Geschäftskosten, Wagnis und Gewinn beträgt 11% (12,36% v. Mittellohnkosten).

#### 6.1.5. Schüttmaterial- und Deponiepreise

Nachdem sich die betrachteten Bauvorhaben auf den Raum Graz und Graz-Umgebung begrenzen, wird mit den dort vorhandenen Schüttmaterial- und Deponiepreisen kalkuliert. Anfragen wurden bei folgenden Werken durchgeführt:

- Steinbruch Harrer (Steinbruch Harrer Betriebs. Gmbh), 8102 Semriach
- Steinbruch Weinitzen (Tieber GmbH), 8045 Graz
- Steinbruch Gratkorn (Tieber GmbH), 8101 Gratkorn
- Kanzel Steinbruch (Kanzel Steinbruch Dennig GmbH), 8101 Gratkorn
- Kieswerk Neu-Pirka (Kratochwill Schotter & Beton GmbH), 8073 Neu-Pirka

- Kieswerk Unterpremstätten (Karl Schwarzl Betriebs. GmbH), 8141 Unterpremstätten

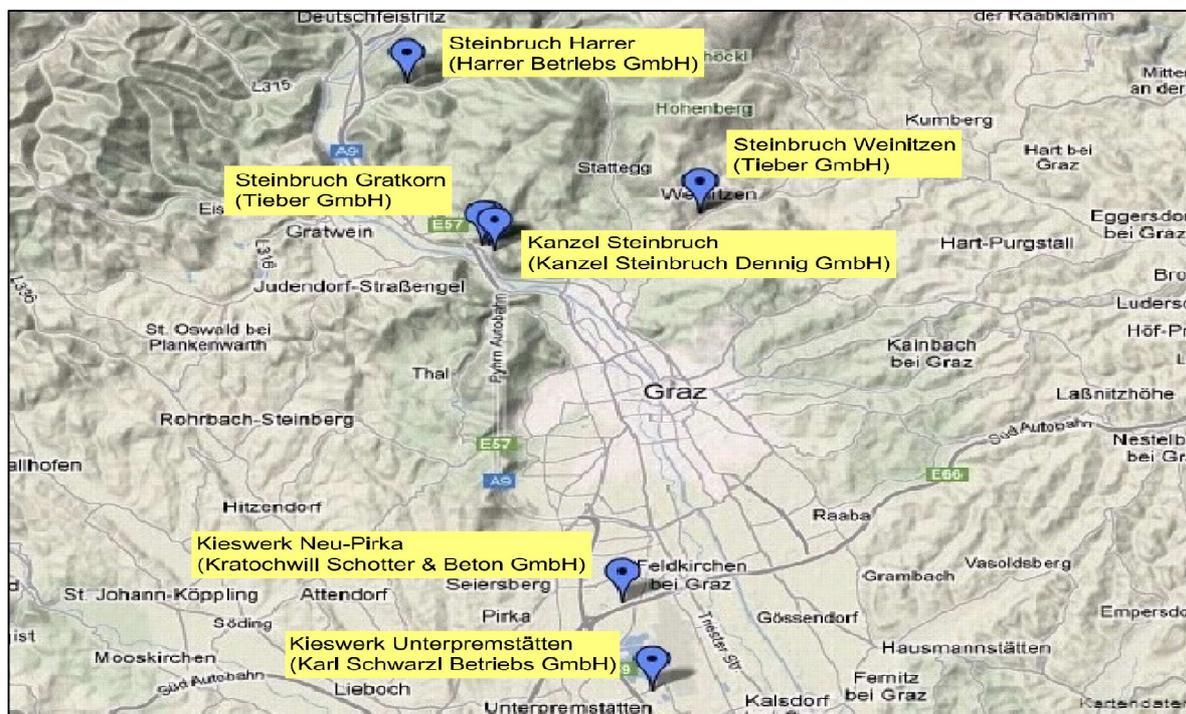


Abbildung 6.13: Geografische Lage der angefragten Werke (google maps)

Die in Abbildung 6.14 vorliegenden Preise wurden im Oktober 2011 angefragt und beziehen sich auf den Nettopreis ab Werk.

Schüttmaterial- und Deponiepreise (Stand: Oktober 2011)				
Werk:	KK 0/32(30) [€/to]	KK 0/63(70) [€/to]	Haldenschotter (0/200-400) [€/to]	Deponiekosten Bodenaushubmaterial [€/to]
Harrer Steinbruch	8,70	8,70	8,00	-
Steinbruch Gratkorn (Tieber)	9,20	9,20	8,20	4,70
Steinbruch Weinitzen (Tieber)	9,20	9,20	8,20	4,70
Kanzel Steinbruch	8,00	8,00	7,20	4,05
Kieswerk Neu-Pirka	10,15	10,15	-	5,0-7,0
Kieswerk Unterpremstätten	10,15	10,15	-	5,0-7,0
<b>Ansatzwerte:</b>	<b>9,20</b>	<b>9,20</b>	<b>-</b>	<b>4,70</b>

Abbildung 6.14: Schüttmaterial- und Deponiepreise (Nettopreis ab Werk)

Bei dem verwendeten Schüttmaterial handelt es sich ausschließlich um Kantkorn. Neben der Tatsache, dass diese Kornform für den Straßenbau wegen des Verzahnungseffektes besser geeignet ist, liegt der Preis bei Rundkorn für die Korngruppe 0/32 und 0/63 nach Anfrage höher als jener von Kantkorn. Haldenschotter (Wandschotter), mit den in Abbildung 6.14 enthaltenen Preisen, wird nicht in den Überlegungen berücksichtigt, da dieser Korngrößen von über 200 mm beinhaltet und für den Einbau bei geringeren Bodenauswechslungsstärken sowie für die Herstellung eines ebenen Planums nicht geeignet ist. Durch das frostsichere Schüttmaterial kann die Bodenauswechslung auch als Erhöhung der Frostschutzschicht angesehen werden.

Aus Kalkulationsgründen müssen die Ansatzwerte in Abbildung 6.14 von €/Tonne auf €/m<sup>3</sup> umgerechnet und die 11% (12,36%) aus allgemeinen Geschäftskosten, Wagnis und Gewinn zugeschlagen werden. Mit einer Lagerungsdichte des Schüttmaterials von 2 to/m<sup>3</sup> und jenem des Bodenaushubmaterials von 1,7 to/m<sup>3</sup> ergeben sich Kalkulationsansätze von:

**KK 0/32 bzw. 0/63: 20,67 €/m<sup>3</sup>**

**Deponie: 8,98 €/m<sup>3</sup>**

### 6.1.6. Zeitgebundene Baustellengemeinkosten

Werden zwei unterschiedliche Bauweisen verglichen, die Auswirkungen auf die Baudauer haben, müssen die zeitgebundenen Baustellengemeinkosten (siehe Punkt 5.1.2) berücksichtigt werden. Je nach Vorgabe des Leistungsverzeichnisses werden diese in der Leistungsgruppe „*Baustellengemeinkosten*“ oder als Zuschlag bei den Einzelkosten der Teilleistungen berücksichtigt. Nachdem in den hier getätigten Überlegungen kein konkretes Projekt zur Verfügung steht, wird angenommen, dass die zeitgebundenen Baustellengemeinkosten 10% von den Einzelkosten der Teilleistungen betragen. Der Zuschlag, welcher bei den Positionspreisen in Punkt 6.1.7 noch nicht enthalten ist, findet nachträglich in Gleichung 6.1 Beachtung, wobei die Begründung für den darin enthaltenen Faktor folgender Tatsache untersteht:

Der Zeitaufwand (Leistungsansätze siehe Punkt 6.1.2) für die Bauweise ohne Geokunststoffeinlage errechnet sich aus der Summe der Teilleistungen „*Bodenauswechslung abtragen und laden*“ (0,010526 h/m<sup>3</sup> bzw. 0,00010526 h/m<sup>2</sup>cm) und „*Schüttmaterial für Bodenauswechslung einbauen*“ (0,010526 h/m<sup>3</sup> bzw.

0,00010526 h/m<sup>2</sup>cm) zu 0,021052 h/m<sup>3</sup> und 0,00021052 h/m<sup>2</sup>cm. Dem steht der Aufwand durch die Leistung „Geokunststoff verlegen“ mit 0,001000 h/m<sup>2</sup> gegenüber. Bildet man das Verhältnis der beiden Aufwandswerte erhält man folgende Schichtstärke in cm:

$$\frac{0,001000 \text{ h/m}^2}{0,00021052 \text{ h/m}^2 \text{ cm}} = 4,75 \text{ cm}$$

Dies bedeutet, dass ab einer Schichtstärkendifferenz von 4,75 cm die Bauweise ohne Geokunststoffeinlage eine längere Bauzeit aufweist als jene mit Geokunststoffeinlage. Mit dem Faktor (x-4,75) in Gleichung 6.1 wird nun berücksichtigt, dass der Zuschlag aus den zeitgebundenen Baustellengemeinkosten der Variante „ohne Geokunststoffeinlage“ erst ab einer Schüttstärkendifferenz von 4,75 cm zugerechnet wird. Unterhalb findet aufgrund der kürzeren Bauzeit eine Abminderung statt. Diese Ansatzweise wurde deshalb gewählt, weil ein Zuschlag von 10% auf beide Herstellungsweisen keinen Unterschied bei den zeitgebundenen Baustellengemeinkosten erfassen würde ( $A \times 1,1 = B \times 1,1$ ).

### **6.1.7. Notwendige Einsparung der Bodenauswechslungsstärke durch die Einlage eines Geokunststoffes**

Für die Ermittlung der notwendigen Schichtstärkeneinsparung müssen zunächst die Einheitspreise mit den zuvor beschriebenen Ansätzen kalkuliert werden. Die Geokunststoffkosten bleiben dabei variabel, wobei wegen einer notwendigen Überlappung 10% und 11% (12,36% v. Hstk.) aus allgemeinen Geschäftskosten, Wagnis und Gewinn zugeschlagen werden (Gesamtzuschlag: 23,6%). Bei den folgenden Kalkulationsblättern wird zwischen 5, 10 und 20 km Transportstrecke unterschieden.

## Transportstrecke 5 km:

Kalkulationsblatt mit Einheitspreisen:						
Transportweg 5km:						
Positionsbezeichnung	Ansatzmenge	Preis/Einheit	Lohn	Sonstiges	Einheitspreis	
Leistungsansatz/Betriebsmittelbezeichnung			[Euro]	[Euro]	[Euro]	
<b>A1</b>	<b>Bodenauswechslung BKL 2-5 abtragen + laden</b>					
Abtr. = 95 m <sup>3</sup> /h	Abtragsleistung					
1'h'/Abtr.	Hydraulikbagger 115kW	0,010526 h	99,66	0,52	0,53	1,05
<b>Einheitspreis/m<sup>3</sup></b>			<b>0,52</b>	<b>0,53</b>	<b>1,05</b>	
<b>A2</b>	<b>Bodenauswechslung BKL 2-5 wegschaffen</b>					
Umlz. = 0,34 h	Umlaufzeit LKW					
1'h'*Umlz/11'm <sup>3</sup>	LKW 4-Achs-Kipper	0,030909 h	95,20	1,54	1,40	2,94
1,00	Deponiekosten	1,00 m <sup>3</sup>	8,98		8,98	8,98
<b>Einheitspreis/m<sup>3</sup></b>			<b>1,54</b>	<b>10,38</b>	<b>11,92</b>	
<b>B1</b>	<b>Schüttmaterial für Bodenauswechslung liefern</b>					
Umlz. = 0,32 h	Umlaufzeit LKW					
1'h'*Umlz/9'm <sup>3</sup>	LKW 4-Achs-Kipper	0,035556 h	95,20	1,77	1,61	3,38
1,00	Material KK0/63	1,00 m <sup>3</sup>	20,67		20,67	20,67
<b>Einheitspreis/m<sup>3</sup></b>			<b>1,77</b>	<b>22,28</b>	<b>24,05</b>	
<b>B2</b>	<b>Schüttmaterial für Bodenauswechslung einbauen</b>					
Einb. = 95 m <sup>3</sup> /h	Einbauleistung					
1'h'/Einb.	Planierdraupe 90kW	0,010526 h	103,85	0,58	0,52	1,09
0,7'h'/Einb.	Walzenzug	0,007368 h	84,58	0,34	0,28	0,62
0,3'h'/Einb.	Lohn Bauarb.	0,003158 h	36,28	0,11		0,11
<b>Einheitspreis/m<sup>3</sup></b>			<b>1,03</b>	<b>0,80</b>	<b>1,83</b>	
<b>C</b>	<b>Geokunststoff verlegen</b>					
Verlegl. 1.000 m <sup>2</sup> /h	Verlegeleistung					
0,5'h'/Verlegl	Hydraulikbagger 60kW	0,000500 h	75,30	0,02	0,01	0,03
2'h'/Verlegl	Lohn Bauarb.	0,002000 h	36,28	0,07		0,07
1,236	Geokunststoff	1,23600 m <sup>2</sup>	v		1,236*v	1,236*v
<b>Einheitspreis/m<sup>2</sup></b>			<b>0,09</b>	<b>1,236*v+0,01</b>	<b>1,236*v+0,10</b>	

Abbildung 6.15: Kalkulationsblatt für 5 km Transportstrecke

## Transportstrecke 10 km:

Kalkulationsblatt mit Einheitspreisen:					
Transportweg 10km:					
Positionsbezeichnung Leistungsansatz/Betriebsmittelbezeichnung	Ansatzmenge	Preis/Einheit	Lohn [Euro]	Sonstiges [Euro]	Einheitspreis [Euro]
<b>A1 Bodenauswechslung BKL 2-5 abtragen + laden</b>					
Abtr. = 95 m <sup>3</sup> /h Abtragsleistung					
1'h'/Abtr. Hydraulikbagger 115kW	0,010526 h	99,66	0,52	0,53	1,05
<b>Einheitspreis/m<sup>3</sup></b>			<b>0,52</b>	<b>0,53</b>	<b>1,05</b>
<b>A2 Bodenauswechslung BKL 2-5 wegschaffen</b>					
Umlz. = 0,56 h Umlaufzeit LKW					
1'h'*Umlz/11'm <sup>3</sup> LKW 4-Achs-Kipper	0,050909 h	95,20	2,54	2,31	4,85
1,00 Deponiekosten	1,00 m <sup>3</sup>	8,98		8,98	8,98
<b>Einheitspreis/m<sup>3</sup></b>			<b>2,54</b>	<b>11,29</b>	<b>13,83</b>
<b>B1 Schüttmaterial für Bodenauswechslung liefern</b>					
Umlz. = 0,54 h Umlaufzeit LKW					
1'h'*Umlz/9'm <sup>3</sup> LKW 4-Achs-Kipper	0,060000 h	95,20	2,99	2,72	5,71
1,00 Material KK0/63	1,00 m <sup>3</sup>	20,67		20,67	20,67
<b>Einheitspreis/m<sup>3</sup></b>			<b>2,99</b>	<b>23,39</b>	<b>26,38</b>
<b>B2 Schüttmaterial für Bodenauswechslung einbauen</b>					
Einb. = 95 m <sup>3</sup> /h Einbauleistung					
1'h'/Einb. Planirraupe 90kW	0,010526 h	103,85	0,58	0,52	1,09
0,7'h'/Einb. Walzenzug	0,007368 h	84,58	0,34	0,28	0,62
0,3'h'/Einb. Lohn Bauarb.	0,003158 h	36,28	0,11		0,11
<b>Einheitspreis/m<sup>3</sup></b>			<b>1,03</b>	<b>0,80</b>	<b>1,83</b>
<b>C Geokunststoff verlegen</b>					
Verlegl. 1.000 m <sup>2</sup> /h Verlegeleistung					
0,5'h'/Verlegl. Hydraulikbagger 60kW	0,000500 h	75,30	0,02	0,01	0,03
2'h'/Verlegl. Lohn Bauarb.	0,002000 h	36,28	0,07		0,07
1,236 Geokunststoff	1,23600 m <sup>2</sup>	v		1,236*v	1,236*v
<b>Einheitspreis/m<sup>2</sup></b>			<b>0,09</b>	<b>1,236*v+0,01</b>	<b>1,236*v+0,10</b>

Abbildung 6.16: Kalkulationsblatt für 10 km Transportstrecke

**Transportstrecke 20 km:**

Kalkulationsblatt mit Einheitspreisen:					
Transportweg 20km:					
Positionsbezeichnung Leistungsansatz/Betriebsmittelbezeichnung	Ansatzmenge	Preis/Einheit	Lohn [Euro]	Sonstiges [Euro]	Einheitspreis [Euro]
<b>A1 Bodenauswechslung BKL 2-5 abtragen + laden</b>					
Abtr. = 95 m <sup>3</sup> /h Abtragsleistung					
1'h'/Abtr. Hydraulikbagger 115kW	0,010526 h	99,66	0,52	0,53	1,05
<b>Einheitspreis/m<sup>3</sup></b>			<b>0,52</b>	<b>0,53</b>	<b>1,05</b>
<b>A2 Bodenauswechslung BKL 2-5 wegschaffen</b>					
Umlz. = 1,01 h Umlaufzeit LKW					
1'h'*Umlz/11'm <sup>3</sup> LKW 4-Achs-Kipper	0,091818 h	95,20	4,58	4,16	8,74
1,00 Deponiekosten	1,00 m <sup>3</sup>	8,98		8,98	8,98
<b>Einheitspreis/m<sup>3</sup></b>			<b>4,58</b>	<b>13,14</b>	<b>17,72</b>
<b>B1 Schüttmaterial für Bodenauswechslung liefern</b>					
Umlz. = 0,99 h Umlaufzeit LKW					
1'h'*Umlz/9'm <sup>3</sup> LKW 4-Achs-Kipper	0,110000 h	95,20	5,49	4,99	10,47
1,00 Material KK0/63	1,00 m <sup>3</sup>	20,67		20,67	20,67
<b>Einheitspreis/m<sup>3</sup></b>			<b>5,49</b>	<b>25,66</b>	<b>31,14</b>
<b>B2 Schüttmaterial für Bodenauswechslung einbauen</b>					
Einb. = 95 m <sup>3</sup> /h Einbauleistung					
1'h'/Einb. Planirraupe 90kW	0,010526 h	103,85	0,58	0,52	1,09
0,7'h'/Einb. Walzenzug	0,007368 h	84,58	0,34	0,28	0,62
0,3'h'/Einb. Lohn Bauarb.	0,003158 h	36,28	0,11		0,11
<b>Einheitspreis/m<sup>3</sup></b>			<b>1,03</b>	<b>0,80</b>	<b>1,83</b>
<b>C Geokunststoff verlegen</b>					
Verlegl. 1.000 m <sup>2</sup> /h Verlegeleistung					
0,5'h'/Verlegl. Hydraulikbagger 60kW	0,000500 h	75,30	0,02	0,01	0,03
2'h'/Verlegl. Lohn Bauarb.	0,002000 h	36,28	0,07		0,07
1,236 Geokunststoff	1,23600 m <sup>2</sup>	v		1,236*v	1,236*v
<b>Einheitspreis/m<sup>2</sup></b>			<b>0,09</b>	<b>1,236*v+0,01</b>	<b>1,236*v+0,10</b>

Abbildung 6.17: Kalkulationsblatt für 20 km Transportstrecke

Mit den vorhandenen Einheitspreisen kann nun mit der Formel 6.1 die Schüttstärkeneinsparung  $x$  errechnet werden, welche durch eine Geokunststoffbewehrung notwendig ist, um eine Preisgleichheit zu erzielen. Für die Ermittlung werden die wesentlichen Positionen gegenübergestellt. Zur Berücksichtigung der zeitgebundenen Baustellengemeinkosten (10% v. Einzelkosten der Teilleistung) durch den Faktor  $(x-4,75)$ , siehe Punkt 6.1.6.

$$\frac{(A1 + A2 + B1 + B2)}{100} * x + (x - 4,75) * \frac{(A1 + A2 + B1 + B2)}{100} * 0,10 = C \quad (6.1)$$

*A1.... Einheitspreis „Bodenauswechslung Bodenklasse 2-5 abtragen“ (€/m<sup>3</sup>)*

*A2.... Einheitspreis „Bodenauswechslung Bodenklasse 2-5 wegschaffen“ (€/m<sup>3</sup>)*

*B1.... Einheitspreis „Schüttmaterial für Bodenauswechslung liefern“ (€/m<sup>3</sup>)*

*B2.... Einheitspreis „Schüttmaterial für Bodenauswechslung einbauen“ (€/m<sup>3</sup>)*

*C..... Einheitspreis „Geokunststoff verlegen“ (€/m<sup>2</sup>)*

*x..... notwendige Schichtstärkeneinsparung (cm)*

Die folgenden Tabellen fassen die notwendige Schüttstärkeneinsparung hinsichtlich unterschiedlicher Geokunststoffpreise zusammen.

#### Transportstrecke 5 km:

$(A1+A2+B1+B2) = 38,86 \text{ €/m}^3$ $C = 1,236 * v + 0,10 \text{ €/m}^2$								
Geokunststoffpreis v:	1,00 €/m <sup>2</sup>	2,00 €/m <sup>2</sup>	3,00 €/m <sup>2</sup>	4,00 €/m <sup>2</sup>	5,00 €/m <sup>2</sup>	6,00 €/m <sup>2</sup>	7,00 €/m <sup>2</sup>	8,00 €/m <sup>2</sup>
Schichtstärke x:	3,6 cm	6,4 cm	9,3 cm	12,2 cm	15,1 cm	18,0 cm	20,9 cm	23,8 cm

Tabelle 6.1: Notwendige Schichtstärkeneinsparung bei 5 km Transportstrecke

**Transportstrecke 10 km:**

$(A1+A2+B1+B2) = 43,09 \text{ €/m}^3$ $C = 1,236 * v + 0,10 \text{ €/m}^2$								
Geokunststoffpreis v:	1,00 €/m <sup>2</sup>	2,00 €/m <sup>2</sup>	3,00 €/m <sup>2</sup>	4,00 €/m <sup>2</sup>	5,00 €/m <sup>2</sup>	6,00 €/m <sup>2</sup>	7,00 €/m <sup>2</sup>	8,00 €/m <sup>2</sup>
Schichtstärke x:	3,3 cm	5,9 cm	8,5 cm	11,1 cm	13,7 cm	16,3 cm	18,9 cm	21,5 cm

Tabelle 6.2: Notwendige Schichtstärkeneinsparung bei 10 km Transportstrecke

**Transportstrecke 20 km:**

$(A1+A2+B1+B2) = 51,74 \text{ €/m}^3$ $C = 1,236 * v + 0,10 \text{ €/m}^2$								
Geokunststoffpreis v:	1,00 €/m <sup>2</sup>	2,00 €/m <sup>2</sup>	3,00 €/m <sup>2</sup>	4,00 €/m <sup>2</sup>	5,00 €/m <sup>2</sup>	6,00 €/m <sup>2</sup>	7,00 €/m <sup>2</sup>	8,00 €/m <sup>2</sup>
Schichtstärke x:	2,8 cm	5,0 cm	7,1 cm	9,3 cm	11,5 cm	13,6 cm	15,8 cm	18,0 cm

Tabelle 6.3: Notwendige Schichtstärkeneinsparung bei 20 km Transportstrecke

In Abbildung 6.18 kann die notwendige Schüttstärkeneinsparung grafisch ermittelt werden. Als Eingangsparameter dient der Geokunststoffnettopreis in €/m<sup>2</sup>. Je nach gewähltem Produkt kann danach, unter Berücksichtigung der Materialtransportstrecke, jene Schüttstärkeneinsparung abgelesen werden, die aufgrund der Mehrkosten durch den Geokunststoffeinbau nötig ist, um eine kostenneutrale Herstellung zu gewährleisten.

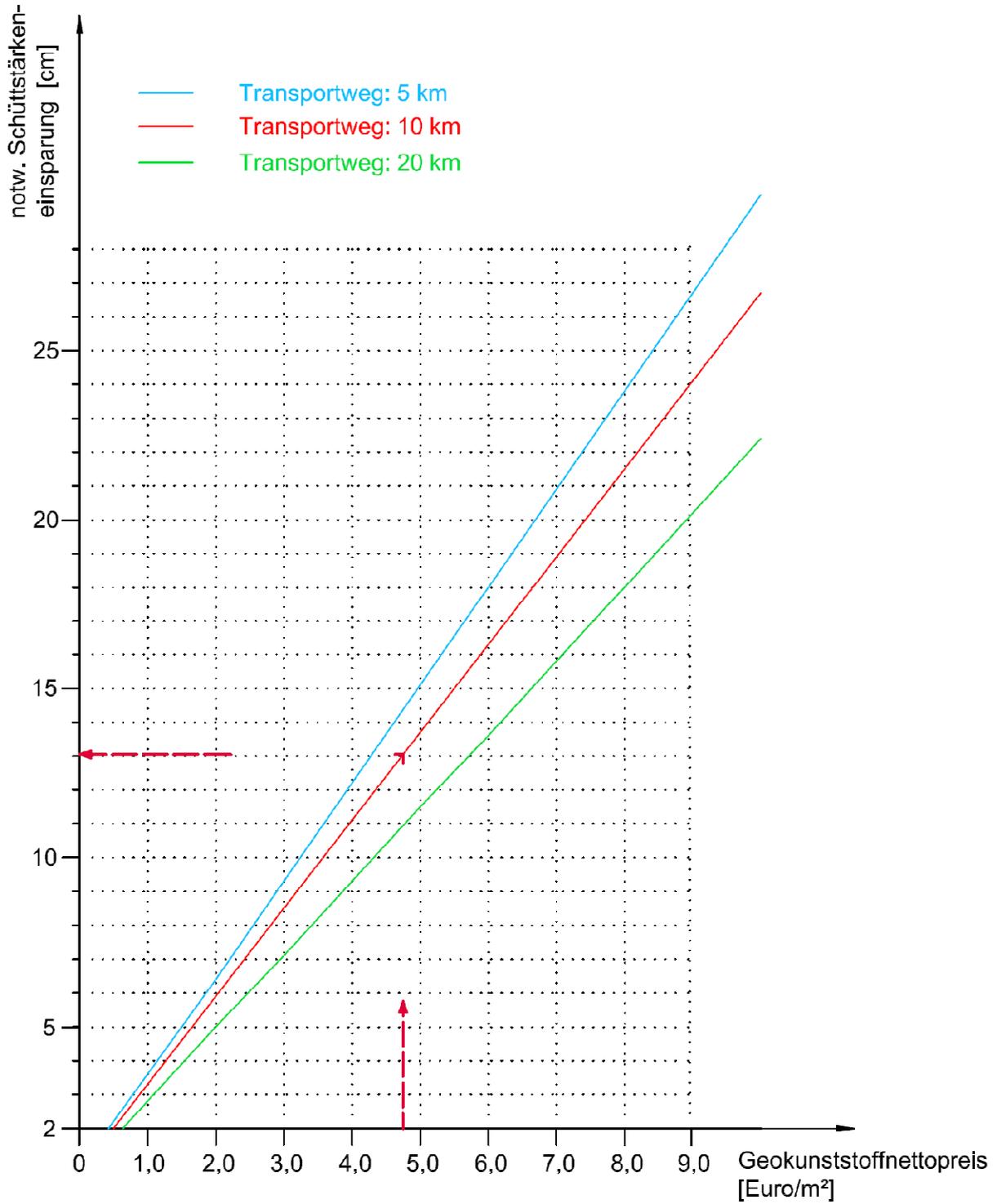


Abbildung 6.18: Notwendige Schüttstärkeneinsparung in Abhängigkeit des Geokunststoffpreises

### 6.1.8. Einsparpotenzial der Schüttstärken durch Geokunststoffeinlagen

Wie in Punkt 4.1.2 bereits erwähnt, ist es schwierig bis unmöglich die Wechselwirkungen zwischen Boden und Geokunststoffeinlagen zu modellieren und somit eine generelle Aussage über den Nutzen einer Geokunststoffbewehrung zu tätigen. Um jedoch einen Einblick über mögliche Schüttstärkeneinsparungen durch eine Geokunststoffbewehrung zu geben, werden nachfolgend Grafiken durch Literatur- und Herstellerangaben dargestellt, welche die notwendige Schüttstärke (bewehrt und unbewehrt), in Bezug auf die Untergrundtragfähigkeit und der Tragfähigkeit an der Schüttlagenoberkante, abbilden.

#### Angaben durch den Schweizerischen Verband für Geokunststoffe (SVG 2003)

Die in Rügger et al (2003) enthaltenen Bemessungstabellen (siehe Abbildung 6.19/6.20) beruhen auf den Ergebnissen der Versuchspiste aus dem VSS (Schweizerischer Verband der Straßen- und Verkehrsfachleute) Forschungsprojekt 2000/450 und vorsichtig interpretierten Herstellerangaben. Während die Untergrundtragfähigkeit durch den CBR-Wert ausgedrückt wird, handelt es sich bei der Tragfähigkeit an der Tragschichtoberkante um den Verformungsmodul aus Zweitbelastung  $E_{V2}$ , welcher bei den nachfolgenden Abbildungen 45 MN/m<sup>2</sup> beträgt. Die eingesetzte Bewehrung weist dabei eine Zugfestigkeit von 8 kN/m bei 2% Dehnung auf.

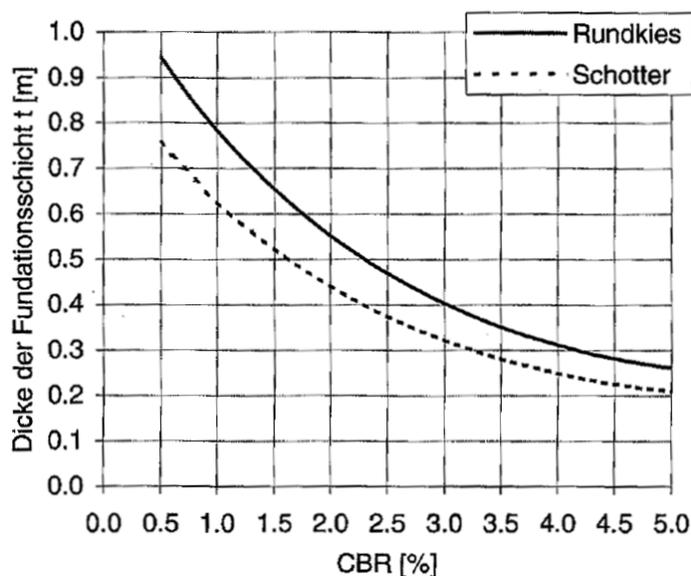


Abbildung 6.19: Notwendige Schüttstärke ohne Bewehrung für  $E_{V2}=45 \text{ MN/m}^2$  (Rügger et al 2003)

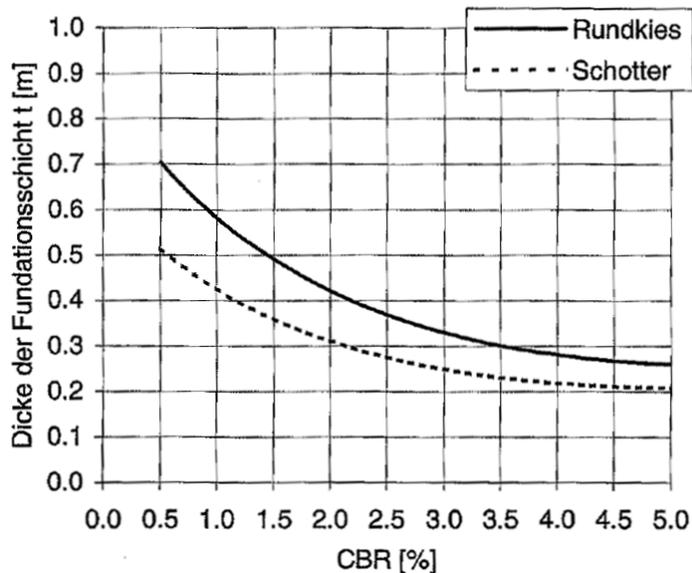


Abbildung 6.20: Notwendige Schüttstärke mit Bewehrung für  $E_{V2}=45 \text{ MN/m}^2$  (Rüegger et al 2003)

### Ergebnisse aus der Berechnung mit dem Programm SecuCalc

Eine grafische Darstellung der Ergebnisse, die mit dem Programm *SecuCalc* (Version D2.0a, 2010) berechnet wurde, beinhalten Abbildung 6.21/6.22. Hierbei handelt es sich um ein Programm des Geokunststoffherstellers NAUE GmbH & Co. KG. In Abhängigkeit der Untergrundtragfähigkeit ( $E_{V2 \text{ unten}}$ ) und der Tragfähigkeit auf dem hergestellten Planum der Tragschicht ( $E_{V2 \text{ oben}}$ ) erhält man als Ergebnis die erforderliche Tragschichtdicke für den unbewehrten und bewehrten Fall.

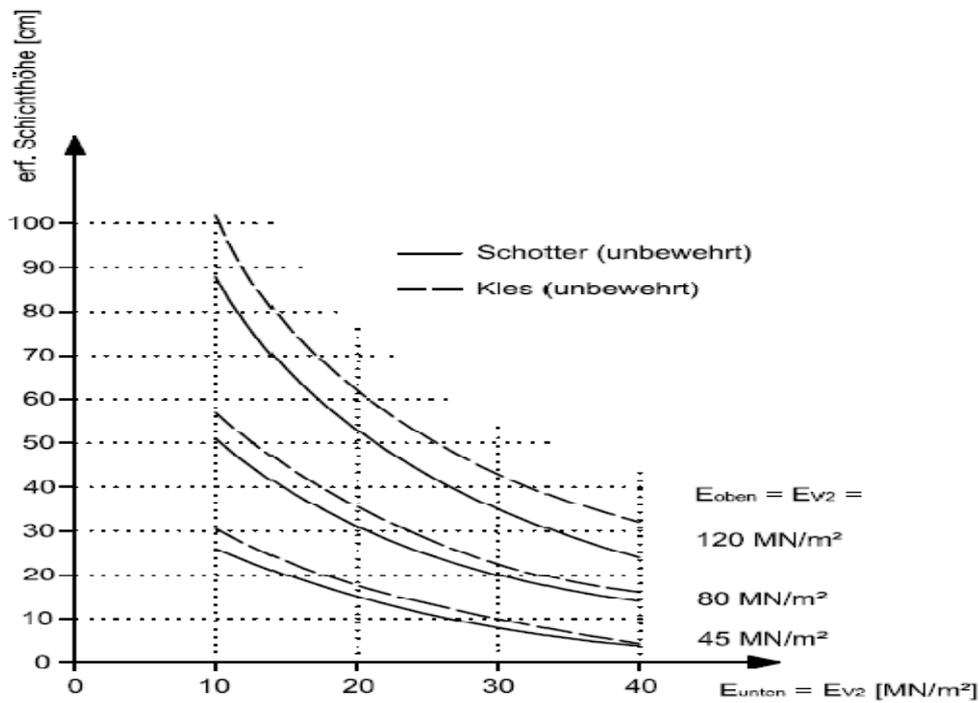


Abbildung 6.21: Notwendige Schüttstärke ohne Bewehrung lt. Programm SecuCalc, (eigene Darstellung)

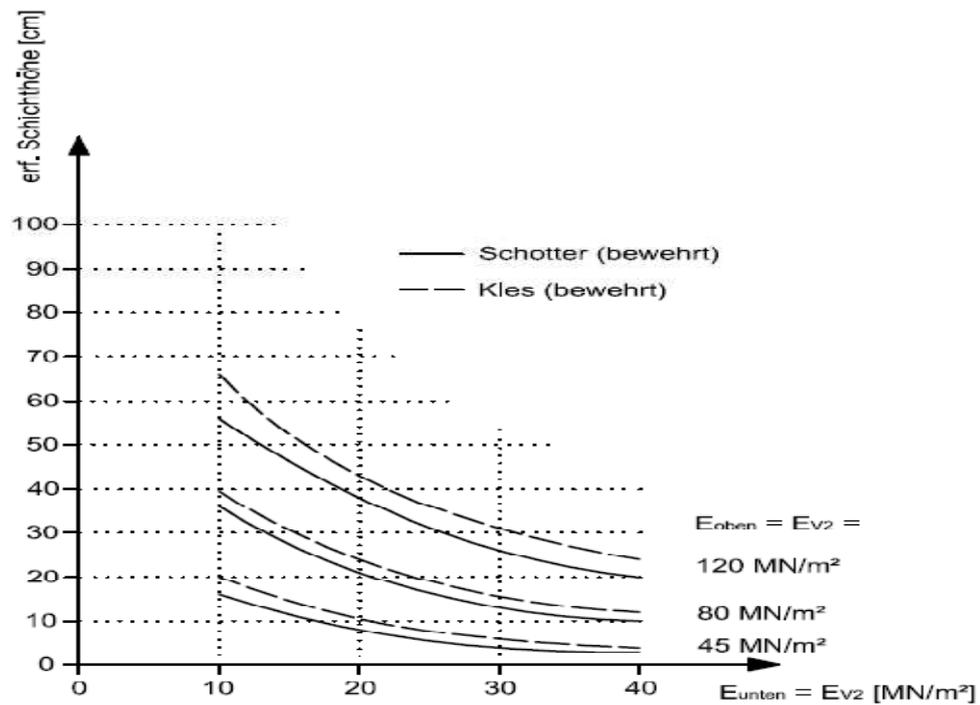


Abbildung 6.22: Notwendige Schüttstärke mit Bewehrung lt. Programm SecuCalc, (eigene Darstellung)

## Ergebnisse aus dem Online Programm von TenCate

Das Unternehmen TenCate Geosynthetics stellt auf der Internetadresse <http://www.tencate.com/6574/TenCate/Geosynthetics/eu/de/de-TenCate-Geosynthetics-Europe/Online-design> (Zugriff am 03.01.2012) ein Online-Programm zur Verfügung, bei dem man durch Eingabe des CBR-Wertes des Untergrundes und der erforderlichen Tragfähigkeit ( $E_{V2}$ ) auf dem Tragschichtplanum die notwendige Schichtstärke erhält. Eine Auswertung der Ergebnisse ist in Abbildung 6.23/6.24 ersichtlich.

Anmerkung: Vergleicht man die ermittelten Schichtdicken bei einer geforderten Tragfähigkeit von  $E_{V2} = 45 \text{ MN/m}^2$  mit den Angaben des Schweizerischen Verbandes für Geokunststoffe (Schottermaterial), so sind diese ident. Die Einsparung der Schichtdicke durch eine Geokunststoffbewehrung nimmt für alle drei Fälle ( $E_{V2} = 45, 80, 120 \text{ MN/m}^2$ ) den gleichen Wert ein.

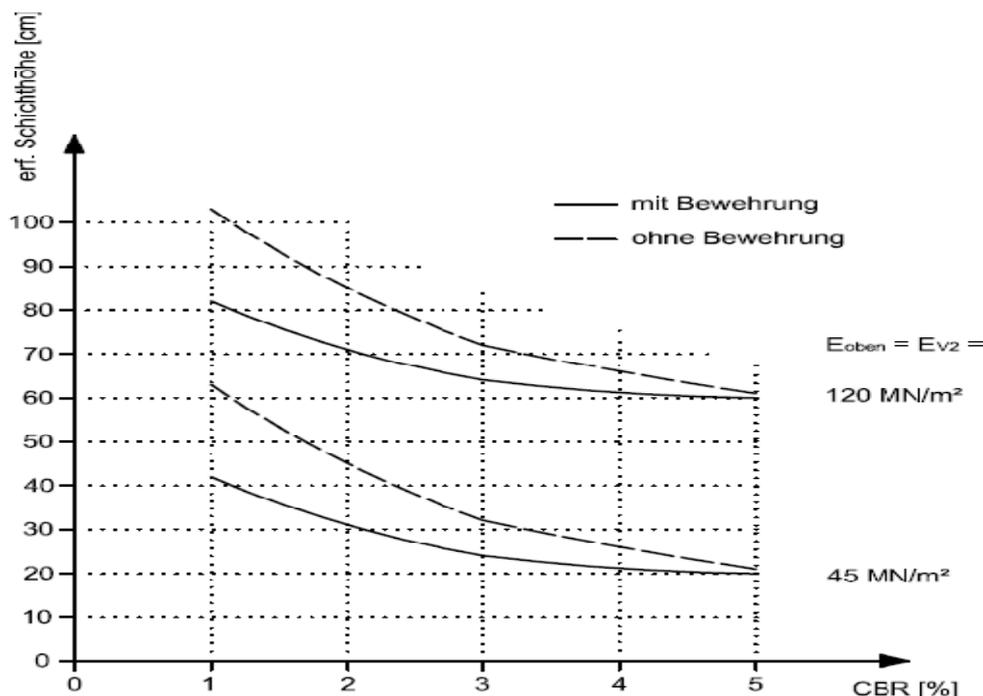


Abbildung 6.23: Notwendige Schüttstärken für  $E_{V2}=120/45 \text{ MN/m}^2$  lt. Online-Berechnung von TenCate Geosynthetics (eigene Darstellung)

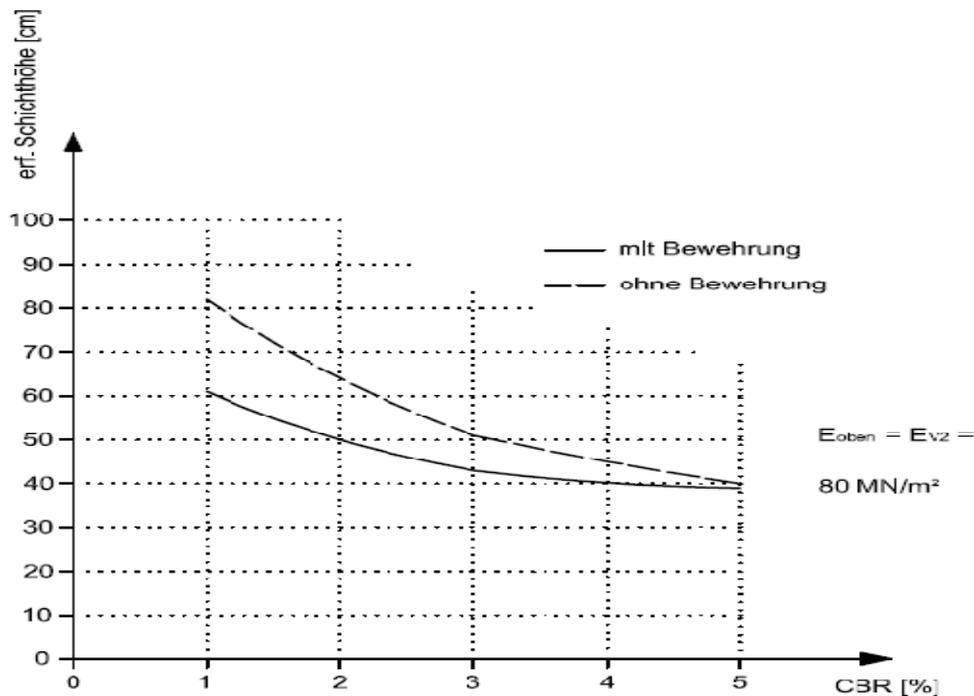


Abbildung 6.24: Notwendige Schüttstärken für  $E_{v2}=80 \text{ MN/m}^2$  lt. Online-Berechnung von TenCate Geosynthetics (eigene Darstellung)

Für einen Vergleich der Grafiken ist es erforderlich, einen Zusammenhang zwischen dem CBR-Wert und dem Verformungsmodul aus Zweitbelastung ( $E_{v2}$ ) herzustellen. In der Literatur werden diesbezüglich unterschiedliche Angaben gemacht (siehe Haase 2004). Dies ist darauf zurückzuführen, dass keine Beziehung zwischen den beiden Prüfverfahren herrscht. Für diese Arbeit wird die Relation in Abbildung 6.25 herangezogen.

CBR-Wert [%]	1	2	3	4	5	6	7	8
$E_{v2}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	6	10	15	20	22	24,5	27,5	30

Abbildung 6.25: Angenommenes Verhältnis zwischen CBR-Wert und Verformungsmodul aus Zweitbelastung  $E_{v2}$

Durch die Beziehung der beiden Bodenkennwerte in Abbildung 6.25 können die Daten aus den Bemessungsdiagrammen gegenübergestellt werden. Die Auswertung in Tabelle 6.4 beschränkt sich jedoch auf eine Tragfähigkeit der Tragschicht von  $E_{v2} = 80 \text{ MN/m}^2$ , die bei

einem Verhältnis der beiden Verformungsmodule ( $E_{V2} / E_{V1}$ ) von 2,28 eine gute Annäherung für die in Österreich geforderte Tragfähigkeit des Unterbauplanums von  $E_{V1} = 35 \text{ MN/m}^2$  darstellt. Des Weiteren wird, in Bezug auf die in dieser Arbeit getätigte Kalkulation, nur die Schichtstärken für Schottertragschichten (Kantkorn) berücksichtigt.

Gegenüberstellung der Schichthöhen / Schichthöheneinsparungen [cm] ( $E_{V2}$ Tragschicht = $80 \text{ MN/m}^2$ , KK 0/63)									
Quellen:	$E_{V2}$ (Untergrund) [ $\text{MN/m}^2$ ]	6	10	15	20	22	24,5	27,5	30
	CBR (Untergrund) [%]	1	2	3	4	5	6	7	8
Berechnungen mit dem Programm SecuCalc (Version D2.0a, 2010)	unbewehrt	-	51	40	31	28	25	22	20
	bewehrt	-	36	28	21	19	17	15	13
	Einsparung	-	15	12	10	9	8	7	7
Online Berechnung nach TenCate Geosynthetics (03.01.2012)	unbewehrt	82	64	51	45	40	-	-	-
	bewehrt	61	50	43	40,2	39	-	-	-
	Einsparung	21	14	8	4,8	1	-	-	-

Tabelle 6.4: Gegenüberstellung der Bemessungsdiagramme

Die abweichenden Ergebnisse in Tabelle 6.4 lassen erahnen wie schwierig es ist, eine generelle Aussage über den Nutzen einer Geokunststoffbewehrung zu tätigen. Man soll daher für eine Einschätzung die Angaben des Herstellers berücksichtigen und dabei konservative Werte vorziehen oder Prüfungen vor Ort durchführen. Für die nachfolgende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Ergebnisse laut der Online-Bemessung von TenCate Geosynthetics herangezogen. Die Begründung liegt darin, indem die Werte für das Einsparungspotential den Angaben des Schweizerischen Verbandes für Geokunststoffe in Rügger et al. (2003) entsprechen und diese daher als vertrauenswürdiger angesehen werden.

### 6.1.9. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Im Folgenden werden, wegen des produktspezifischen Einsparungspotentials und der geografischen Lage des Werkes, Fabrikate der Firma TenCate Geosynthetics Austria GesmbH mit Sitz in Linz herangezogen. Für die Betrachtung kommen der Geoverbundstoff *TenCate Polyfelt Rock PEC x/x*, bestehend aus einem mechanisch verfestigten

Endlosfaservliesstoff und hochzugfesten Polyethylenterephthalat-Garnen (78), und der mechanisch verfestigte Endlosfaservliesstoff aus Polypropylen *TenCate Polyfelt TS x* (51) zum Einsatz.

Anmerkung: Obwohl das Trenn- und Verstärkungsgeotextil *TenCate Polyfelt TS x* hauptsächlich für Trenn- und Filteraufgaben Verwendung findet, werden damit auch Bewehrungseffekte erzielt.

### Anwendungsschritte:

1.) Wahl des Geokunststoffes und Erhebung des Nettopreises:

Die Type der Geokunststoffe richtet sich beim Geoverbundstoff nach den Herstellerangaben (Empfehlung durch die Online-Berechnung von TenCate Geosynthetics, siehe Punkt 6.1.8), für das Trenn- und Verstärkungsgeotextil (Lastklasse V, KK <63) nach den Vorgaben laut RVS 8S.01.2 (siehe Punkt 4.1.1). Bei den Nettopreisen handelt es sich um angefragte Richtpreise (Stand: 2011/12).

Untergrund- tragfähigkeit: CBR [%]/E <sub>V2</sub> [MN/m <sup>2</sup> ]	Geoverbundstoff	Richtpreis * (Stand 2011/12) [€/m <sup>2</sup> ]	Geotextil	Richtpreis * (Stand 2011/12) [€/m <sup>2</sup> ]
1/6	TenCate Polyfelt Rock PEC 75/75	5,22	TenCate Polyfelt TS 880	1,85
2/10	TenCate Polyfelt Rock PEC 55/50	4,24	TenCate Polyfelt TS 860	1,51
3/15	TenCate Polyfelt Rock PEC 35/35	3,49	TenCate Polyfelt TS 860	1,51
4/20	TenCate Polyfelt Rock PEC 35/35	3,49	TenCate Polyfelt TS 860	1,51
5/22	TenCate Polyfelt Rock PEC 35/35	3,49	TenCate Polyfelt TS 860	1,51

\* Lieferungskosten sind in den Preisen nicht enthalten, ab einem Lieferumfang von 10 Rollen ist die Zustellung aber "frei Bau"

**Tabelle 6.5: Geokunststofftype mit Nettopreis (Stand: 2011/12)**

2.) Ermittlung der erforderlichen Schichtstärkeneinsparung

Mit Hilfe der Nettopreise aus Tabelle 6.5 kann die notwendige Einsparung für eine Preisgleichheit der beiden Bauweisen, je nach Transportentfernung, grafisch aus Abbildung

6.18, oder durch Interpolation der Werte aus den Tabelle 6.1-6.3 ermittelt werden. Für daliegende Beispiele ergeben sich dadurch die Werte in Tabelle 6.6.

Untergrund- tragfähigkeit: CBR [%]/E <sub>v2</sub> [MN/m <sup>2</sup> ]	mögliche Einsparung [cm]	Geoverbundstoff	erforderliche Einsparung [cm]			Geotextil	erforderliche Einsparung [cm]		
			5 km	10 km	20 km		5 km	10 km	20 km
1/6	21,0	TenCate Polyfelt Rock PEC 75/75	15,7	14,3	12,0	TenCate Polyfelt TS 880	6,0	5,5	4,7
2/10	14,0	TenCate Polyfelt Rock PEC 55/50	12,9	11,7	9,8	TenCate Polyfelt TS 860	5,0	4,6	3,9
3/15	8,0	TenCate Polyfelt Rock PEC 35/35	10,7	9,8	8,2	TenCate Polyfelt TS 860	5,0	4,6	3,9
4/20	4,8	TenCate Polyfelt Rock PEC 35/35	10,7	9,8	8,2	TenCate Polyfelt TS 860	5,0	4,6	3,9
5/22	1,0	TenCate Polyfelt Rock PEC 35/35	10,7	9,8	8,2	TenCate Polyfelt TS 860	5,0	4,6	3,9
x...unwirtschaftlich x...wirtschaftlich x...Grenzbereich									

**Tabelle 6.6: Erforderliche Schichtstärkeneinsparung ohne Berücksichtigung der Nachhaltigkeit**

Anmerkung: Die möglichen Einsparungen laut Herstellerangaben beziehen sich auf den Einsatz des Geoverbundstoffes. Bei Verwendung des Geotextils ist mit geringeren Werten zu rechnen.

### 3.) Beurteilung der Wirtschaftlichkeit

Vergleicht man die Werte in Tabelle 6.6 mit dem Einsparungspotentials gemäß der Onlineberechnung von TenCate Geosynthetics (siehe Tabelle 6.4), so sieht man, dass in Bezug auf die Schichtstärkeneinsparung mit den angesetzten Kalkulationswerten eine wirtschaftliche Einsetzbarkeit der Geokunststoffe bis zu einer Untergrundtragfähigkeit von CBR = 3% (E<sub>v2</sub> = 15 MN/m<sup>2</sup>) reicht. Jene des Verbundstoffes beginnt jedoch erst ab einer Materialtransportstrecke von etwa 20 Kilometer. Im Falle von höheren Tragfestigkeiten ist erst ab einer Transportstrecke von mehr als 50 Kilometer mit einem positiven Ergebnis zu rechnen.

Die in Tabelle 6.6 dargestellte und beurteilte Wirtschaftlichkeit ist nur im Zusammenhang mit einer Schichtstärkeneinsparung ohne Berücksichtigung der Nachhaltigkeit zu sehen.

Diesbezüglich muss erwähnt werden, dass bei wenig tragfähigem Untergrund ein Trenn- und Verstärkungsgeotextil das Eindringen des Schüttmaterials in den weichen Untergrund verhindert und die Kompaktheit der eingebauten Schicht auf Dauer erhält. Unter Beachtung einer derartigen Geotextilverlegung verschiebt sich die Wirtschaftlichkeit zugunsten des Geoverbundstoffes insofern, indem sich die erforderliche Einsparung verringert. Für die Neuberechnung dieser muss in Gleichung 6.1 der Preis des Geoverbundstoffes um jenen des Trenn- und Verstärkungsgeotextils reduziert sowie die Kosten der Verlegung (10 Cent/m<sup>2</sup>) und der dafür notwendige Zeitaufwand (Aufhebung des Faktors 4,75 bei den zeitgebundenen Baustellengemeinkosten) berücksichtigt werden.

Untergrund- tragfähigkeit: CBR [%]/E <sub>v2</sub> [MN/m <sup>2</sup> ]	mögliche Einsparung [cm]	Geoverbundstoff	Richtpreis ** (Stand 2011/12) [€/m <sup>2</sup> ]	erforderliche Einsparung [cm]		
				5 km	10 km	20 km
1/6	21,0	TenCate Polyfelt Rock PEC 75/75	3,37 *	9,8	8,8	7,3
2/10	14,0	TenCate Polyfelt Rock PEC 55/50	2,73 *	7,9	7,1	5,9
3/15	8,0	TenCate Polyfelt Rock PEC 35/35	1,98 *	5,7	5,1	4,3
4/20	4,8	TenCate Polyfelt Rock PEC 35/35	1,98 *	5,7	5,1	4,3
5/22	1,0	TenCate Polyfelt Rock PEC 35/35	1,98 *	5,7	5,1	4,3
x...unwirtschaftlich x...wirtschaftlich x...Grenzbereich						
* aufgrund den enthaltenen Trenn- und Filterfunktionen wurde der Preis des erforderlichen Vliesstoffes abgezogen						
** Lieferungskosten sind in den Preisen nicht enthalten, ab einem Lieferumfang von 10 Rollen ist die Zustellung aber "frei Bau"						

**Tabelle 6.7: Erforderliche Schichtstärkeneinsparung durch Miteinbeziehung der Nachhaltigkeit**

Man erkennt in Tabelle 6.7, dass sich bei Einbeziehung der Nachhaltigkeit der wirtschaftliche Grenzbereich des Geoverbundstoffes auf eine Untergrundtragfähigkeit von CBR = 4% (E<sub>v2</sub> = 20 MN/m<sup>2</sup>) und 10 Kilometer Transportstrecke verschiebt.

Anmerkung: Der Grenzwert gilt auch im Falle einer Bodenauswechslung zur Bewerkstelligung der geringeren Tragfähigkeitswerte einer Dammaufstandsfläche (Verkehrsflächen in Dammlage). Die erforderliche Bodenauswechslung ist zwar geringer, das Einsparpotential ist jedoch gleich (siehe Abbildung 6.23).

Um die Aussagen nicht nur auf die Preise und Produkte von TenCate Geosynthetics Austria GesmbH zu beschränken, wurde für einen Vergleich eine Anfrage bei der Firma Huesker Synthetic GmbH getätigt. Nachdem der kritische Bereich der Wirtschaftlichkeit bei einer Tragfestigkeit des Untergrundes von  $CBR = 4\%$  ( $E_{V2} = 20 \text{ MN/m}^2$ ) liegt, konzentrieren sich die Betrachtungen auf diese und es werden daher vergleichbare Produkte des Geoverbundstoffes *TenCate Polyfelt Rock PEC 35/35* herangezogen. Die angegebenen Nettopreise (Stand 2011/12) beziehen sich auf eine Bestellung bis ca. 5000 m<sup>2</sup>, wobei die Zustellung „frei Bau“ ist. Wegen den zuvor beschriebenen Gründen der Nachhaltigkeit, erfolgt auch hierbei ein Preisabzug eines für ansonsten notwendigen Trenn- und Verstärkungsgeotextils (Vliesstoff, Type: HV 4720).

Nachstehend sind die in Abhängigkeit der Richtpreise erforderlichen Einsparungen des Verbundstoffes *Duogrid* angegeben.

Untergrund- tragfähigkeit: CBR [%]/ $E_{V2}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	mögliche Einsparung [cm]	Geoverbundstoff	Richtpreis ** (Stand 2011/12) [€/m <sup>2</sup> ]	erforderliche Einsparung [cm]		
				5 km	10 km	20 km
4/20	4,8	Duogrid (PP) Duo 40/40 B15	1,76 *	5,1	4,6	3,8
		Duogrid (PES) Duo 40/40 B15 FT	1,86 *	5,4	4,8	4,0
x...unwirtschaftlich x...wirtschaftlich x...Grenzbereich						
* aufgrund den enthaltenen Trenn- und Filterfunktionen wurde der Preis des erforderlichen Vliesstoffes abgezogen ** die Zustellung ist "frei Bau"						

**Tabelle 6.8: Erforderliche Schichtstärkeneinsparung bei vergleichbaren Verbundstoffen**

Der Vergleich mit den Produkten von Huesker Synthetic bestätigt, dass der Grenzbereich eines rentablen Einsatzes für Geokunststoffbewehrungen bei einer Tragfestigkeit des Untergrundes von  $CBR = 4\%$  ( $E_{V2} = 20 \text{ MN/m}^2$ ) liegt. Je nach eingesetztem Verbundstoff beginnt dabei ein vorteilhafter Einsatz ab einer Transportstrecke des Boden- und Schüttmaterials zwischen 5 und 15 Kilometer.

An dieser Stelle sei nochmals erwähnt, dass sich die wirtschaftliche Abgrenzung bezüglich der Untergrundtragfestigkeit auf das angenommene Einsparungspotential von TenCate Geosynthetics bezieht. Bei anderen Angaben können abweichende Resultate auftreten.

## 6.2. Geokunststoffbewehrung bei Standardoberbauten

Nachdem die Verwendung einer Geokunststoffbewehrung bei schlechtem Untergrund in Punkt 6.1 untersucht wurde, soll nun der Einsatz im Oberbau betrachtet werden. Es wird davon ausgegangen, dass der geforderte Wert von  $E_{V1} = 35 \text{ MN/m}^2$  am Unterbauplanum erreicht wird und somit ein Standardoberbau nach RVS 03.08.63 zur Ausführung kommt.

In Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit macht es hierbei wenig Sinn über eine Reduzierung der einzelnen Schichtstärken nachzudenken. Zum Einen hat man im vorherigen Punkt gesehen, dass bei zunehmender Tragfähigkeit die Rentabilität nicht gegeben ist, zum Anderen würde der Frostschutz des Straßenaufbaues minimiert und somit für frühzeitige Schäden sorgen. Um jedoch eine Einschätzung tätigen zu können, wird aufgrund der Mehrkosten einer Geokunststoffverwendung die nötige Lebensdauer mit Hilfe eines dynamischen Investitionsverfahrens bestimmt und im Weiteren die Folge einer kostengleichen Erhöhung der ungebundenen unteren Tragschicht untersucht.

Nachstehend werden die Kosten ab Unterbauplanum bis inklusive der ungebundenen oberen Tragschicht mit einer angenommenen Transportentfernung des Schüttmaterials von 10 Kilometer selbst kalkuliert, für die Herstellung der bituminösen Trag- und Deckschicht aus dem Preisspeicher Straßenbau (Stand 05/2010) des Landes Steiermark (Referat Landesstraßen Instandsetzung) entnommen.

### 6.2.1. Wahl des Oberbaues

Nachdem es sich bei den Bauvorhaben um großflächige Parkplätze handelt, lässt sich der Oberbau, laut RVS 03.08.63, je nach Anteil des Lkw- und Busverkehrs, im Bereich der Lastklassen IV bis VI eingliedern (siehe Tabelle 3.7). Für nachstehende Überlegungen wird die Lastklasse IV herangezogen, die bei Ausführung der Bautype 1 (ungebundene obere Tragschicht der Kategorie  $C_{90/3}$  bzw.  $C_{50/30}$ ) durch folgenden Schichtenaufbau gekennzeichnet ist:

- 30 cm ungebundene untere Tragschicht
- 20 cm ungebundene obere Tragschicht
- 13 cm bituminöse Trag- und Deckschicht

## 6.2.2. Bauablauf und notwendige Teilleistungen (Positionen)

Nachdem keine Veränderung der Schichtstärken vorgenommen wird, ist bei den Bauweisen mit und ohne Geokunststoffeinlage nur die zusätzliche Position „Geokunststoff verlegen“ zu berücksichtigen. Ein möglicher Einbau erfolgt zwischen dem Unterbau und der ungebundenen unteren Tragschicht und/oder zwischen den beiden ungebundenen Tragschichten (siehe Abbildung 6.26).

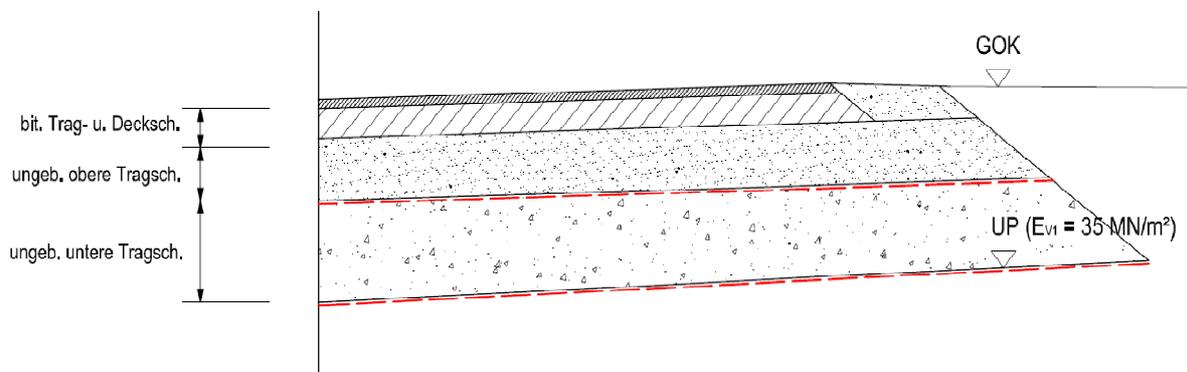


Abbildung 6.26: Möglicher Einbau einer Geokunststoffbewehrung (eigene Darstellung)

Die Herstellung des Oberbaues erfolgt nach dem schematisch dargestellte Bauablauf in Abbildung 6.27. Dafür sind folgende Teilleistungen notwendig:

- Geokunststoff verlegen (nur bei Bauweise mit Geokunststoffeinlage)
- Schüttmaterial (KK 0/63) für die ungebundene untere Tragschicht liefern
- Schüttmaterial (KK 0/63) für die ungebundene untere Tragschicht einbauen
- Geokunststoff verlegen (bei Einbau einer zweiten Geokunststoffeinlage)
- Schüttmaterial (KK 0/32) für die ungebundene obere Tragschicht liefern
- Schüttmaterial (KK 0/32) für die ungebundene obere Tragschicht einbauen
- Bituminöse Tragschicht herstellen (AC 32 trag 70/100, T2, G5)
- Voranstrich Nahtflanken >5 bis 10 cm
- Vorspritzen
- Bituminöse Deckschicht herstellen (AC 11 deck, 70/100, A1, G1)
- Voranstrich Nahtflanken 0 bis 5 cm

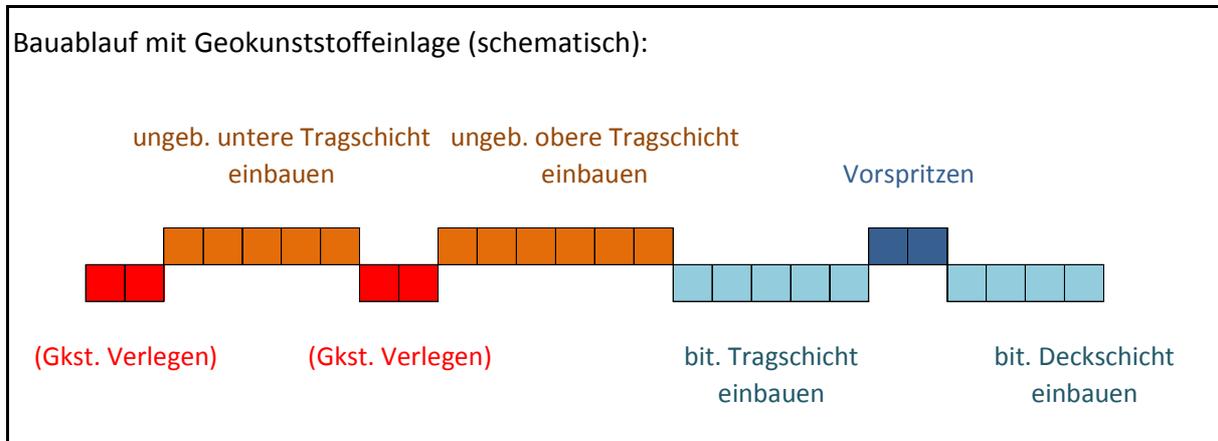


Abbildung 6.27: Schematischer Bauablauf zur Herstellung des Oberbaus (eigene Darstellung)

Für die bituminöse Befestigung wird eine 10 cm starke *Tragschicht AC 32 trag 70/100, T2, G5* und eine 3 cm starke *Deckschicht AC 11 deck, 70/100, A1, G1* eingebaut. Die Kurzbezeichnungen haben hierbei folgende Bedeutung:

AC..... *Asphalt Concrete*

32, 11..... *Größtkorn (mm)*

trag, deck ..... *Tragschicht, Deckschicht*

70/100..... *Bindemittelsorte/Bindemitteltyp*

T2..... *Asphalttyp eingestuft nach Hohlraumgehalt*

A1..... *Asphalttyp eingestuft nach der Sieblinie*

G5, G1 ..... *Gesteinsklasse*

Bei der Herstellung der Asphalttschichten ist für eine gute Verbundwirkung zwischen den beiden Schichten und den eingebauten Asphaltbahnen zu sorgen. Hierfür muss vor Einbau der Deckschicht auf die Oberfläche der bituminösen Tragschicht laut RVS 08.16.01 (2010) eine Bitumenemulsion vorgespitzt, sowie zur Haftung der einzelnen Bahnen an deren Verbundstelle ein Nahtverschluss sichergestellt werden. Zur Berücksichtigung in der

Kalkulation sind dafür die Positionen „Vorspritzen“ und „Voranstrich Nahtflanken“ vorgesehen.

### 6.2.3. Leistungsansätze

Der Einbau der ungebundenen Tragschichten erfolgt durch einen Grader mit einer Motorleistung von 115 Kilowatt und einem Einsatzgewicht von 13,5 Tonnen. Dies entspricht jenem Grader, der in Abbildung 6.28 dargestellt ist. Die Einbauleistung wird bei der ungebundenen unteren Tragschicht mit  $60 \text{ m}^3/\text{h}$ , bei der ungebundenen oberen Tragschicht mit  $125 \text{ m}^2/\text{h}$  angenommen.



Abbildung 6.28: Grader für Einbau der ungebundenen Tragschichten (New Holland F106.6A) (79)

Hinsichtlich der Verdichtungsarbeiten wird davon ausgegangen, dass der Leistungseinsatz des Walzenzuges 70 % der Einbaudauer beträgt und sich dadurch Leistungsansätze von  $85 \text{ m}^3/\text{h}$  (ungeb. untere Tragschicht) beziehungsweise  $180 \text{ m}^2/\text{h}$  (ungeb. obere Tragschicht) ergeben. Des Weiteren wird eine Hilfskraft mit 50 % Lohnanteil für die Herstellung des jeweiligen Planums angesetzt. Für Angaben sonstiger Ansätze siehe Punkt 6.1.2.

#### **6.2.4. Gerätepreise**

Der Preis für den Grader geht mit 105,66 €/h in die Berechnung ein (siehe Punkt 9.2). Bemerkungen hinsichtlich der Ermittlung und andere für die Kalkulation notwendigen Gerätepreise (Walzenzug, Hydraulikbagger 60 kW, Vierachser) sind aus Punkt 6.1.3 zu entnehmen.

#### **6.2.5. Mittellohnpreis**

(siehe Punkt 6.1.4)

#### **6.2.6. Materialpreis für ungebundene Tragschichten**

(siehe Punkt 6.1.5)

#### **6.2.7. Investitionskosten**

Zur Ermittlung der Investitionskosten müssen vorab die notwendigen Positionspreise für die Herstellung der ungebundenen Tragschichten mit den gewählten Ansätzen kalkuliert werden. Eine Übersicht dafür gibt das Kalkulationsblatt in Abbildung 6.29. Der Geokunststoffpreis in der Position „*Geokunststoff verlegen*“ bleibt aufgrund der Überlegungen zunächst variabel, wobei ein Zuschlag von 23,6 % (10 % Überlappung, 11 % allgemeine Geschäftskosten, Wagnis und Gewinn) erfolgt. Hinsichtlich der bituminösen Befestigung werden die Preise in Abbildung 6.30 herangezogen. Diese sind, wie bereits erwähnt, aus dem Preisspeicher Straßenbau des Landes Steiermark entnommen.

## Einheitspreise für ungebundene Tragschichten:

Kalkulationsblatt mit Einheitspreisen:					
Transportweg für Schüttmaterial: 10km					
Positionsbezeichnung Leistungsansatz/Betriebsmittelbezeichnung	Ansatzmenge	Preis/Einheit	Lohn [Euro]	Sonstiges [Euro]	Einheitspreis [Euro]
<b>A1 Schüttmat. für ungeb. Untere Tragschicht liefern</b>					
Umlz.= 0,54 h Umlaufzeit LKW					
1'h*Umlz/9'm <sup>3</sup> LKW 4-Achs-Kipper	0,060000 h	95,20	2,99	2,72	5,71
1,00 Material KKO/63	1,00 m <sup>3</sup>	20,67		20,67	20,67
<b>Einheitspreis/m<sup>3</sup></b>			<b>2,99</b>	<b>23,39</b>	<b>26,38</b>
<b>A2 Schüttmat. für ungeb. Untere Tragschicht einbauen</b>					
Einb.= 60 m <sup>3</sup> /h Einbauleistung					
1'h'/Einb. Grader 105kW	0,016667 h	105,66	0,90	0,86	1,76
0,7'h'/Einb. Walzenzug	0,011667 h	84,58	0,54	0,44	0,99
0,5'h'/Einb. Lohn Bauarb.	0,008333 h	36,28	0,30		0,30
<b>Einheitspreis/m<sup>3</sup></b>			<b>1,74</b>	<b>1,31</b>	<b>3,05</b>
<b>B1 Schüttmat. für ungeb. Obere Tragschicht liefern</b>					
Umlz.= 0,54 h Umlaufzeit LKW d= 0,20 m Einbaustärke					
1'h*Umlz/9'm <sup>3</sup> *d LKW 4-Achs-Kipper	0,012000 h	95,20	0,60	0,54	1,14
1,00*d Material KKO/63	0,20 m <sup>3</sup>	20,67		4,13	4,13
<b>Einheitspreis/m<sup>2</sup></b>			<b>0,60</b>	<b>4,68</b>	<b>5,28</b>
<b>B2 Schüttmat. für ungeb. Obere Tragschicht einbauen</b>					
Einb.= 125 m <sup>2</sup> /h Einbauleistung					
1'h'/Einb. Grader 105kW	0,008000 h	103,85	0,44	0,39	0,83
0,7'h'/Einb. Walzenzug	0,005600 h	84,58	0,26	0,21	0,47
0,5'h'/Einb. Lohn Bauarb.	0,004000 h	36,28	0,15		0,15
<b>Einheitspreis/m<sup>2</sup></b>			<b>0,84</b>	<b>0,61</b>	<b>1,45</b>
<b>C Geokunststoff verlegen</b>					
Verlegl. 1.000 m <sup>2</sup> /h Verlegeleistung					
0,5'h'/Verlegl. Hydraulikbagger 60kW	0,000500 h	75,30	0,02	0,01	0,03
2'h'/Verlegl. Lohn Bauarb.	0,002000 h	36,28	0,07		0,07
1,236 Geokunststoff	1,23596 m <sup>2</sup>	v		1,236*v	1,236*v
<b>Einheitspreis/m<sup>2</sup></b>			<b>0,09</b>	<b>1,236*v+0,01</b>	<b>1,236*v+0,10</b>

Abbildung 6.29: Einheitspreise zur Herstellung der ungebundenen Tragschichten

## Einheitspreise für bituminöse Trag- und Deckschicht:

Einheitspreise zur Herstellung der bituminösen Trag- und Deckschicht	
Positionsbezeichnung	Einheitspreis [Euro]
D Bituminöse Tragschicht, 10 cm, Fahr./Abstellst. (AC32trag,70/100,T2,G5)	
Einheitspreis/m <sup>2</sup>	14,00
E Voranstrich Nahtflanken > 5 - 10 cm	
Einheitspreis/m	1,50
F Vorspritzen	
Einheitspreis/m <sup>2</sup>	0,50
G Bituminöse Deckschicht, 3 cm, Fahr./Abstellst. (AC11deck,70/100,A1,G1)	
Einheitspreis/m <sup>2</sup>	6,00
H Voranstrich Nahtflanken 0 - 5 cm	
Einheitspreis/m	1,00

Abbildung 6.30: Einheitspreise zur Herstellung der bituminösen Trag- und Deckschicht lt. Preisspeicher Straßenbau des Landes Steiermark (Stand 05/2010)

Nach Auflistung der notwendigen Positionspreisen, kann durch deren Addition und einen angenommenen Baustellengemeinkostenzuschlag, bezogen auf die Herstellungskosten der Variante ohne Geokunststoffeinlage von 12 %, der Preis der Oberbauausführungen ermittelt werden. Die Faktoren 0,25 und 0,30 bei den Positionen „Voranstrich Nahtflanken“ sowie „Schüttmaterial für ungeb. untere Tragschicht liefern und einbauen“ in den nachfolgenden Gleichungen dienen zur Begleichung der unterschiedlichen Einheiten.

Preis der Variante *Ohne Geokunststoffeinlage*:

$$P1 = [(A1 + A2) * 0,30 + B1 + B2 + D + F + G + (E + H) * 0,25] * 1,12 \quad (6.2)$$

$$P1 = 41,09$$

Preis der Variante *Mit einer Geokunststoffeinlage*:

$$P2 = [(A1 + A2) * 0,30 + B1 + B2 + D + F + G + (E + H) * 0,25] * 1,12 + C_1 \quad (6.3)$$

$$P2 = 41,19 + 1,236 * v_1$$

Preis der Variante *Mit zwei Geokunststoffeinlagen*:

$$P3 = [(A1 + A2) * 0,30 + B1 + B2 + D + F + G + (E + H) * 0,25] * 1,12 + C_1 + C_2 \quad (6.4)$$

$$P3 = 41,29 + 1,236 * (v_1 + v_2)$$

*A1 - H..... Einheitspreise (Positionsbezeichnung laut Kalkulationsblätter)*

*v<sub>1</sub> und v<sub>2</sub>..... Geokunststoffpreise (€/m<sup>2</sup>)*

Eine Auswertung der Gleichungen 6.2 bis 6.4 mit den gewählten Geokunststoffpreisen ergibt folgende in Tabelle 6.9 aufgelistete Investitionskosten.

	Investitionskosten Oberbau [€/m <sup>2</sup> ]								
Gkst.-Preis v <sub>1</sub> [€/m <sup>2</sup> ]	3,0			5,0			7,0		
Gkst.-Preis v <sub>2</sub> [€/m <sup>2</sup> ]	3,0	5,0	7,0	3,0	5,0	7,0	3,0	5,0	7,0
Bauweise ohne Gkst.	41,09								
Bauweise mit Gkst. (einlagig)	44,90			47,37			49,84		
Bauweise mit Gkst. (zweilagig)	48,71	51,18	53,65	51,18	53,65	56,12	53,65	56,12	58,59

**Tabelle 6.9: Oberbaukosten der verschiedenen Bauweisen in Abhängigkeit der Geokunststoffpreise**

## 6.2.8. Instandsetzungs- und Rückbaukosten

Laut RVS 02.01.22 beträgt die Nutzungsdauer (Abschreibungszeitraum) für bituminöse Trag- und Deckschichten 20 Jahre, für ungebundene Tragschichten 40 Jahre. Man kann also davon ausgehen, dass bei dem nach RVS 03.08.63 gewählten Oberbau bei einer Instandsetzung der bituminösen Befestigung nach 20 Jahren eine Lebensdauer von 40 Jahren erreicht wird.

Hinsichtlich der Instandsetzungs- und Rückbauarbeiten muss man zwischen Hocheinbau und Tiefenbau unterscheiden. Während bei ersterem eine neue Tragschicht auf den bestehenden Tragschichten aufgebracht wird, erfolgt beim Tiefenbau ein Abtrag der abgenutzten Schicht mit anschließender Erneuerung. In den Überlegungen wird davon ausgegangen, dass sich die Instandsetzungskosten aus dem Abtrag und Erneuerung der bituminösen Befestigung zusammensetzen (Tiefenbau). Hingegen wird bei den Rückbaukosten nur das Abtragen der bituminösen Trag- und Deckschicht berücksichtigt (Hocheinbau der ungebundenen Tragschichten).

Für eine Abschätzung der Kosten werden die erforderlichen Teilleistungen mit den Preisen aus dem Preisspeicher Straßenbau des Landes Steiermark (Stand 05/2010) angesetzt. Die Baustellengemeinkosten werden dabei mit 10 % Zuschlag beachtet.

### Instandsetzungskosten:

<b>Angenommene Instandsetzungskosten:</b>				
Position/Leistung	VE [€/m <sup>3</sup> km]	Kosten [€/m <sup>3</sup> ]	Kosten [€/m]	Kosten [€/m <sup>2</sup> ]
Bituminöse Schicht fräsen + laden >10 - 15 cm ( 13 cm)		20,00		2,60
Bituminöses Fräsgut wegschaffen (VE = m <sup>3</sup> /km, Annahme Transportweg 10 km)	0,70			0,91
Planum der ungebundenen Oberen Tragschicht herstellen				0,70
Bituminöse Tragschicht, 10 cm, Fahr./Abstellst. (AC32trag,70/100,T2,G5)				14,00
Voranstrich Nahtflanken > 5 - 10 cm (Fertigerbreite 4 m -> 0,25 m/m <sup>2</sup> )			1,50	0,38
Vorspritzen				0,50
Bituminöse Deckschicht, 3 cm, Fahr./Abstellst. (AC11deck,70/100,A1,G1)				6,00
Voranstrich Nahtflanken 0 - 5 cm (Fertigerbreite 4 m -> 0,25 m/m <sup>2</sup> )			1,00	0,25
<b>Zwischensumme</b>				<b>25,34</b>
<b>+ 10% Baustellengemeinkostenanteil</b>				<b>27,87</b>

Tabelle 6.10: Instandsetzungskosten mit Preisen lt. Preisspeicher Straßenbau (05/2010)

**Rückbaukosten:**

<b>Angenommene Rückbaukosten:</b>				
Position/Leistung	VE [€/m <sup>3</sup> km]	Kosten [€/m <sup>3</sup> ]	Kosten [€/m]	Kosten [€/m <sup>2</sup> ]
Bituminöse Schicht fräsen + laden >10 - 15 cm (13 cm)		20,00		2,60
Bituminöses Fräsgut wegschaffen (VE = m <sup>3</sup> /km, Annahme Transportweg 10 km)	0,70			0,91
<b>Zwischensumme</b>				<b>3,51</b>
<b>+ 10% Baustellengemeinkostenanteil</b>				<b>3,86</b>

Tabelle 6.11: Rückbaukosten mit Preisen lt. Preisspeicher Straßenbau (05/2010)

**6.2.9. Abschätzung der erforderlichen Lebensdauer**

Wie anfangs bereits erläutert, können die Mehrkosten durch den Einsatz von Geokunststoffen im Oberbau nur mit einer Verlängerung der Lebensdauer begründet werden. Für diesbezügliche Untersuchungen wird ein dynamisches Investitionsrechnungsverfahren, und zwar jenes der Annuitätenmethode, angewendet. Das bedeutet, die erforderlichen Investitionen werden einer zinseszinsmäßigen Verteilung unterzogen und durch jährlich konstante Investitionsausgaben über die gesamte Nutzungsdauer ausgedrückt. Die Annuität des Kapitaleinsatzes wird dabei mit Hilfe der Gleichung 6.5 berechnet (vgl. Bauer 2005).

$$R_I = \left[ \sum_{t=0}^{ND} I_{(t)} * (1+i)^{-t} \right] * \frac{(1+i)^n * i}{(1+i)^n - 1} \quad (6.5)$$

Hierin bedeuten:

$R_I$ ..... Kapitaleinsatz (Kostenannuität, dynamische Abschreibung)

$I_{(t)}$ ..... Investitionszahlungen zum Zeitpunkt  $t$

$t$ ..... Zeitpunkt der Investitionszahlungen

$ND$ ..... *Nutzungsdauer*

$i$ ..... *Kalkulationszinssatz (inflationbereinigt)*

$n$ ..... *Lebensdauer*

Um nun die erforderliche Lebensdauer  $n$  der Bauweise mit Geokunststoffeinsatz zu bestimmen, muss ihre Kostenannuität mit jener der Bauweise ohne Geokunststoffverwendung gleichgesetzt werden (siehe Gleichung 6.6 und 6.7).

Für die Herangehensweise werden folgende Punkte angenommen beziehungsweise vorausgesetzt:

- Bei der Bauweise ohne Geokunststoffeinlage erfolgen Instandsetzungsarbeiten der bituminösen Befestigung im Tiefenbau nach 20 Jahren. Die Lebensdauer des gesamten Oberbaues beträgt 40 Jahre.
- Die Instandsetzungsarbeiten bei der Bauweise mit Geokunststoffeinlage erfolgen zum Zeitpunkt der halben Lebensdauer. Sie sind ident mit jenen ohne Geokunststoffe.
- Die Rückbauarbeiten erfolgen am Ende der jeweiligen Lebensdauer und unterscheiden sich in den verschiedenen Bauweisen nicht.
- Instandhaltungskosten werden bezüglich der niedrigen Differenzinvestition, sowie der unterschiedlichen Lebensdauern nicht berücksichtigt.
- Der Kalkulationszinssatz beträgt 4 %/a (inflationbereinigt).

**Kostenannuität der Bauweise ohne Geokunststoffverwendung (€/m<sup>2</sup> Jahr):**

$$[41,09 + 27,87 * (1 + 0,04)^{-20} + 3,86 * (1 + 0,04)^{-40}] * \frac{(1 + 0,04)^{40} * 0,04}{(1 + 0,04)^{40} - 1} = 2,76 \quad (6.6)$$

**Gleichsetzung der Kostenannuitäten (€/m<sup>2</sup> Jahr):**

$$2,76 = \left[ I_{(t=0)} + 27,87 * (1 + 0,04)^{-\frac{n}{2}} + 3,86 * (1 + 0,04)^{-n} \right] * \frac{(1 + 0,04)^n * 0,04}{(1 + 0,04)^n - 1} \quad (6.7)$$

Mit:

 $I_{(t=0)}$  ..... *Erstinvestition (€/m<sup>2</sup>)*

Eine Auswertung der Berechnungen mit gewählten Geokunststoffpreisen, sowie der Unterscheidung zwischen einlagigem und zweilagigem Einbau ist in Tabelle 6.12 ersichtlich.

Erforderliche Lebensdauer bei Oberbauten mit Geokunststoffeinlagen									
einlagiger Gkst.-Einbau	Gkst.-Preis $v_1$ [€/m <sup>2</sup> ]								
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
Investitions- kosten [€/m <sup>2</sup> ]	42,43	43,66	44,90	46,13	47,37	48,61	49,84	51,08	52,31
Instandsetz- zeitpunkt [Jahre]	20,80	21,60	22,45	23,35	24,25	25,30	26,35	27,50	28,75
<b>erforderl. Lebensdauer [Jahre]</b>	<b>41,6</b>	<b>43,2</b>	<b>44,9</b>	<b>46,7</b>	<b>48,5</b>	<b>50,6</b>	<b>52,7</b>	<b>55,0</b>	<b>57,5</b>
<b>Erhöhung der Lebensdauer [Jahre]</b>	<b>1,6</b>	<b>3,2</b>	<b>4,9</b>	<b>6,7</b>	<b>8,5</b>	<b>10,6</b>	<b>12,7</b>	<b>15,0</b>	<b>17,5</b>
Annuität [€/m <sup>2</sup> Jahr]	2,760	2,760	2,759	2,758	2,760	2,758	2,759	2,759	2,759
zweilagiger Gkst.-Einbau	Gkst.-Preis $v_1 + v_2$ [€/m <sup>2</sup> ]								
	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0
Investitions- kosten [€/m <sup>2</sup> ]	46,23	47,47	48,71	49,94	51,18	52,41	53,65	54,89	56,12
Instandsetz- zeitpunkt [Jahre]	23,40	24,35	25,35	26,45	27,60	28,85	30,20	31,70	33,35
<b>erforderl. Lebensdauer [Jahre]</b>	<b>46,8</b>	<b>48,7</b>	<b>50,7</b>	<b>52,9</b>	<b>55,2</b>	<b>57,7</b>	<b>60,4</b>	<b>63,4</b>	<b>66,7</b>
<b>Erhöhung der Lebensdauer [Jahre]</b>	<b>6,8</b>	<b>8,7</b>	<b>10,7</b>	<b>12,9</b>	<b>15,2</b>	<b>17,7</b>	<b>20,4</b>	<b>23,4</b>	<b>26,7</b>
Annuität [€/m <sup>2</sup> Jahr]	2,759	2,759	2,760	2,759	2,759	2,759	2,760	2,759	2,759

Tabelle 6.12: Erforderliche Lebensdauer der Oberbauten mit Geokunststoffeinlagen

Bei der angegebenen Lebensdauer in Tabelle 6.12 ist zu bedenken, dass nur eine einmalige Instandsetzung der bituminösen Befestigung in Rechnung gestellt wurde. Umso höher die nötige Lebensdauer jedoch wird, desto wahrscheinlicher ist die Erfordernis von zwei Instandsetzungen. Dies würde bedeuten, dass die tatsächlich notwendige Lebensdauer nach oben korrigiert werden müsste.

#### **6.2.10. Erhöhung der ungebundenen unteren Tragschicht**

In diesem Punkt wird der Überlegung nachgegangen, die anfallenden Kosten für einen einlagigen Geokunststoffeinsatz in die Erhöhung der ungebundenen unteren Tragschicht zu investieren. Für die Betrachtung gilt die Annahme, dass durch die Lage des Oberbaues, es sich um einen Einschnitt handelt. Daher muss, aufgrund der Höhenverschiebung des Unterbauplanums, ein zusätzlicher Bodenabtrag in die Berechnung eingehen. Die zur Gegenüberstellung benötigten Einheitspreise werden aus den Kalkulationsblättern in Punkt 6.1.7 und 6.2.7 entnommen und sind in Abbildung 6.31 nochmals zusammengefasst. Für den Bodenabtrag gelangt dabei die Position „*Bodenauswechslung BKL 2-5 abtragen, laden und wegschaffen*“ in Verwendung.

## Einheitspreise:

Kalkulationsblatt mit Einheitspreisen:					
Transportweg 10km:					
Positionsbezeichnung Leistungsansatz/Betriebsmittelbezeichnung	Ansatzmenge	Preis/Einheit	Lohn [Euro]	Sonstiges [Euro]	Einheitspreis [Euro]
<b>A1</b> <b>Bodenauswechslung BKL 2-5 abtragen + laden</b>					
Abtr. =                    95 m <sup>3</sup> /h    Abtragsleistung					
1'h'/Abtr.            Hydraulikbagger 115kW	0,010526 h	99,66	0,52	0,53	1,05
<b>Einheitspreis/m<sup>3</sup></b>			<b>0,52</b>	<b>0,53</b>	<b>1,05</b>
<b>A2</b> <b>Bodenauswechslung BKL 2-5 wegschaffen</b>					
Umlz.=                    0,56 h    Umlaufzeit LKW					
1'h'*Umlz/11'm <sup>3</sup> LKW 4-Achs-Kipper	0,050909 h	95,20	2,54	2,31	4,85
1,00                    Deponiekosten	1,00 m <sup>3</sup>	8,98		8,98	8,98
<b>Einheitspreis/m<sup>3</sup></b>			<b>2,54</b>	<b>11,29</b>	<b>13,83</b>
<b>B1</b> <b>Schüttmat. für ungeb. Untere Tragschicht liefern</b>					
Umlz.=                    0,54 h    Umlaufzeit LKW					
1'h'*Umlz/9'm <sup>3</sup> LKW 4-Achs-Kipper	0,060000 h	95,20	2,99	2,72	5,71
1,00                    Material KK0/63	1,00 m <sup>3</sup>	20,67		20,67	20,67
<b>Einheitspreis/m<sup>3</sup></b>			<b>2,99</b>	<b>23,39</b>	<b>26,38</b>
<b>B2</b> <b>Schüttmat. für ungeb. Untere Tragschicht einbauen</b>					
Einb.=                    60 m <sup>3</sup> /h    Einbauleistung					
1'h'/Einb.            Grader 105kW	0,016667 h	105,66	0,90	0,86	1,76
0,7'h'/Einb.        Walzenzug	0,011667 h	84,58	0,54	0,44	0,99
0,5'h'/Einb.        Lohn Bauarb.	0,008333 h	36,28	0,30		0,30
<b>Einheitspreis/m<sup>3</sup></b>			<b>1,74</b>	<b>1,31</b>	<b>3,05</b>
<b>C</b> <b>Geokunststoff verlegen</b>					
Verlegl.                1.000 m <sup>2</sup> /h    Verlegeleistung					
0,5'h'/Verlegl      Hydraulikbagger 60kW	0,000500 h	75,30	0,02	0,01	0,03
2'h'/Verlegl        Lohn Bauarb.	0,002000 h	36,28	0,07		0,07
1,236                Geokunststoff	1,23596 m <sup>2</sup>	v		1,236*v	1,236*v
<b>Einheitspreis/m<sup>2</sup></b>			<b>0,09</b>	<b>1,236*v+0,01</b>	<b>1,236*v+0,10</b>

Abbildung 6.31: Notwendige Positionen zur Gegenüberstellung für eine Erhöhung der unteren Tragschicht

Für die Ermittlung der möglichen Erhöhung wird angenommen, dass am Unterbauplanum ein Geovliesstoff mit Trenn- und Filterfunktion eingelegt wird, um eine eventuell notwendige Filterstabilität sicher zu stellen. Dies bedeutet, dass sich die Kosten der Verlegung bei der Position „*Geokunststoff verlegen*“ wegen der Gleichsetzung aufheben. Zur Berücksichtigung der zeitgebundenen Baustellengemeinkosten werden 10 % auf die Einzelkosten zugeschlagen.

Nach Gegenüberstellung der Positionspreise in Gleichung 6.8 ergeben sich dadurch die möglichen Erhöhungen der ungebundenen unteren Tragschicht in Tabelle 6.13.

$$\frac{A1 + A2 + B1 + B2}{100} * x + \frac{A1 + A2 + B1 + B2}{100} * x * 0,10 = C_1 \quad (6.8)$$

$$\frac{44,31}{100} * x + \frac{44,31}{100} * x * 0,10 = 1,236 * v_1$$

*A1.....Boden BKL 3-5 abtragen + laden (€/m³)*

*A2.....Boden BKL 3-5 wegschaffen (€/m³)*

*B1.....Schüttmaterial für ungebundene untere Tragschicht liefern (€/m³)*

*B2.....Schüttmaterial für ungebundene untere Tragschicht einbauen (€/m³)*

*C<sub>1</sub>.....Geokunststoff verlegen (€/m²)*

*v<sub>1</sub>.....Geokunststoffpreis (€/m²)*

*x.....Erhöhung der Schichtstärke (cm)*

Einlagiger Geokunststoffeinbau:								
$(A1+A2+B1+B2) =$		44,31 €/m <sup>3</sup>						
$C_1 =$		1,236 * v <sub>1</sub> €/m <sup>2</sup>						
Geokunststoffpreis v <sub>1</sub> :	1,00 €/m <sup>2</sup>	2,00 €/m <sup>2</sup>	3,00 €/m <sup>2</sup>	4,00 €/m <sup>2</sup>	5,00 €/m <sup>2</sup>	6,00 €/m <sup>2</sup>	7,00 €/m <sup>2</sup>	8,00 €/m <sup>2</sup>
Schichtstärkenerhöhung x:	2,5 cm	5,1 cm	7,6 cm	10,1 cm	12,7 cm	15,2 cm	17,8 cm	20,3 cm

Tabelle 6.13: Mögliche Schichtstärkenerhöhung der ungebundenen unteren Tragschicht bei einlagigem Geokunststoffeinbau

Anmerkung: Die angegebene Erhöhung der Schichtstärke bezieht sich auf einen Geländeeinschnitt. Das heißt, es ist auch ein zusätzlicher Bodenabtrag bis auf das Niveau des Unterbauplanums inkludiert. Bei Verkehrsflächen in Dammlage ergeben sich höhere Werte.

Durch die Anhebung der Schichtstärken ist auch mit einer Erhöhung der Lebensdauer zu rechnen. Für eine Annäherung dieser, werden folgende Schritte durchgeführt:

- 1.) Berechnung der strukturellen Kennzahl  $SNC_A$  nach Gleichung 3.8.
- 2.) Bestimmung des neu entstehenden Bemessungsnormallastwechsel  $BNLW_{neu}$  nach Gleichung 3.11.
- 3.) Abschätzung der Lebensdauererhöhung aus dem Verhältnis des Neuberechneten Bemessungsnormallastwechsels  $BNLW_{neu}$  und jenem der Lastklasse IV ( $BNLW_{IV}$ ).

Auswirkungen der Schichtstärkenerhöhung auf die Lebensdauer								
einlagiger Gkst.-Einbau	Gkst.-Preis $v_1$ [€/m <sup>2</sup> ]							
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
strukturelle Kennzahl Lastklasse IV	12,80	12,80	12,80	12,80	12,80	12,80	12,80	12,80
Schichtstärkenerhöhung [cm]	2,5	5,1	7,6	10,1	12,7	15,2	17,8	20,3
strukturelle Kennzahl NEU	13,00	13,21	13,41	13,61	13,82	14,02	14,22	14,42
$BNLW_{LKL IV}$	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000
$BNLW_{NEU}$	486.826	597.173	726.799	884.562	1.085.062	1.314.694	1.521.527	1.751.033
theoretische Erhöhung der Lebensdauer ( $BNLW_{NEU}/BNLW_{LKL IV}$ )	22 %	49 %	82 %	121 %	171 %	229 %	280 %	338 %
theoretische Erhöhung der Lebensdauer [Jahre]	8,7	19,7	32,7	48,5	68,5	91,5	112,2	135,1
angenommene Erhöhung der Lebensdauer (20 % der theoretischen LD) [Jahre]	1,7	3,9	6,5	9,7	13,7	18,3	22,4	27,0

Tabelle 6.14: Theoretische und angenommene Steigerung der Lebensdauer durch Erhöhung der ungebundenen unteren Tragschicht

Durch die Schichtstärkenanhebung der ungebundenen unteren Tragschicht kann man erkennen, dass sich in der theoretischen Betrachtung aufgrund der Erhöhung der strukturellen Kennzahl und dem Verhältnis der Normallastwechsel die Lebensdauer enorm erhöht. Die Ergebnisse in Tabelle 6.14 sind aber nicht realistisch, da vorzeitige Strukturschäden aufgrund anderer Einflüsse nicht zu verhindern sind. Es wird daher eine etwas vorsichtigere Annahme getroffen, und zwar indem die Erhöhung um 20% von jener des theoretischen Ansatzes aus dem Verhältnis der Normallastwechsel möglich ist.

### 6.2.11. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Interpretation

Nachstehend werden wie gehabt, Produkte der Firma TenCate Geosynthetics Austria GesmbH eingesetzt. Neben dem Geoverbundstoff *TenCate Polyfelt Rock PEC x/x* wird auch der Einsatz des aus hochzugfesten Polyestergeräten mit polymerer Schutzbeschichtung bestehenden Geogitters *TenCate Miragrid GX x/x* beleuchtet (60). Um für die Betrachtungen eine größere Bandbreite zu schaffen, wird das Geogitter *Fortrac*, vorzugsweise aus Polyester oder Polyvinylalkohol/Polyamid, der Firma Huesker Synthetic GmbH mit einbezogen.

Anmerkung: Nachdem nur die Bewehrungseffekte von Bedeutung sind, der Geoverbundstoff aber auch Trenn- und Filterfunktionen enthält, wird bei diesem der Preis eines sonst für diese Aufgaben notwendigen Geovliesstoffes abgezogen. Des Weiteren sind bei der Produktwahl Typen mit vergleichsweise geringeren Zugfestigkeiten herangezogen worden.

Für die wirtschaftlichen Überlegungen werden die nötige Erhöhung der Lebensdauer, wegen der Mehrkosten einer Geokunststoffbewehrung (gleiche Annuitäten), und die angenommene Anhebung der Lebenserwartung durch eine Schichtstärkenerhöhung der ungebundenen unteren Tragschicht gegenübergestellt. Eine Zusammenfassung der anhand der Produktpreise aus den Tabelle 6.12/14 interpolierten Werte ist in Tabelle 6.15 ersichtlich.

	Geokunststoff	Richtpreis *** (Stand 2011/12) [€/m <sup>2</sup> ]	notwendige Lebensdauererhöhung (Annuität) [Jahre]	mögliche Erhöhung der ungebundenen Unteren Tragschicht [cm]	angenommene Lebensdauererhöhung (Tragschichtenerhöhung) [Jahre]
einlagiger Einbau	TenCate Polyfelt Rock PEC 35/35	2,26 *	3,6 (9 %)	5,8	4,6 (12 %)
einlagiger Einbau	TenCate Miragrid GX 35/35	2,35	3,8 (10 %)	6,0	4,8 (12 %)
einlagiger Einbau	Fortrac (PES) 40/40-35 T	1,70 **	2,7 (7 %)	4,3	3,2 (8 %)
einlagiger Einbau	Fortrac (PVA/PA) R 40/40-30 M	2,50 **	4,1 (10 %)	6,4	5,2 (13 %)
zweilagiger Einbau	2 x Fortrac (PES) 40/40-35 T	3,40 **	5,7 (14 %)	8,6	7,8 (20 %)
zweilagiger Einbau	2 x TenCate Miragrid GX 35/35	4,70	8,1 (20 %)	11,9	12,5 (31 %)

\* aufgrund den enthaltenen Trenn- und Filterfunktionen wurde der Preis des Vliesstoffes *TenCate Polyfelt TS 850* (1,76 €/m<sup>2</sup>) abgezogen  
 \*\* Richtpreis für eine Liefermenge von ca. 5000 m<sup>2</sup>  
 \*\*\* Nettopreise, Zustellung ist "frei Bau"

**Tabelle 6.15: Gegenüberstellung der notwendigen Lebensdauer hinsichtlich der Annuitätengleichheit und Lebensdauererhöhung aufgrund einer Schichtstärkenerhöhung der ungebundenen unteren Tragschicht**

Anmerkung 1: Die angegebenen Tragschichterhöhungen beziehen sich auf einen einlagigen Geokunststoffeinbau und sind deshalb bei dem Einbau einer zweiten Lage etwas unter dem eigentlichen Wert.

Vergleicht man die Werte in Tabelle 6.15, so ist die anhand der strukturellen Kennzahl abgeschätzte Lebenserwartung durch eine Verstärkung der Tragschicht höher als die aufgrund der Annuitätengleichheit nötige Lebensdauer. Somit wäre eine Tragschichterhöhung wirtschaftlicher als die herkömmliche Ausführung. Dieses Argument gilt jedoch nur, wenn tatsächlich eine Steigerung der theoretischen Lebensdauer von 20% möglich ist und man mit der einmalig kalkulierten Instandsetzung der bituminösen Schichten auskommt. Des Weiteren ist dieser Aspekt auch von der Materialtransportstrecke abhängig. Der kritische Grenzbereich liegt hier bei einem Transportweg von > 30 Kilometer.

Ob die benötigte Lebenserwartung auch durch eine Geokunststoffbewehrung erreicht oder sogar überstiegen werden kann, ist fraglich. In Anbetracht des mit ansteigender Tragfähigkeit geringeren Einsparpotenzials der Tragschichtdicke (siehe Punkt 6.1.8) kann man davon ausgehen, dass mit einer Geokunststoffbewehrung zumindest kurz nach der Herstellung keine dementsprechende tragfähigkeitssteigernde Wirkung erzielt wird. Ob die strukturellen Schäden (Verformungen, Risse, etc.) soweit einzudämmen sind, damit die Bewehrung mit einer kostengleichen Erhöhung der Tragschichtdicke gleichzusetzen ist, müsste durch eine Langzeituntersuchung überprüft werden.

## 7. Fazit

Die Vorteile einer Geokunststoffbewehrung in Aufbauten von Straßen und sonstigen Verkehrsflächen liegen laut Literatur und Herstellerangaben darin, indem die Tragfestigkeit von Tragschichten erhöht und Verformungen sowie Setzungen reduziert werden. Dies bedeutet, dass bei einem wenig tragfähigem Boden, die für eine Sicherstellung der benötigten Tragfestigkeit notwendige Tragschichtstärke minimiert und die Lebensdauer eines bewehrten Oberbaues verlängert werden kann. Für eine Einschätzung der Wirtschaftlichkeit sind dabei zwei Punkte von Interesse. Zum Einen, die erforderliche Schichtstärkeeinsparung im Falle von Baugrundstabilisierungen durch eine Bodenauswechslung (Erhöhung der Frostschutzschicht) und zum Anderen eine notwendige Verlängerung der Lebensdauer des Oberbaues, damit sich die aufgrund einer Geokunststoffbewehrung entstehenden Mehrkosten bezahlt machen.

Bei den Betrachtungen einer Stabilisierung des Untergrundes hat sich nach Gegenüberstellung der Herstellungskosten gezeigt, dass sich anhand der von TenCate Geosynthetics angegebener möglichen Einsparung der Schichtstärke, der Geoverbundstoff *TenCate Polyfelt Rock PEC* (Vliesstoff + Geogitter) bei einer Tragfähigkeit des Untergrundes von  $\text{CBR} = 3\%$  ( $E_{V2} = 15 \text{ MN/m}^2$ ) ab 20 Kilometer Transportentfernung des Bodenmaterials rechnet. Bei einer höheren Untergrundtragfähigkeit ist das Materialeinsparpotential gegenüber den Mehrkosten des Geokunststoffeinbaues zu gering, es sei denn die Materialtransportstrecke ist länger als 50 Kilometer. Die Unwirtschaftlichkeit des Trenn- und Verstärkungsgeotextils *TenCate Polyfelt TS* (Vliesstoff) beginnt ab einer Tragfähigkeit von  $\text{CBR} > 3\%$  ( $E_{V2} > 15 \text{ MN/m}^2$ ).

Diese Angaben beziehen sich jedoch nur auf eine Schichtstärkeeinsparung, ohne Berücksichtigung der Nachhaltigkeit. In Anbetracht der Tatsache, dass die Einlage eines Trenn- und Verstärkungsgeotextils bei wenig tragfähigem Boden als Stand der Technik angesehen werden kann, um ein Eindringen des Schüttmaterials zu verhindern und die Kompaktheit der eingebauten Schicht auf Dauer zu erhalten (Filterstabilität bei Erhöhung der Frostschutzschicht), verschiebt sich die Rentabilität des Geoverbundstoffes hin zu einer Untergrundtragfähigkeit von  $\text{CBR} = 4\%$  ( $E_{V2} = 20 \text{ MN/m}^2$ ). Dieser Grenzbereich bestätigt sich auch bei Heranziehen des vergleichbaren Verbundstoffes *Duogrid* der Firma Huesker Synthetic GmbH. Die aufgrund der Mehrkosten des Geokunststoffeinbaues erforderliche

Schichtstärkeneinsparung von 4,8 Zentimeter wird dabei, je nach eingesetztem Produkt, ab einer Transportentfernungen des Boden- und Schüttmaterials zwischen 5 und 15 Kilometer erreicht. Bei einer höheren Tragfestigkeit des Untergrundes ist laut den herangezogenen Angaben mit keinen wesentlichen Einsparungen mehr zu rechnen und daher eine Bewehrung mit Absicht einer Reduzierung der Schichtstärken hinfällig. Werden andere als die verwendeten Angaben bezogen, so können für vergleichbare Produkte des Geoverbundstoffes *TenCate Polyfelt Rock PEC 35/35*, je nach Materialtransportstrecken, folgende erforderliche Schichtstärkeneinsparungen als Richtwerte einer rentablen Geokunststoffbewehrung dienen:

10 Kilometer:	$\geq 5$ cm
20 Kilometer:	$\geq 4$ cm
30 Kilometer:	$\geq 3,5$ cm
40 Kilometer:	$\geq 3$ cm

In Bezug auf einen Einsatz von Geokunststoffen für Bewehrungsaufgaben im Oberbau ist bei einer gegebenen Unterbautragfähigkeit von  $E_{V1} = 35$  MN/m<sup>2</sup> mit keinen nennenswerten Einsparungen der Schichtstärken zu rechnen. Eine Verringerung der Tragschichten wäre somit nicht nur unwirtschaftlich, sondern auch in Hinblick auf die Frostsicherheit keine gute Lösung. Die Begründung einer Geokunststoffbewehrung kann hierbei also nur in einer Erhöhung der Lebensdauer durch Eindämmung von Strukturschäden liegen. Nach Ermittlung der Investitions-, Instandsetzungs- und Rückbaukosten der unterschiedlichen Ausführungen (Bauweise mit und ohne Bewehrung) hat sich gemäß gleicher Annuitäten, bei den betrachteten Geokunststoffen und einer angenommenen Materialtransportstrecke von 10 Kilometer, eine nötige Steigerung der Lebenserwartung durch einlagigen Einbau von mindestens 7-10% und zweilagigen Einbau von mehr als 14-20% ergeben. Die angegebenen Werte beziehen sich auf „reine“ Bewehrungsaufgaben. Ob diese wirklich erreicht werden können ist jedoch schwer zu erfassen.

Eine andere Herangehensweise führte zu einem Vergleich zwischen den Mehrkosten einer Geokunststoffbewehrung und der dadurch möglichen Erhöhung der ungebundenen unteren Tragschicht bei einer Transportstrecke des Boden- und Schüttmaterials von ebenfalls 10 Kilometer. Nach Ermittlung der strukturellen Kennzahl kann der zulässige

Normallastwechsel bestimmt und so eine Abschätzung der zu erwartenden Lebensdauer vorgenommen werden. Bei einer vorsichtigen Annahme der theoretischen Lebenssteigerung, gemäß dem Verhältnis der Normallastwechsel von 20% hat sich herausgestellt, dass durch die Tragschichterhöhung, die aufgrund identer Annuitäten nötige Lebensdauer überschreitet und somit wirtschaftlicher als der ursprünglich bemessene Oberbau ist. Dabei muss jedoch erwähnt werden, dass sich diese Tatsache auf eine Materialtransportstrecke von < 30 Kilometer beschränkt. Innerhalb dieser Transportentfernung soll eine Geokunststoffbewehrung deshalb mindestens die Wirkung einer kostengleichen Erhöhung der ungebundenen unteren Tragschicht bewerkstelligen. Inwieweit Verformungen und andere auftretende Schäden durch das Bewehren tatsächlich eingeschränkt werden können, ist durch Langzeituntersuchungen festzustellen. Fakt ist, dass durch die Anhebung der Aufbaustärke des Oberbaues einerseits die auftretenden Kräfte schonender, mit weniger Intensität in den Untergrund/Unterbau eingeleitet werden, und andererseits der Frostschutz verbessert wird. Es ist daher sinnvoll vorab zu klären, ob die Mehrkosten einer Geokunststoffbewehrung nicht in eine Erhöhung der Tragschichten investiert werden sollen.

Abschließend sei noch erwähnt, dass es hinsichtlich einer wirtschaftlichen Betrachtung von unterschiedlichen Bauausführungen schwierig ist, eine generelle Aussage zu tätigen. Die auf die Kalkulation einflussnehmenden Leistungsansätze und Preise lassen sich nicht verallgemeinern, wodurch die Resultate einem mehr oder weniger großen Streubereich ausgeliefert sind. Im Falle einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung bei Aufbauten von Verkehrsflächen mit und ohne Geokunststoffbewehrung ist ein weiteres Problem, dass sich die tatsächlichen Auswirkungen einer Bewehrung schwierig einschätzen lassen. Dies ist auch mit unterschiedlich ausfallenden Versuchsergebnissen begründet. Die Aussagen dieser Arbeit beschränken sich also auf die angenommenen Leistungsansätze, ermittelten und angefragten Preise für den Raum Graz sowie nach dem herangezogenen möglichen Einsparungspotentials der Schichtstärken aufgrund einer Geokunststoffbewehrung.

---

## 8. Literatur

Bauer, Ulrich (2005): Enzyklopädie Betriebswirtschaftslehre. Lehrveranstaltungsskriptum Studienjahr 2005/06, Technische Universität Graz

Berg, Ryan R.; Christopher, Barry R.; Perkins, Steven (2000): Geosynthetic reinforcement of the aggregate base/subbase courses of pavement structures. GMA white paper. Hrsg. von Geosynthetic Materials Association. Roseville.

Fachverband der Bauindustrie der Wirtschaftskammer Österreich (2009): ÖBGL. Österreichische Baugeräteliste 2009. Technisch-wirtschaftliche Baumaschinendaten. Gütersloh: Bauverlag.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2005): Merkblatt über die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaues (M Geok E). Köln: FGSV-Verlag.

Haase, Clemens (2004): Untersuchungen zur Wirkungsweise und Bemessung von geokunststoffbewehrten Schichtsystemen in Verkehrswegen. Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden: FH., Dipl.

Hoffman, Manfred; Krause, Thomas (Hrsg.) (2011): Zahlentafeln für den Baubetrieb. 8. überarb. und akt. Aufl. Wiesbaden: Vieweg+Teubner.

Hoffmann, Markus (2011): Erhaltungsmanagement von Straßen. LVA 233.043. Technische Universität Wien.

Holtz, Robert D.; Christopher, Barry R.; Berg, Ryan R. (1998): Geosynthetic Design and Construction Guidelines. Hrsg. von National Highway Institute. Washington D.C.

Müller-Rochholz, Jochen (Hrsg.) (2005): Geokunststoffe im Erd- und Straßenbau. München: Werner Verlag.

ÖNORM EN ISO 10318 (2006): Geokunststoffe. Begriffe. Wien.

Perkins, S.W; Ismeik, M. (1997): A Synthesis and Evaluation of Geosynthetic-Reinforced Base Layers in Flexible Pavements: Part II. Technical Paper. Vol 4, No. 6. Hrsg. von Industrial Fabrics Association International. Roseville.

Pichler, Veronika (2002): Möglichkeiten zur Funktionsabgrenzung für Geokunststoffe in der Baugrundstabilisierung. Technische Universität Graz: Univ., Dipl.

Rüegger, Rudolf; Hufenus, Rudolf (2003): Bauen mit Geokunststoffen. Ein Handbuch für den Geokunststoff-Anwender. Hrsg. vom Schweizerischen Verband für Geokunststoffe (SVG). St. Gallen: Zollikofer AG.

RVS 03.08.63 (2008): Oberbaubemessung. Hrsg. von Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene - Verkehr.

RVS 8S.01.2 (1997): Baustoffe. Geotextilien im Unterbau. Hrsg. von Forschungsgesellschaft für das Verkehrs- und Straßenwesen.

RVS 08.03.01 (2010): Erdarbeiten. Hrsg. von Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene - Verkehr.

RVS 08.15.01 (2010): Ungebundene Tragschichten. Hrsg. von Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene - Verkehr.

RVS 08.16.01 (2010): Anforderungen an Asphalttragschichten. Hrsg. von Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr.

RVS 08.17.01 (2009): Mit Bindemittel stabilisierte Tragschichten. Hrsg. von Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr.

Saathoff, Fokke; Bräu, Gerhard (2009): Geokunststoffe in der Geotechnik und im Wasserbau. In: Grundbau-Taschenbuch Teil 2. Geotechnische Verfahren. Hrsg. von Karl Josef Witt. 7. Aufl. Berlin: Ernst&Sohn.

Saathoff, Fokke; Zitscher, Fritz-Ferdinand (2001): Geokunststoffe in der Geotechnik und im Wasserbau. In: Grundbautaschenbuch Teil 2. Geotechnische Verfahren. Hrsg. von Ulrich Smoltczyk. 6. Aufl. Berlin: Ernst&Sohn.

Weninger-Vycudil, Alfred (2001): Entwicklung von Systemelementen für ein österreichisches Pavement Management System. Technische Universität Wien: Univ., Diss.

**Internetquellen:**

(50) Huesker Synthetic GmbH: Ha Te Vliesstoffe, heruntergeladen am 10.07.2011, <http://www.huesker.de/geokunststoffe/produkte/hater-vliesstoffe/> .

(51) TenCate Geosynthetics: TenCate Polyfelt TS, heruntergeladen am 10.07.2011, <http://www.tencate.com/4481/TenCate/Geosynthetics/eu/de/de-TenCate-Geosynthetics-Europe/Produkte/Produkte-TenCate-Polyfelt-TS> .

(52) TenCate Geosynthetics: TenCate Polyfelt F, heruntergeladen am 10.07.2011, <http://www.tencate.com/4482/TenCate/Geosynthetics/eu/de/de-TenCate-Geosynthetics-Europe/Produkte/Produkte-TenCate-Polyfelt-F> .

(53) TenCate Geosynthetics: TenCate Polyfelt P, heruntergeladen am 10.07.2011, <http://www.tencate.com/4483/TenCate/Geosynthetics/eu/de/de-TenCate-Geosynthetics-Europe/Produkte/Produkte-TenCate-Polyfelt-P> .

(54) Huesker Synthetic GmbH: Stabilenkar, heruntergeladen am 10.07.2011, <http://www.huesker.de/geokunststoffe/produkte/stabilenkar/> .

(55) Huesker Synthetic GmbH: Robutec, heruntergeladen am 10.07.2011, <http://www.huesker.de/geokunststoffe/produkte/robutecr/> .

(56) TenCate Geosynthetics: TenCate Polyfelt Geolon PP, heruntergeladen am 10.07.2011, <http://www.tencate.com/4498/TenCate/Geosynthetics/eu/de/de-TenCate-Geosynthetics-Europe/Produkte/Produkte-TenCate-Polyfelt-Geolon-PP> .

(57) TenCate Geosynthetics: TenCate Polyfelt Geolon PET, heruntergeladen am 10.07.2011, <http://www.tencate.com/4497/TenCate/Geosynthetics/eu/de/de-TenCate-Geosynthetics-Europe/Produkte/Produkte-TenCate-Polyfelt-Geolon-PET> .

(58) Huesker Synthetic GmbH: Fortrac, heruntergeladen am 10.07.2011, <http://www.huesker.de/geokunststoffe/produkte/fortracsuprsup/> .

(59) Huesker Synthetic GmbH: Fornit, heruntergeladen am 10.07.2011, <http://www.huesker.de/geokunststoffe/produkte/fornitr/> .

- (60) TenCate Geosynthetics: TenCate Polyfelt Miragrid GX, heruntergeladen am 10.07.2011, <http://www.tencate.com/4496/TenCate/Geosynthetics/eu/de/de-TenCate-Geosynthetics-Europe/Produkte/TenCate-Polyfelt-Miragrid-GX> .
- (61) Archiproducts: Geosintex Interdrain, heruntergeladen am 10.07.2011, <http://www.archiproducts.com/de/produkte/6337/interdrain-geosintex.html> .
- (62) Huesker Syntetic GmbH: Fortrac 3D, heruntergeladen am 10.07.2011, <http://www.huesker.de/geokunststoffe/produkte/fortrac-3dr/> .
- (63) Tenax Kunststoffe GmbH: Geotechnik, Produkte, heruntergeladen am 10.07.2011, [http://www.tenax-net.de/1/geokunststoffe/produkte/TENAX\\_produkte3.htm#](http://www.tenax-net.de/1/geokunststoffe/produkte/TENAX_produkte3.htm#) .
- (64) Tenax Kunststoffe GmbH: Geotechnik, Produkte, heruntergeladen am 10.07.2011, [http://www.tenax-net.de/1/geokunststoffe/produkte/TENAX\\_produkte2.htm#](http://www.tenax-net.de/1/geokunststoffe/produkte/TENAX_produkte2.htm#) .
- (65) Huesker Syntetic GmbH: Comtrac, heruntergeladen am 10.07.2011, <http://www.huesker.de/geokunststoffe/produkte/comtracr/> .
- (66) Huesker Syntetic GmbH: Duogrid, heruntergeladen am 10.07.2011, <http://www.huesker.de/geokunststoffe/produkte/duogridr/> .
- (67) TenCate Geosynthetics: TenCate Polyfelt DC, heruntergeladen am 10.07.2011, <http://www.tencate.com/4491/TenCate/Geosynthetics/eu/de/de-TenCate-Geosynthetics-Europe/Produkte/Produkte-TenCate-Polyfelt-DC> .
- (68) TenCate Geosynthetics: TenCate Polyfelt Megadrain, heruntergeladen am 10.07.2011, <http://www.tencate.com/4485/TenCate/Geosynthetics/eu/de/de-TenCate-Geosynthetics-Europe/Produkte/Produkte-TenCate-Polyfelt-Megadrain> .
- (69) Huesker Syntetic GmbH: Duogrid, heruntergeladen am 10.07.2011, <http://www.huesker.de/geokunststoffe/produkte/duogridr/> .
- (70) TenCate Geosynthetics: Straßenbau, heruntergeladen am 10.07.2011, <http://www.tencate.com/4475/TenCate/Geosynthetics/eu/de/de-TenCate-Geosynthetics-Europe/Anwendungen/Straenbau> .
- (71) Naue GmbH & Co. KG: Anwendungsfotos, heruntergeladen am 10.07.2011, <http://www.naue.com/de/anwendungen/fotos.html> .

- 
- (72) Huesker Syntetic GmbH: NaBento, heruntergeladen am 10.07.2011, <http://www.huesker.de/geokunststoffe/produkte/nabentor/> .
- (73) Zeugner. A: Hydraulikbagger Liebherr R 916 Litronic, heruntergeladen am 11.12.2011, <http://www.geniusstrand.de/30-05-2011/crawler-excavator-liebherr-r-916-litronic> .
- (74) Adolf Schweiger GmbH & Co. KG: Vierachser, heruntergeladen am 12.12.2011, <http://www.schweiger-transporte.de/index.php?id=32> .
- (75) Libherr Stavební stroje CZ s.r.o.: Buldozer Liebherr PR 714, heruntergeladen am 12.12.2011, <http://stavebni-technika.cz/clanky/buldozer-liebherr-pr-714/> .
- (76) Mascus: Bomag BW 211 D-4, heruntergeladen am 12.12.2011, <http://www.mascus.de/Baumaschinen/Walzen/Bomag-BW-211-D-4/1A46F4F8.html> .
- (77) Bouw Materieel: Liebherr 309, heruntergeladen am 12.12.2011, <http://www.bouwmaterieel.nl/nieuws/1663/nieuwe-liebherr-309-voor-mooiweer-kraanverhuur.html> .
- (78) TenCate Geosynthetics: TenCate Polyfelt Rock PEC, heruntergeladen am 08.01.2012, <http://www.tencate.com/4493/TenCate/Geosynthetics/eu/de/de-TenCate-Geosynthetics-Europe/Produkte/Produkte-TenCate-Polyfelt-Rock-PEC> .
- (79) Baumafreddi: Maschinen von New Holland, heruntergeladen am 16.01.2012, [http://baumafreddi.de/Fotos\\_Baumaschinen/New\\_Holland\\_Maschinen/New\\_Holland\\_Maschinen.html](http://baumafreddi.de/Fotos_Baumaschinen/New_Holland_Maschinen/New_Holland_Maschinen.html) .

## 9. Anhang

### 9.1. Ermittlung des Mittellohnpreises

MITTELLOHNPREIS		FORMBLATT K 3 NEU	
		Datum: 12/2011	
<b>Beschäftigungsgruppe laut KV.: Bauindustrie und Baugewerbe</b>		Kalkulierte Beschäftigte	Anzahl: 12
KV-Gruppe:	/ IIb / IIIa / IVb / ..... / ..... / ..... / ..... /	Kalkulierte Wochenarbeits-Zeit,	h: 39
KV-Lohn:	/ 11,66 / 11,65 / 9,92 / ..... / ..... / ..... / ..... /	Aufzahlung für Mehrarbeit:	
Anteil in %:	/ 7,5 / 85 / 7,5 / ..... / ..... / ..... / ..... / = 100 %	.....% .....h / .....h / .....% .....h	
		%	Betrag
<b>A Kollektivvertraglicher MITTELLOHN - REGIELOHN - GEHALT</b>		100,00	11,84
B Umlage unproduktives Personal	% von A	0,00	0,00
C Aufzahlungen aus Zusatzkollektivverträgen	% von A + B (A + B = 11,84		
D Überkollektivvertraglicher Mehrlohn	% von A + B	9,70	1,15
E Aufzahlung für Mehrarbeit	% von A + B	0,00	0,00
F Aufzahlung für Erschwernisse	% von A + B	10,00	1,18
G Andere abgabenpflichtige Lohnbestandteile	% von A + B	0,00	0,00
<b>H MITTELLOHN - REGIELOHN - GEHALT</b> (% = Betrag H * 100 / Betrag A)	(Betrag = A bis G)	119,70	14,18
I Andere nicht abgabenpflichtige Lohnbestandteile	% von H	7,68	1,09
J Direkte Lohnnebenkosten	% von H	26,90	3,81
K Umgelegte Lohnnebenkosten	% von H	81,69	11,58
L Andere lohngebundene Kosten	% von H	11,50	1,63
<b>M MITTELLOHN - REGIELOHN - GEHALT - KOSTEN</b> (% = M * 100 / Betrag A)	(Betrag = H bis L)	272,64	32,29
<b>Gesamtzuschlag in % auf:</b>	Gerät	Material	Fremdl.
N Geschäftsgemeinkosten	.....	.....	.....
O Bauzinsen	.....	.....	.....
P Wagnis	.....	.....	.....
Q Gewinn	.....	.....	.....
R Gesamtzuschlag	.....	.....	.....
S Summe ( % ) N bis R	.....	.....	.....
<b>T Gesamtzuschlag:</b> S*100/(100-S) %	.....	.....	.....
		11	11
		12,36 (% auf M)	3,99
<b>U MITTELLOHN-REGIELOHN-GEHALT-PREIS</b> (% = U * 100 / A)	(Betrag = M + T)	306,34	36,28
<b>In Sonderfällen: Umlage der Baustellen-Gemeinkosten auf Leistungsstunden</b>			
auf MLP - RLP - GP ( Baustellen-Gemeinkosten / h = Betrag in V)		1,00 h	
V Umgelegt sind:		0,00 Euro	0,00%
<b>W MLP - RLP - GP mit Umlage der Gemeinkosten</b> (% = W * 100 / A)	(Betrag = U + V)	306,34	36,28

KALKULIERTE MANNSCHAFT						HILFSBLATT 1			
						Datum: 12/2011			
Arbeitnehmer				KV-Lohn		Überkollektivvertraglicher			
				Währung (€)		Mehrlohn			
KV-Gruppe	Bezeichnung	%	Anzahl	je Std.	Betrag	% von KV-Lohn	je Std.	Betrag	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1 II b	Facharbeiter	7,5	1	12,00	12,00	15	1,8	1,80	
2 III a	angelernter Bauarbeiter	85	10	11,99	119,9	10	1,199	11,99	
3 IV b	Bauhilfsarbeiter	7,5	1	10,21	10,21	0	0	0,00	
					0			0,00	
					0			0,00	
					0			0,00	
					0			0,00	
					0			0,00	
					0			0,00	
A	Lohnsumme produktives Personal		12	XXXXX	142,1	XXXX	XXXX	13,79	
	unproduktives Personal	XX	0	0	0	0	0	0,00	
		XX							
B	Lohnsumme unproduktives Personal				0			0,00	
C	Lohnsumme einschl. unproduktives Personal				142,1			13,79	
Kollektivvertraglicher Mittellohn					A6:A4	K 3 Zeile A		11,84	
Umlage unproduktives Personal					B6:A4	K 3 Zeile B		0,00	
Überkollektivvertragliche Mehrlöhne					C9:A4	K 3 Zeile D		1,15	

AUFZAHLUNGEN FÜR MEHRARBEIT						HILFSBLATT H2A		
AUFZAHLUNGEN FÜR ERSCHWERNISSE						Datum: 12/2011		
Aufzahlung für Mehrarbeit	Anzahl der Arb.-Std.	Anzahl der Verr.-Std.	% Aufzahlg.	Faktor	Summe % 1(2)x3x4	% je Arb.-Std.		
	1	2	3	4	5	6		
A Normalarbeitszeit/*	39	xxxxxxxxxxxx	0	0	0,00			
B1 Überstunden/*	0	xxxxxxxxxxxx	0	0	0,00			
B2 Überstunden/*	0	xxxxxxxxxxxx	0	0	0,00			
C1 Aufzahlung/* für Gutstunden	xxxxxxx		0	0	0,00			
C2 Aufzahlung/* für	xxxxxxx				0,00			
C3 Aufzahlung/* für	xxxxxxx				0,00			
D Mehrarbeit	0	0	0	0	0,00			
E Summe Aufzahlung für Mehrarbeit in %	39				0,00	0,00		
						K3 Zeile E		
Aufzahlung für Erschwernisse	% der Zeit	% des Arbeiterstandes	% des KV-Lohnes	7x8x9	100x100			
	7	8	9	10				
F Schmutz- und Abbruchsarbeiten	100	100	10	10				
G								
H								
I								
J Summe Aufzahlung für Erschwernisse in %	Summe F10 bis I10				10,00			
						K3 Zeile F		

HILFSBLATT H2B																	
Datum: 12/2011																	
Baudauer gesamt:		[Mo]	[Wo]	[t]	[Dek]												
AZM: Lange Woche		1	4,33	30,31	2,165												
AZM: Kurze Woche		0	0	0	0												
AZM: Restliche Zeit		0	0	0	0												
AZM: Dekade		0	0	0	0												
Tägliche Arbeitszeit		Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Summe	Anzahl Tage Taggeld groß [t/*]	Anzahl Tage Taggeld mittel [t/*]	Anzahl Tage Taggeld klein [t/*]					
[h]																	
verwendetes AZM:																	
Lange Woche		9	9	9	9	6	xxxx	xxxx	42	0	4	1					
Kurze Woche		9	9	9	9	xxxx	xxxx	xxxx	36	0	4	0					
Restliche Zeit		0	0	0	0	0	xxxx	xxxx	0	0	0	0					
Dekade 1. Hälfte		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Dekade 2. Hälfte		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
SUMME:																	
Σ Dauer [t/*] * Anzahl Tage Taggeld [t/*] = Anzahl Tage mit Anspruch [t]																	
Dienstreisevergütungen		% d. Beleg- schaft v. prod. Arb.		Betrag Währung [....€,....]		Anzahl der Arbeitstage mit Anspruch [t]		Anz.d.Arbeits- tage mit Anspruch* [t/*]		Ausfallzeit [%]		Tatsächlicher Anspruch [t/*]		Betrag* abgabepfl. [€/*]		nicht abgabepfl. [€/*]	
M	Taggeld groß	0	0	11	26,40	13	14	15	16	17	18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N	Taggeld mittel	0	0	100	15,03	9,43	4,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
O	Taggeld klein	0	0	0	9,43	11,24	0	0,00	0,00	0,00	0,00	4,50	0,00	0,00	0,00	0,00	42,44
P	Übernachtungsgeld	0	0	0	11,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Q	Fahrtkostenvergütung	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
R	Heimfahrten	0	0	0	0,00	0,00	4	4	4	4	4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S	Heimfahrten	0	0	0	0,00	0,00	4	4	4	4	4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T	An- und Rückreise	0	0	0	0,00	0,00	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
U																	
V	Summe M17 bis U17 bis U16											je *				0,00	42,44
W	Zuschlag für unproduktives Personal											0 % v. V				0,00	0,00
X	Summe V17 + W17, V18 + W18											je *				0,00	42,44
Y	SUMME SONDERERSTATTUNGEN JE MITTELLOHNSTUNDE X17:E1; X18:E1											je Std.				0,00	1,09
												K3 Zeile G		K3 Zeile I			



## 9.2. Ermittlung der Gerätepreise

BAUGERÄTE-BETRIEBSKOSTEN						Formblatt K6E			
						Preisbasis: 2008		Datum: 12/2011	
A	ÖBGL-Nr.: <b>D.1</b>	Gerät:	<b>Hydraulikbagger mit Raupenfahrwerk &gt; 6 to</b>						
B	Hydraulikbagger > 6 to mit Zubehör; Leistung 115kW								
						A+V		Reparatur	
Stk	ÖBGL - Nr	Bezeichnung	kW	Masse	Mittl.NW.	%	€	%	€
1	D.1.00.0115	Hydraulikbagger	115,00	19,30 to	210.000,00	2,30	4.830,00	1,60	3.360,00
1	D.1.40.0115	Monoblockausleger		2,18 to	21.300,00	2,30	489,90	1,60	340,80
1	D.1.43.0115	Stiel mit Hydraulikzyl.		1,25 to	15.000,00	2,30	345,00	1,60	240,00
1	D.1.43.0115-AC	Schnellwechseleinr.		0,08 to	14.200,00	2,30	326,00	1,60	227,00
1	D.1.61.1160	Grabenräumlöffel 1160l		0,70 to	3.860,00	3,01	116,00	1,99	77,00
1	D.1.61.1160-AD	Schnellwechseleinr. GL		0,14 to	1.930,00	3,01	58,00	1,99	38,50
C	Summe :		115,00	23,65 to	266.290,0		6.164,9		4283,30
D	GHP - Index		94,10%		250.578,9		5.801,2		4.030,6
E	Abminderung A+V und REP		40,00%	60,00%			2.320,5		2.418,4
	Aufteilung Reparatur nach Lohn / Stoff						60,00%	40,00%	
	Kosteneinteilung je Einheit					LohnStd	Lohn S	Stoff S	Gerät S
F	Beistellkosten je Monat						1.451,0	967,3	2.320,5
G	Beistellkosten je Stunde			170,0 h/mon			8,54	5,69	13,65
H	Bedienung					incl. Wartung	1,10		
I	Betriebsstoffe	Kwh*/kwh*€/l*1.1 l/kwh	0,16	€/l:	1,25			25,30	
J	Sonstige Kosten, Verschleißteile								
K	Mittelohnkosten			32,29 €/Std					
L	Gerätekosten je Stunde		Summe: F bis J		1,25	35,52	8,54	30,99	13,65
M	Gerätekosten je Verrechnungseinheit		1	LN		35,52	8,54	30,99	13,65
							GZ Lohn	GZ Stoff	GZ Gerät
N	Werte aus K3 - Blatt						12,36%	12,36%	12,36%
O	Gerätepreis je Stunde					39,91	9,59	34,82	15,34
P	Preis (Lohn + Sonstiges) je Stunde					49,50		50,16	
Q	Preis pro Stunde					99,66			
R	Preis pro Einheit					99,66			

BAUGERÄTE-BETRIEBSKOSTEN						Formblatt K6E			
						Preisbasis: 2008		Datum: 12/2011	
A	ÖBGL-Nr.: <b>D.1</b>	Gerät: <b>Hydraulikbagger auf Rädern &gt; 6 to</b>							
B	Hydraulikbagger > 6 to mit Zubehör; Leistung 60 kW								
						A+V		Reparatur	
Stk	ÖBGL - Nr	Bezeichnung	kW	Masse	Mittl.NW.	%	€	%	€
1	D.1.01.0060	Hydraulikbagger	60,00	11,00 to	130.500,00	2,30	3.000,00	1,59	2.080,00
1	D.1.01.0060-AH	Schildabstützung		0,50 to	7.050,00	2,30	162,00	1,60	113,00
1	D.1.41.0060	Auslegerunterteil		0,76 to	11.800,00	2,29	270,00	1,59	188,00
1	D.1.42.0060	Auslegeroberteil		0,73 to	8.200,00	2,30	189,00	1,60	131,00
1	D.1.43.0060	Stiel mit Hydraulikzyl.		0,56 to	8.100,00	2,30	186,00	1,60	130,00
1	D.1.43.0060-AC	Schnellwechseleinr.		0,08 to	5.950,00	2,29	136,00	1,60	95,00
1	D.1.60.0400	Tieflöffel (400l)		0,47 to	2.550,00	2,00	51,00	2,00	51,00
1	D.1.60.0500-AC	Lasthaken			454,00	2,00	9,10	2,00	9,10
1	D.1.60.0500-AD	Schnellwechseleinr. TL		0,09 to	1.275,00	2,00	25,50	2,00	25,50
C	Summe :		60,00	14,19 to	175.879,0		4.028,6	15,6	2822,60
D	GHP - Index		94,10%		165.502,1		3.790,9		2.656,1
E	Abminderung A+V und REP		40,00%	60,00%			1.516,4		1.593,6
Aufteilung Reparatur nach Lohn / Stoff							60,00%	40,00%	
Kostenentwicklung je Einheit						LohnStd	Lohn S	Stoff S	Gerät S
F	Beistellkosten je Monat						956,2	637,5	1.516,4
G	Beistellkosten je Stunde			170,0 h/mon			5,62	3,75	8,92
H	Bedienung					incl. Wartung	1,10		
I	Betriebsstoffe	Kwh*/l/kwh*€/l*1.1	l/kwh	0,16	€/l:	1,25		13,20	
J	Sonstige Kosten, Verschleißteile								
K	Mittellohnenkosten			32,29 €/Std					
L	Gerätekosten je Stunde		Summe: F bis J		1,25	35,52	5,62	16,95	8,92
M	Gerätekosten je Verrechnungseinheit		1 LN			35,52	5,62	16,95	8,92
							GZ Lohn	GZ Stoff	GZ Gerät
N	Werte aus K3 - Blatt						12,36%	12,36%	12,36%
O	Gerätepreis je Stunde					39,91	6,32	19,04	10,02
P	Preis (Lohn + Sonstiges) je Stunde					46,23		29,07	
Q	Preis pro Stunde						75,30		
R	Preis pro Einheit						75,30		

BAUGERÄTE-BETRIEBSKOSTEN						Formblatt K6E				
						Preisbasis: 2008		Datum: 12/2011		
A	ÖBGL-Nr.:	<b>D.7</b>	Gerät:	<b>Planiererraupe</b>						
B	Planiererraupe mit A-Schild; Leistung 90 kW									
						A+V		Reparatur		
Stk	ÖBGL - Nr	Bezeichnung	kW	Masse	Mittl.NW.	%	€	%	€	
1	D.4.00.0090	Planiererraupe	90,00	14,00 to	184.000,00	3,21	5.900,00	3,10	5.700,00	
1	D.4.00.0090-04	Planierschild Bauform A			29.440,00	3,20	942,08	3,10	912,64	
C	Summe :		90,00	14,00 to	213.440,0		6.842,1	6,2	6612,64	
D	GHP - Index		94,10%		200.847,0		6.438,4		6.222,5	
E	Abminderung A+V und REP		40,00%	60,00%			2.575,4		3.733,5	
	Aufteilung Reparatur nach Lohn / Stoff							60,00%	40,00%	
	Kostenentwicklung je Einheit						LohnStd	Lohn S	Stoff S	Gerät S
F	Beistellkosten je Monat							2.240,1	1.493,4	2.575,4
G	Beistellkosten je Stunde					170,0	h/mon	13,18	8,78	15,15
H	Bedienung						incl. Wartung	1,10		
I	Betriebsstoffe	Kwh*/l/kwh*€/l*1.1	l/kwh:	0,16	€/l:	1,25			19,80	
J	Sonstige Kosten, Verschleißteile									
K	Mittelohnkosten					32,29	€/Std			
L	Gerätekosten je Stunde					Summe: F bis J	1,25	35,52	13,18	28,58
M	Gerätekosten je Verrechnungseinheit					1	LN	35,52	13,18	28,58
								GZ Lohn	GZ Stoff	GZ Gerät
N	Werte aus K3 - Blatt							12,36%	12,36%	12,36%
O	Gerätepreis je Stunde						39,91	14,81	32,12	17,02
P	Preis (Lohn + Sonstiges) je Stunde						54,71		49,14	
Q	Preis pro Stunde							103,85		
R	Preis pro Einheit							103,85		

BAUGERÄTE-BETRIEBSKOSTEN						Formblatt K6E			
						Preisbasis: 2008		Datum: 12/2011	
A	ÖBGL-Nr.:	<b>D.8</b>	Gerät:	<b>Vibrationsglatzwalze, Walzenzug</b>					
B	Vibrationsglatzwalze, Walzenzug mit Zusatzausrüstung; Betriebsgewicht 11 to								
						A+V		Reparatur	
Stk	ÖBGL - Nr	Bezeichnung	kW	Masse	Mittl.NW.	%	€	%	€
1	D.8.31.1100	Vibrationsglatzwalze	92,00	11,00 to	109.500,00	3,80	4.160,00	2,59	2.840,00
1	D.8.31.1500-AA	Verdichtungskontrollgerät			5.100,00	3,80	194,00	2,61	133,00
C			Summe :	92,00	11,00 to	114.600,0	4.354,0	5,2	2973,00
D			GHP - Index	94,10%		107.838,6	4.097,1		2.797,6
E			Abminderung A+V und REP	40,00%	60,00%		1.638,8		1.678,6
Aufteilung Reparatur nach Lohn / Stoff							60,00%	40,00%	
Kostenentwicklung je Einheit						LohnStd	Lohn S	Stoff S	Gerät S
F	Beistellkosten je Monat						1.007,1	671,4	1.638,8
G	Beistellkosten je Stunde			170,0	h/mon		5,92	3,95	9,64
H	Bedienung				incl. Wartung	1,10			
I	Betriebsstoffe	Kwh*/l/kwh*€/l*1.1	l/kwh:	0,16	€/l:	1,25		20,24	
J	Sonstige Kosten, Verschleißteile								
K	Mittelohnkosten			32,29	€/Std				
L	Gerätekosten je Stunde		Summe: F bis J		1,25	35,52	5,92	24,19	9,64
M	Gerätekosten je Verrechnungseinheit		1	LN		35,52	5,92	24,19	9,64
						GZ Lohn	GZ Stoff	GZ Gerät	
N	Werte aus K3 - Blatt						12,36%	12,36%	12,36%
O	Gerätepreis je Stunde					39,91	6,66	27,18	10,83
P	Preis (Lohn + Sonstiges) je Stunde					46,57		38,01	
Q	Preis pro Stunde						84,58		
R	Preis pro Einheit						84,58		

BAUGERÄTE-BETRIEBSKOSTEN						Formblatt K6E				
						Preisbasis: 2008		Datum: 12/2011		
A	ÖBGL-Nr.: <b>P.2</b>	Gerät:	<b>LKW (Vierachser)</b>							
B	LKW (Vierachser), 8x4; Leistung 260 kW									
						A+V		Reparatur		
Stk	ÖBGL - Nr	Bezeichnung	kW	Masse	Mittl.NW.	%	€	%	€	
1	P.2.02.0320	LKW 8x4 (zul Gesamtg. 32 to)	260,00	9,50 to	176.000,00	2,10	3.690,00	2,20	3.870,00	
1	P.2.12.0350-AD	Hinterkipperereinrichtung		2,38 to	26.400,00	2,10	554,40	2,20	580,80	
C			Summe :	260,00	11,88 to	202.400,0	4.244,4	4,4	4450,80	
D			GHP - Index	94,10%		190.458,4	3.994,0		4.188,2	
E			Abminderung A+V und REP	40,00%	60,00%		1.597,6		2.512,9	
Aufteilung Reparatur nach Lohn / Stoff							60,00%	40,00%		
Kostenentwicklung je Einheit						LohnStd	Lohn S	Stoff S	Gerät S	
F	Beistellkosten je Monat						1.507,8	1.005,2	1.597,6	
G	Beistellkosten je Stunde			170,0	h/mon		8,87	5,91	9,40	
H	Bedienung				incl. Wartung	1,10				
I	Betriebsstoffe	Kwh*/l/kwh*€/l*1.1	l/kwh:	0,07	€/l:	1,25		25,03		
J	Sonstige Kosten, Verschleißteile									
K	Mittellohncosten			32,29	€/Std					
L	Gerätekosten je Stunde			Summe: F bis J		1,25	35,52	8,87	30,94	9,40
M	Gerätekosten je Verrechnungseinheit			1	LN		35,52	8,87	30,94	9,40
						GZ Lohn	GZ Stoff	GZ Gerät		
N	Werte aus K3 - Blatt									
						12,36%	12,36%	12,36%		
O	Gerätepreis je Stunde						39,91	9,97	34,76	10,56
P	Preis (Lohn + Sonstiges) je Stunde						49,87		45,32	
Q	Preis pro Stunde							95,20		
R	Preis pro Einheit							95,20		

BAUGERÄTE-BETRIEBSKOSTEN						Formblatt K6E			
						Preisbasis: 2008		Datum: 12/2011	
A	ÖBGL-Nr.:	<b>D.7</b>	Gerät:	<b>Grader, Knicklenkung 6x4</b>					
B	Grader, Knicklenkung 6x4 mit Zusatzausrüstung; Leistung 105 kW								
						A+V		Reparatur	
Stk	ÖBGL - Nr	Bezeichnung	kW	Masse	Mittl.NW.	%	€	%	€
1	D.7.01.0105	Grader	105,00	13,50 to	215.500,00	2,90	6.250,00	2,69	5.800,00
1	D.7.02.0130-AB	Klimaanlage (3% MW)			6.465,00	2,90	187,49	2,70	174,56
1	D.7.02.0130-04	Vorplanierschild (4% MW)			8.620,00	2,90	249,98	2,70	232,74
C			Summe :	105,00	13,50 to	230.585,0	6.687,5	8,1	6207,30
D			GHP - Index	94,10%		216.980,5	6.292,9		5.841,1
E			Abminderung A+V und REP	40,00%	60,00%		2.517,2		3.504,6
Aufteilung Reparatur nach Lohn / Stoff							60,00%	40,00%	
Kostenentwicklung je Einheit						LohnStd	Lohn S	Stoff S	Gerät S
F	Beistellkosten je Monat						2.102,8	1.401,9	2.517,2
G	Beistellkosten je Stunde			170,0	h/mon		12,37	8,25	14,81
H	Bedienung					incl. Wartung	1,10		
I	Betriebsstoffe	Kwh*/l/kwh*€/l*1.1	l/kwh:	0,16	€/l:	1,25		23,10	
J	Sonstige Kosten, Verschleißteile								
K	Mittellohnkosten			32,29	€/Std				
L	Gerätekosten je Stunde		Summe: F bis J		1,25		35,52	12,37	31,35
M	Gerätekosten je Verrechnungseinheit		1	LN			35,52	12,37	31,35
						GZ Lohn	GZ Stoff	GZ Gerät	
N	Werte aus K3 - Blatt						12,36%	12,36%	12,36%
O	Gerätepreis je Stunde						39,91	13,90	35,22
P	Preis (Lohn + Sonstiges) je Stunde						53,81		51,86
Q	Preis pro Stunde						105,66		
R	Preis pro Einheit						105,66		

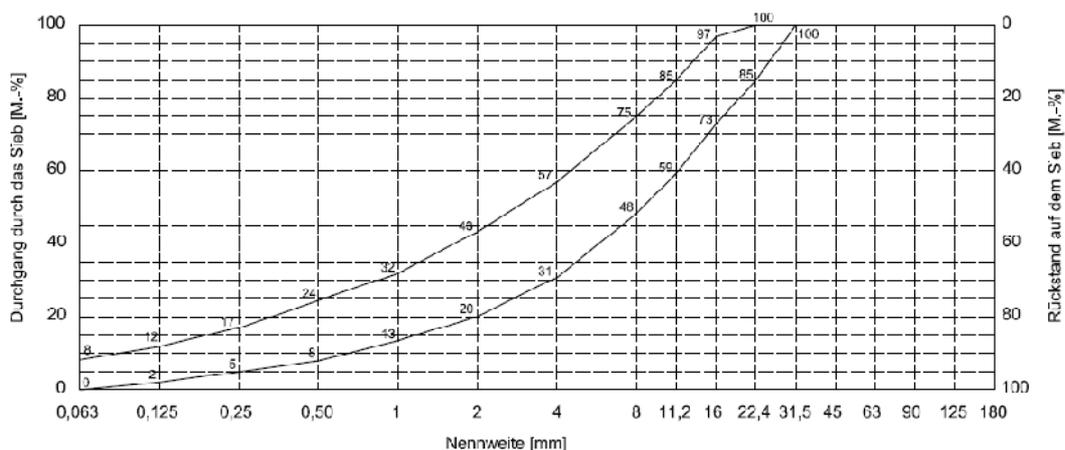
### 9.3. Anforderungen an das Korngemisch von ungebundenen Tragschichten gem. RVS 08.15.01 (2010)

Bezug zur ÖNORM EN 13242		Klassen für									
		ungebundene Obere Tragschicht					ungebundene Untere Tragschicht			ungebundene Tragschichten ohne gebundene Überbauung	
		für alle LK		LK II bis VI			für alle LK				
Ab-schnitt	Merkmal	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10
4.3.1	Korngrößenverteilung gemäß ÖNORM EN 933-1	$G_A 85$ und nachstehende Sieblinienbereiche					$G_A 85$			$G_A 75$	
4.4	Kornform von groben Gesteinskörnungen gemäß ÖNORM EN 933-4	$SI_{40}$					$SI_{NR}$				
4.5	Anteil gebrochener Körner in groben Gesteinskörnungen gemäß ÖNORM EN 933-5 <sup>1)</sup>	$C_{90/3}$	$C_{50/30}$	$C_{90/3}$	$C_{50/30}$	$C_{NR}$	$C_{90/3}$	$C_{50/30}$	$C_{NR}$	$C_{50/30}$	$C_{NR}$
4.6	Gehalt an Feinanteilen gemäß ÖNORM EN 933-1	$f_3, f_5, f_7, f_9, f_{12}$								$f_{NR}$	
4.7	Qualität der Feinanteile	bestanden <sup>2)</sup>								keine Anforderung	
5.2	Widerstand gegen Zertrümmerung gemäß ÖNORM EN 1097-2 (an Korngruppe 8/11)	$LA_{30}$		$LA_{40}$						$LA_{NR}$	
5.5	Wasseraufnahme gemäß ÖNORM EN 1097-6, Abschnitt 8	Wasseraufnahme v. Recyclingbaustoffen geprüft am Kornanteil 4/32, rezyklierte Gesteinskörnungen mit Kategorie $Rc_{90}$ oder $Rc_{80} \leq 4\%$ <sup>3)</sup> Sonstige rezyklierte Gesteinskörnungen $\leq 2\%$ <sup>3)</sup> Natürliche Gesteinskörnungen: keine Anforderungen								keine Anforderung	
5.6	Klassifizierung der Bestandteile von groben rezyklierten Gesteinskörnungen gemäß ÖNORM 933-11	$Rc_{90}, Rc_{80}, Rc_{70}, Rc_{50}, Rc_{anzugeben}, Rc_{NR}$ $Rcug_{50}, Rcug_{NR}$ $Ra_{40}, Ra_{30}, Ra_{30-}, Ra_{20-}, Ra_{10-}, Ra_{5-}, Ra_{1-}, Ra_{NR}$ $Rg_{2-}$ $X_{1-}$ $FL_{5-}$									
		$Rb_{10-}$								$Rb_{10-}, Rb_{30-}, Rb_{50-}, Rb_{anzugeben}, Rb_{NR}$	

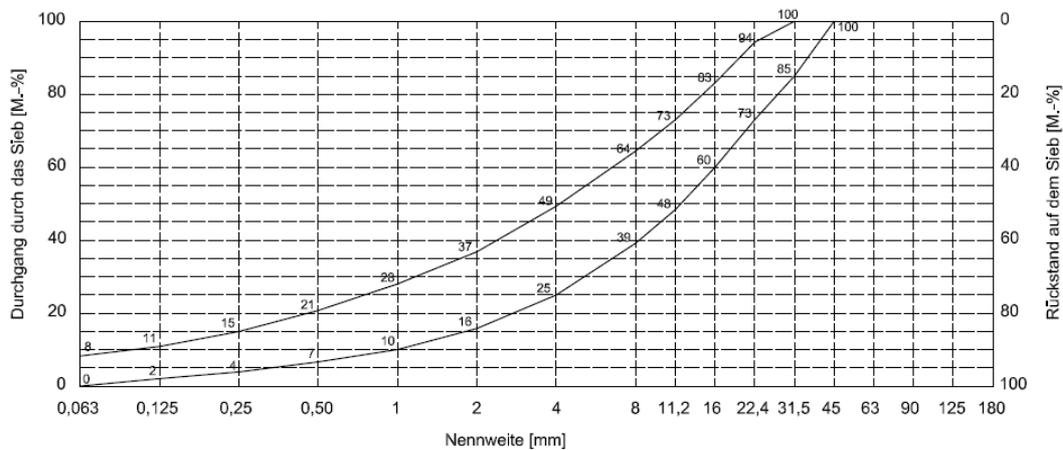
Bezug zur ÖNORM EN 13242		Klassen für									
		ungebundene Obere Tragschicht					ungebundene Untere Tragschicht			ungebundene Tragschichten ohne gebundene Überbauung	
		für alle LK		LK II bis VI			für alle LK				
Ab-schnitt	Merkmal	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10
6.5.2.1	Raubbeständigkeit von Stahlwerkschlacken gemäß ÖNORM EN 1744-1	$V_5$								$V_{NR}$	
6.5.2.2	Dicalciumsilikatzerfall in Hochofenstückschlacke gemäß ÖNORM EN 1744-1	anzugeben									
6.5.2.3	Eisenerfall in Hochofenstückschlacke gemäß ÖNORM EN 1744-1	anzugeben									
7.2	Sonnenbrand von Basalt gemäß ÖNORM EN 1367-3 und ÖNORM EN 1097-2	$SB_{LA} 8$								$SB_{NR}$	
7.3.2	Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel der Kornklasse 8/16 gemäß ÖNORM EN 1367-1	$F_2$ <sup>4)</sup> und $F_4$ <sup>5)</sup>								$F_{NR}$	
-	Umweltverträglichkeit für rezyklierte und industriell hergestellte Gesteinskörnungen	Die Punkte 3.3 bzw 3.4 der ÖNORM B 3132 sind zu berücksichtigen									

<sup>1)</sup> Bei Recyclingmaterialien ist die Oberfläche des Stückkorns analog zu ÖNORM EN 933-5, zu beurteilen.  
<sup>2)</sup> "bestanden" bedeutet, dass der Gehalt an Feinanteilen im Gesteinskörnungsgemisch 3 M.-% nicht überschreitet oder ein positiver Nachweis gemäß ÖNORM B 4811 vorliegt. Der Nachweis des Tonmineralbestandes bzw. der Frosthebung gilt zwei Jahre.  
<sup>3)</sup> Alternativ kann auch  $F_4$  nachgewiesen werden.  
<sup>4)</sup> Bei  $WA_{24,2}$ , geprüft gemäß EN 1097-6, Abschnitt 8, ist  $F_2$  erfüllt.  
<sup>5)</sup> Gilt nur für Recyclingbaustoffe, wenn die Anforderung an die Wasseraufnahme gemäß Punkt 5.5 nicht eingehalten werden kann.

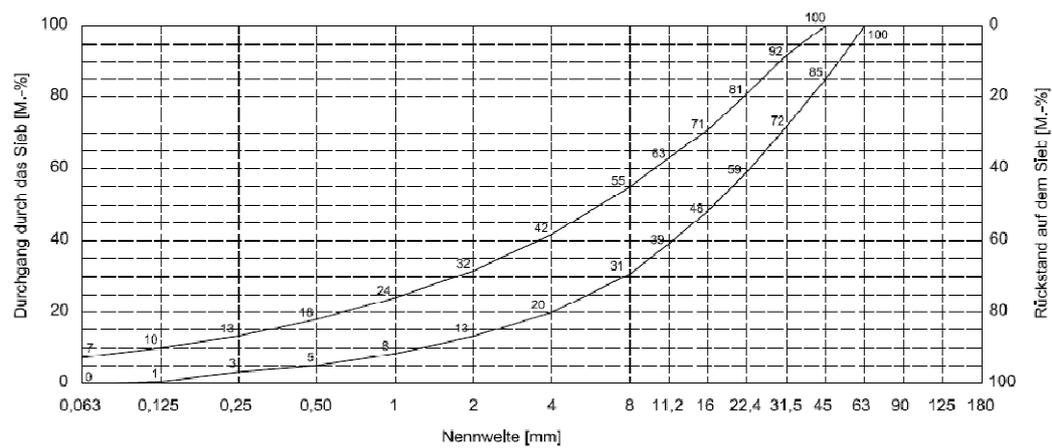
### Sieblinienbereich für ungebundene obere Tragschicht 0/22 (im Anlieferzustand)



### Sieblinienbereich für ungebundene obere Tragschicht 0/32 (im Anlieferungszustand)



### Sieblinienbereich für ungebundene obere Tragschicht 0/45 (im Anlieferungszustand)



### Sieblinienbereich für ungebundene obere Tragschicht 0/63 (im Anlieferungszustand)

