

Gleitsicherheit von Abdichtungssystemen

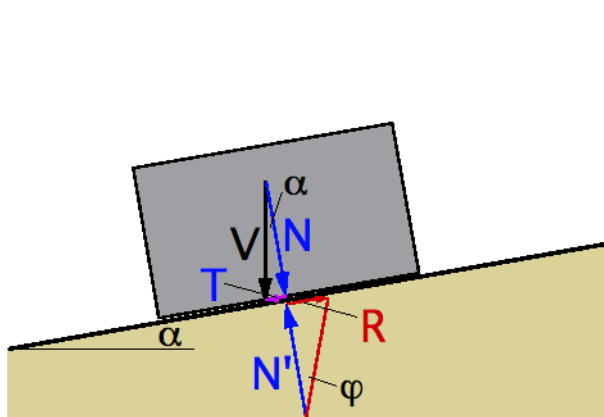
anhand von Projektbeispielen

Lars Vollmert | BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH & Co. KG, Espelkamp

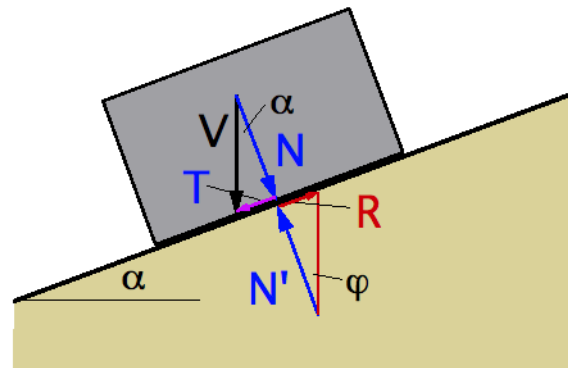
Themen

- schiefe Ebene
- Reibung
- **Schichtgrenzen**
- Regelwerke
- Bauteilbemessung Beanspruchungen und Widerstände, Grenzzustände
- Nachweise für oberflächenparallel geschichtete Systeme
- **Einflüsse auf die Standsicherheit** Geometrie, Stützfuß, Stützkeil, Wasser, Reibung, Bewehrung
- **Bewehrung mit Geogittern** Zugkraftverteilung im Geogitter,,
Lastkonzentration im Verankerungsgraben,,
Herausziehversuch
- **Theorie & Praxis**
- **Projektbeispiele** A33 und andere
- **Fazit**

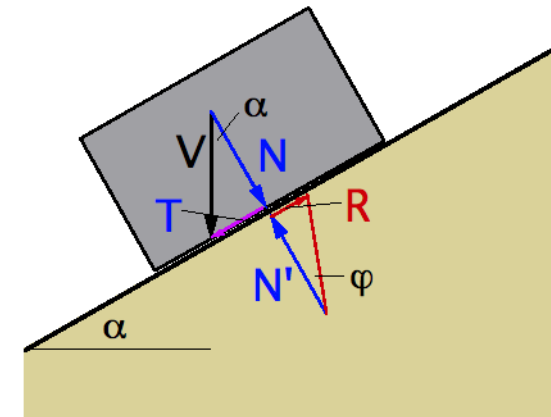
Der Reibungswinkel φ ist die Materialkonstante im System.



stabile Lage
Körper bleibt stehen



labile Lage
Grenzzustand



instabile Lage
Körper rutscht ab

Das Detail entscheidet über ϕ .

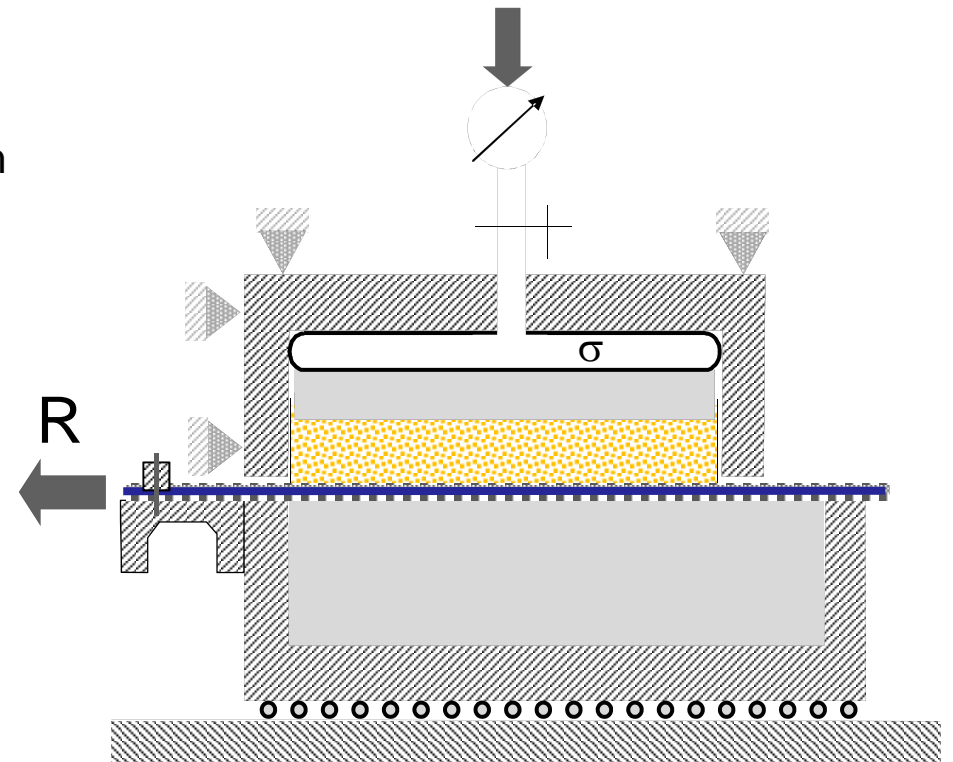


Ermittlung der Reibungsparameter im Versuch

Die Bekannten aus der Böschung werden im Labor nachgebildet:

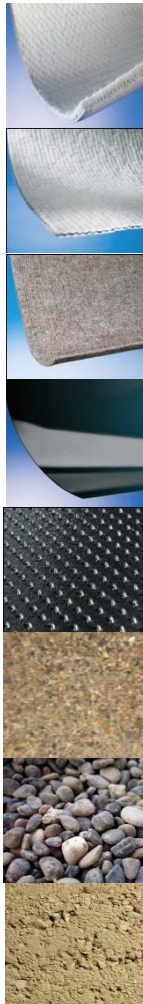
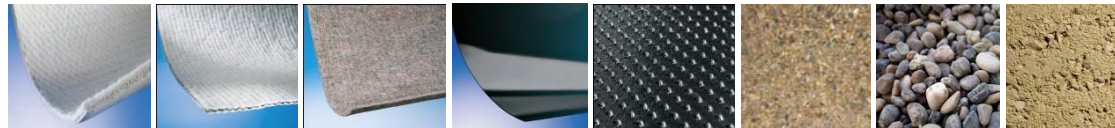
$$R_{t,k} = \sigma * L * \tan \delta$$

- (1) Die Auflastspannung σ ergibt sich aus dem Bodeneigengewicht und dem Böschungswinkel $\cos \beta$.
- (2) Der Reibungswinkel φ heißt bei Geokunststoffen δ .
- (3) Es ergibt sich der Reibungswiderstand $R_{t,k}$



Reibungsversuch

Reibungsparameter sind immer produktspezifisch



	Bentofix®	Secudrän®	Secutex® nonwoven	Carbofol® smooth	Carbofol® MegaFriction	Sand 0/2 mm	Gravel 8/16 mm	Mixed grained top soil
Bentofix®	33°	19-25°		11°	30°	29°	32°	26°
Secudrän®	19-25°			11°	30°	29°	32°	26°
Secutex® nonwoven			18°	11°	30°	29°	32°	26°
Carbofol® smooth	11°	11°	11°			18°		
Carbofol® MegaFriction	30°	30°	30°			25°		
Sand 0/2 mm	29°	29°	29°	18°	25°	32°	-	-
Gravel 8/16 mm	32°	32°	32°			-	36°	-
Mixed grained top soil	26°	26°	26°			-	-	28°

Examples of interface shear values

between different geosynthetics and soil. The indicated approximate values result from over 15 years of project experience. The specific design values must be determined on a project by project basis and follow as close as possible on-site conditions.

Zu beachten:


DEUTSCHE NORM		Januar 2009
DIN 4084		DIN
ICS 93.020		Ersatz für DIN 4084:1981-07 und DIN V 4084-100:1996-04
Baugrund – Geländebruchberechnungen Soil – Calculation of embankment failure and overall stability of retaining structures Sol – Calcul de faillance des talus		

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen

Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau 


Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau 

ZTV E-StB 09

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen 

Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau

Merkblatt über Bauweisen für technische Sicherungsmaßnahmen beim Einsatz von Böden und Baustoffen mit umweltrelevanten Inhaltsstoffen im Erdbau

M TS E 

Ausgabe 2009

DEUTSCHE NORM		Dezember 2010
DIN 1054		DIN
ICS 93.020		Ersatzvermerk siehe unten
Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1 Subsoil – Verification of the safety of earthworks and foundations – Supplementary rules to DIN EN 1997-1 Sol – Vérification de la sécurité des travaux de terrassement et des fondations – Règles supplémentaires à DIN EN 1997-1		
Ersatzvermerk Mit DIN EN 1997-1:2009-09 und DIN EN 1997-1/NA:2010-12 Ersatz für DIN 1054:2005-01, DIN 1054 Berichtigung 1:2005-04, DIN 1054 Berichtigung 2:2007-04, DIN 1054 Berichtigung 3:2008-01, DIN 1054 Berichtigung 4:2008-10 und DIN 1054/A1:2009-07		

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESSEN
ARBEITSGRUPPE ERD- UND GRUNDBAU

Merkblatt über die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaues

M Geok E

mit Checklisten (C Geok E)

Ausgabe 2005

Normen-Download-Service GmbH & Co. KG, Kfz Nr. 404 8603, Lfz Nr. 404 8603/01, 2010-05-18 08:59
 12 - Abw-Nr. 0003749/02001 - 2010-11-28

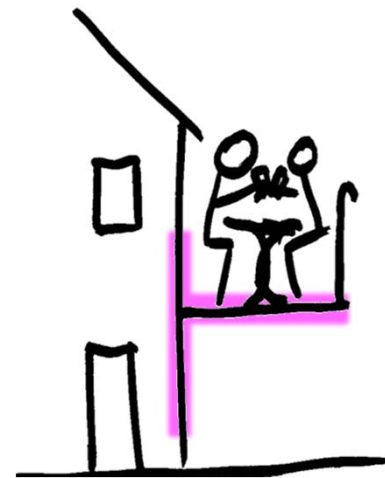
Beanspruchung

aus der Summe der Einwirkungen



Widerstand

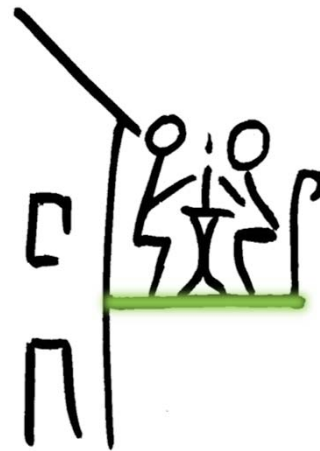
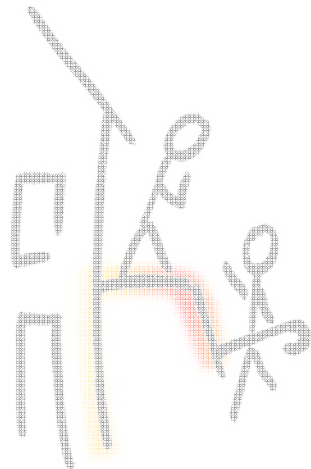
der Bauteile



Grenzzustand

der Tragfähigkeit (GZ1)

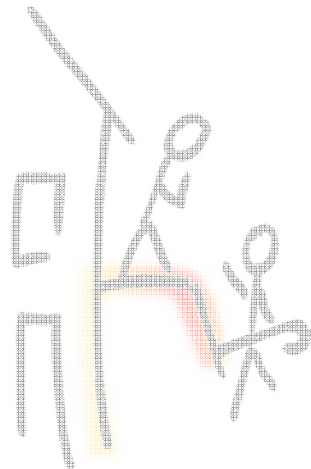
der Gebrauchstauglichkeit (GZ2)



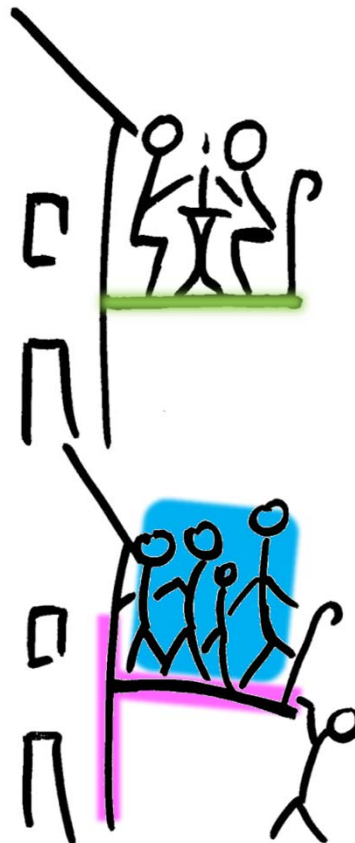
Grenzzustand

der Tragfähigkeit (GZ1)

der Gebrauchstauglichkeit (GZ2)



Die **Beanspruchung** aus der Summe der Einwirkungen muß bekannt sein oder sicher abgeschätzt werden können



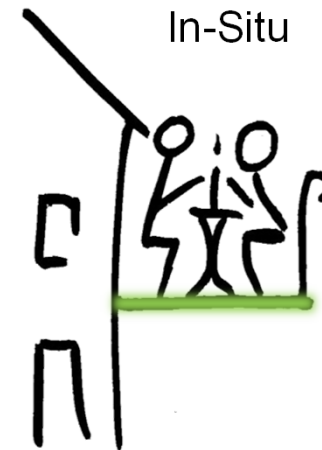
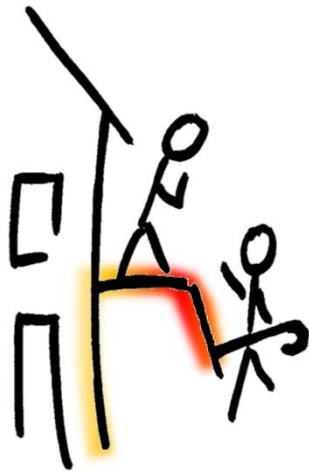
um den erforderlichen **Widerstand**

der Bauteile für die Grenzzustände bemessen zu können.

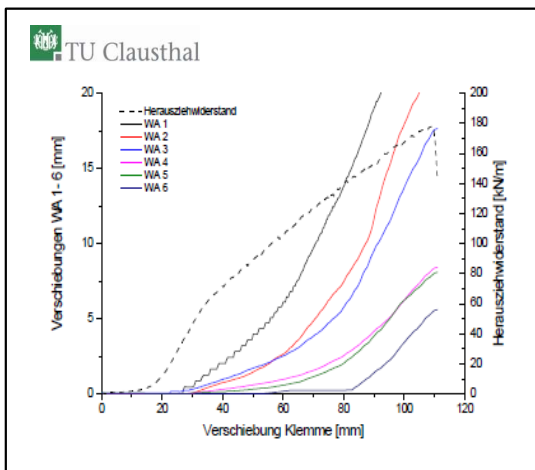
Materialkennwerte und Bemessung

Prüfung der Bauteile auf Bruch Bemessung mit Teilsicherheiten

Beanspruchung der Bauteile



Beanspruchung von Geokunststoffen



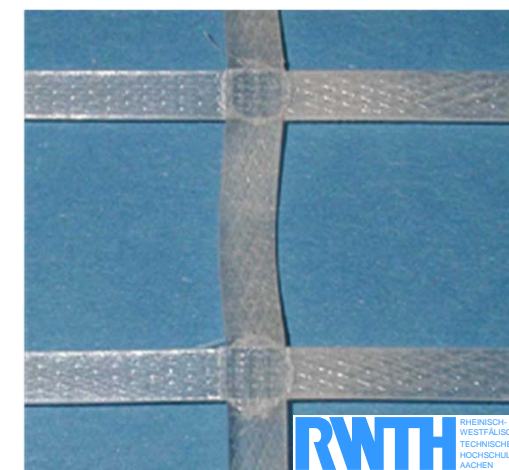
Nachweis gegen Bruch der Böschungskrone:

$$G_{s,d} \text{ [kN/m]} = [(0.5 \cdot (h \cdot \tan \alpha)) \cdot L + 0.5 \cdot (h \cdot \tan \alpha) \cdot h \cdot \gamma_{\text{Untergrund}}] + [(h \cdot \sin \alpha) \cdot L + (h \cdot \tan \alpha) \cdot d \cdot \gamma_{\text{Oberboden}}] + [0.5 \cdot (h \cdot \tan \alpha) \cdot h \cdot \gamma_{\text{Verfüllmaterial}}]$$

=	58.34	kN/m
$R_{s,d} = G_{s,d} \cdot (\tan \alpha) / \gamma_s$	32.68	kN/m
$R_{s1,d,d} =$	0.00	kN/m
$R_{s2,d,d} =$	6.43	kN/m
$R_{s,d} + R_{s1,d,d} =$	41.11	kN/m

$$(R_{s,d} + R_{s1,d,d} + E_{s,d}) > F_{B,d} \cdot \cos \beta = 37.28 \text{ kN/m} > 23.20 \text{ kN/m} \text{ O.K.}$$

Nachweis gegen Bruch des Verankerungsgrabens:

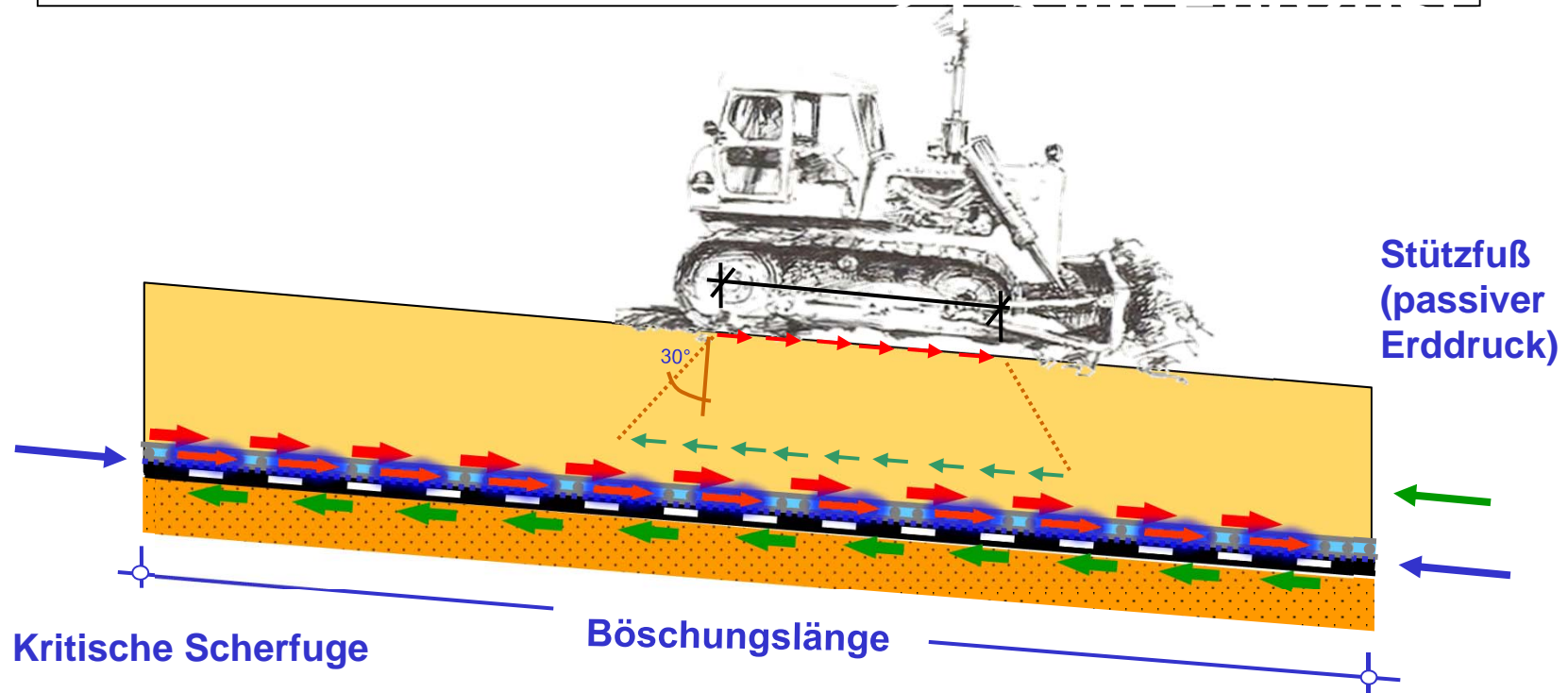
$$\Sigma R_{i,d} > F_{B,d} = 28.22 \text{ kN/m} > 27.88 \text{ kN/m} \text{ O.K.}$$


Rechnerische Gegenüberstellung

Σ Einwirkungen

Σ Widerstände

= μ (Auslastungsgrad, max. zul. 1,0)



Typische Schichtaufbauten

Oberboden (φ')

$$\delta \approx \text{atan}(0,9_{(\text{Vliesseite})} \times \tan\varphi)$$

Bentofix BFG 5000

$$\delta \approx \text{atan}(0,8_{(\text{Gewebe-seite})} \times \tan\varphi)$$

Untergrund

Oberboden (φ')

$$\delta \approx \text{atan}(0,9_{(\text{Vliesseite})} \times \tan\varphi)$$

Schutzvliesstoff

$$\delta \approx 10^\circ$$

$$\delta \approx 33,4^\circ$$

Carbofol glatt o. mf

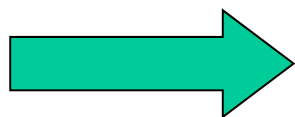
$$\delta \approx 18^\circ$$

$$\delta \approx 25,4^\circ$$

Sandschutz-/Ausgleichsschicht (φ')

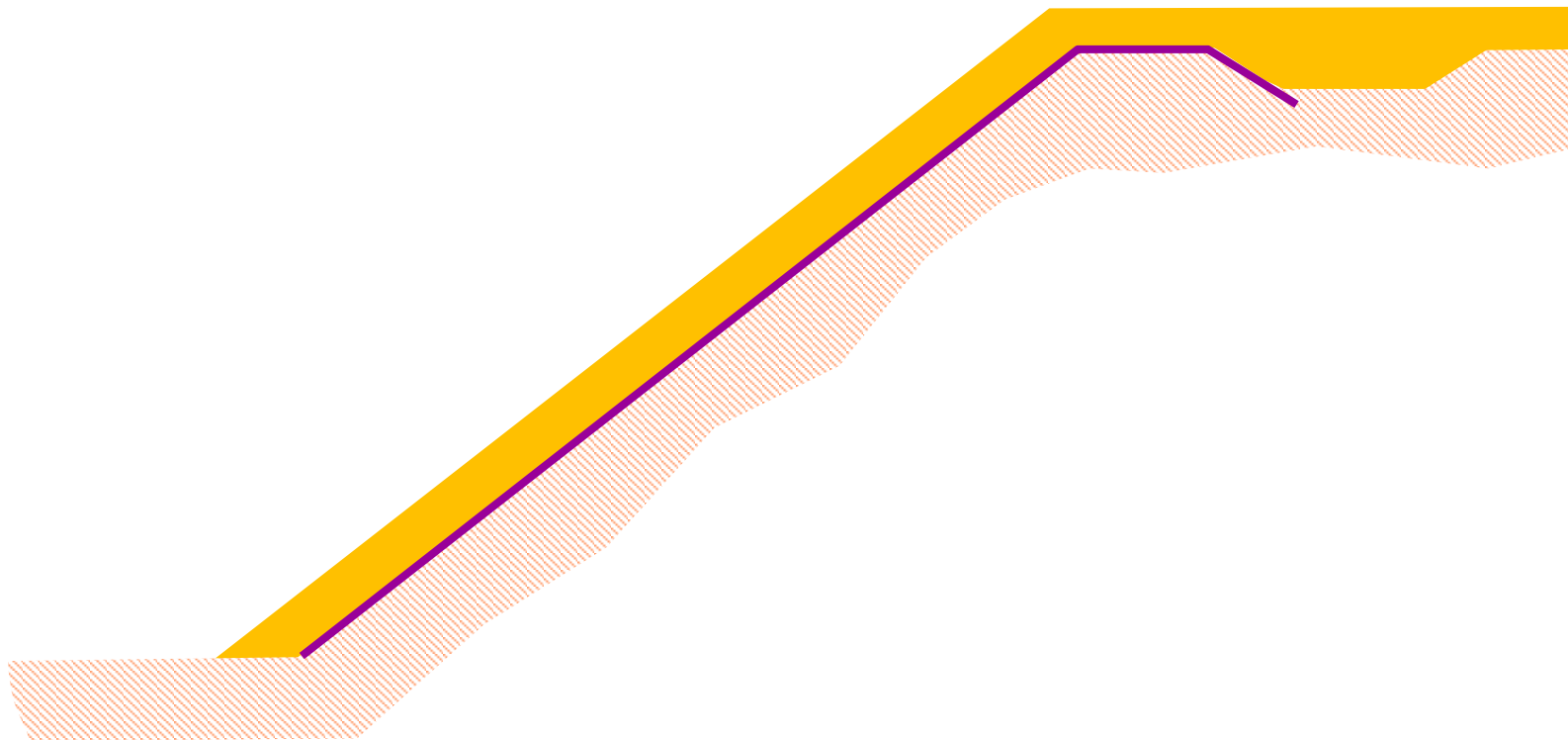
φ'

Untergrund (φ')

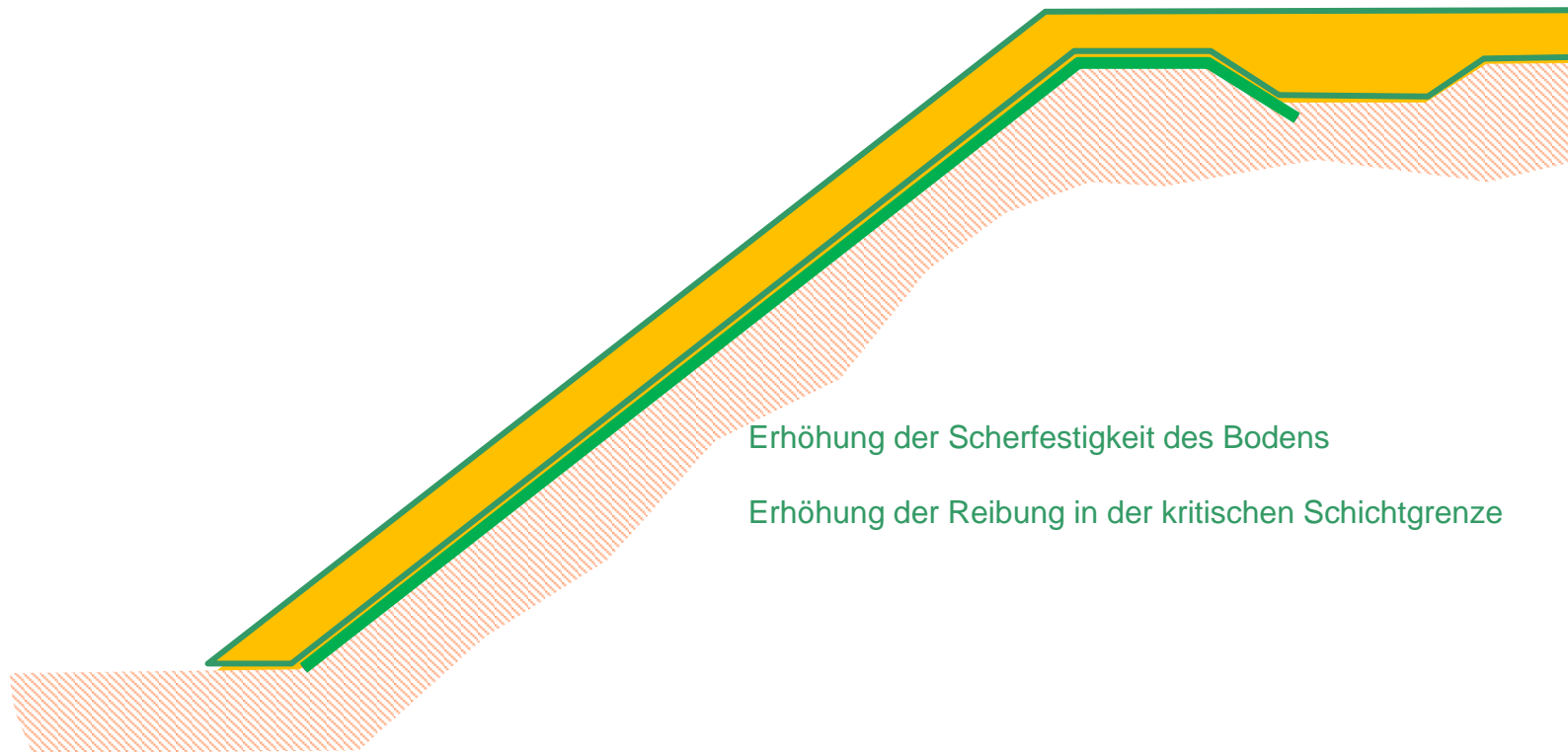


$\approx 1:2 \dots 1:2,5$ als realistische Neigung

Böschung mit Schichtsystem



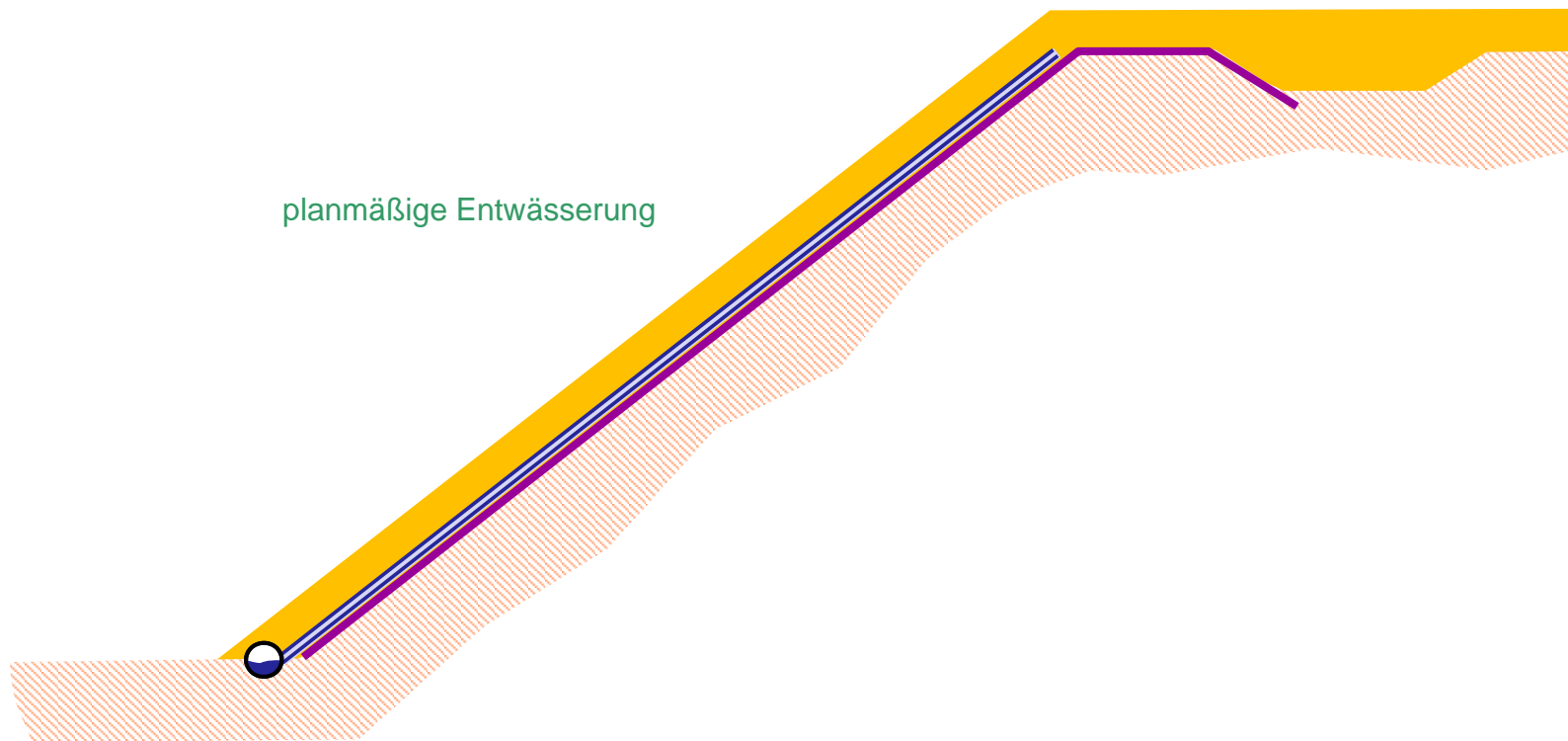
Widerstände



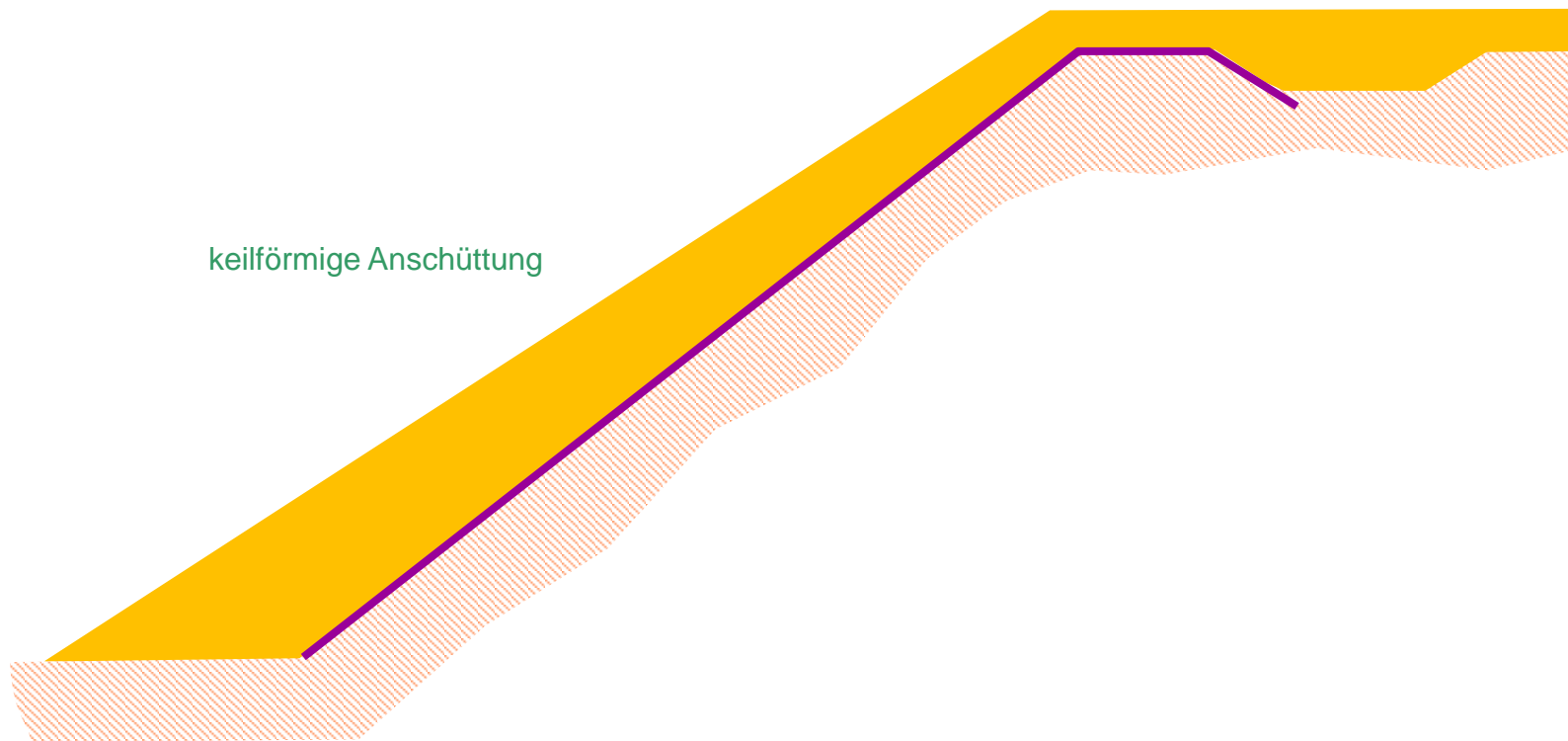
Erhöhung der Scherfestigkeit des Bodens

Erhöhung der Reibung in der kritischen Schichtgrenze

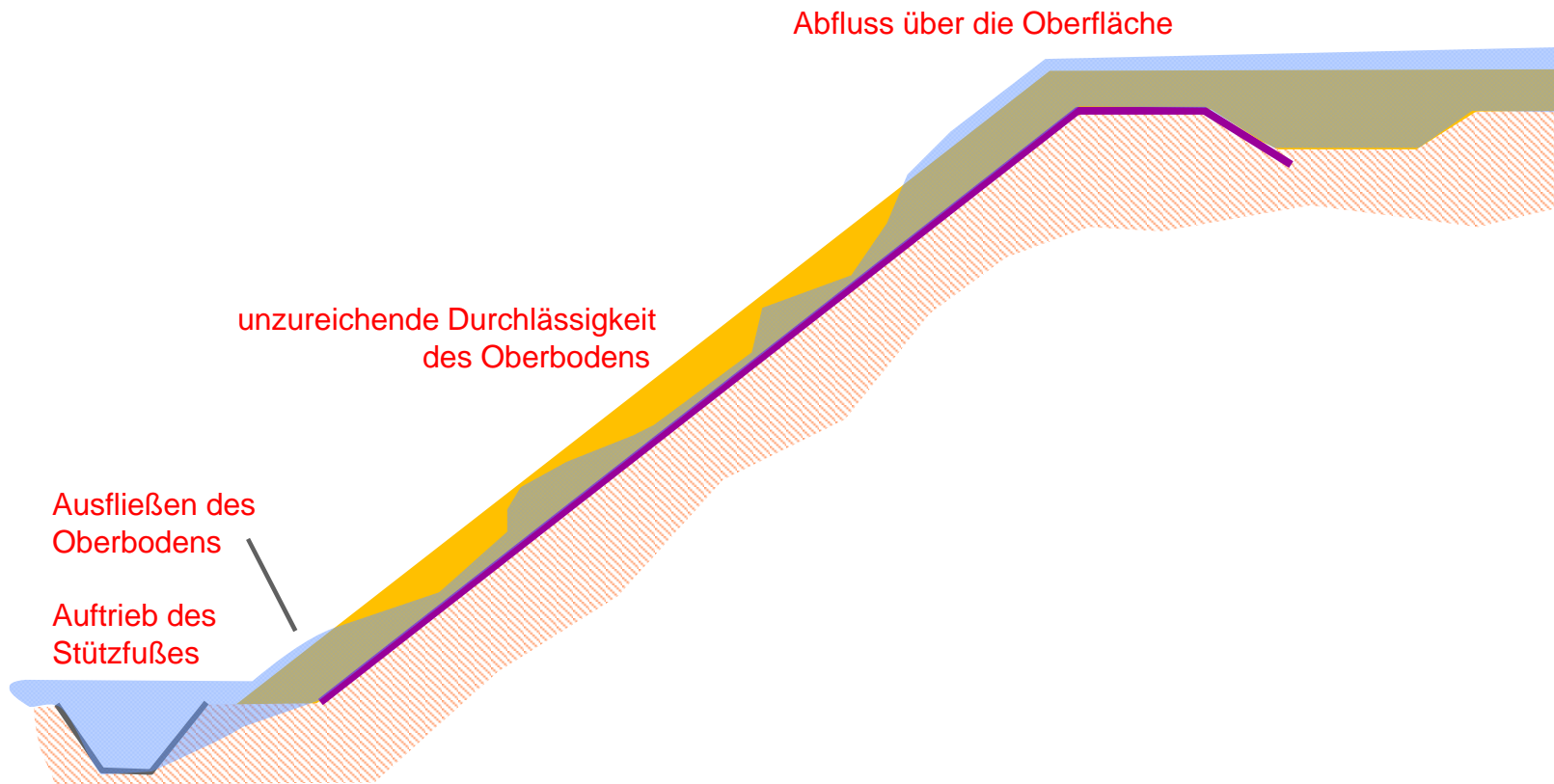
Widerstände



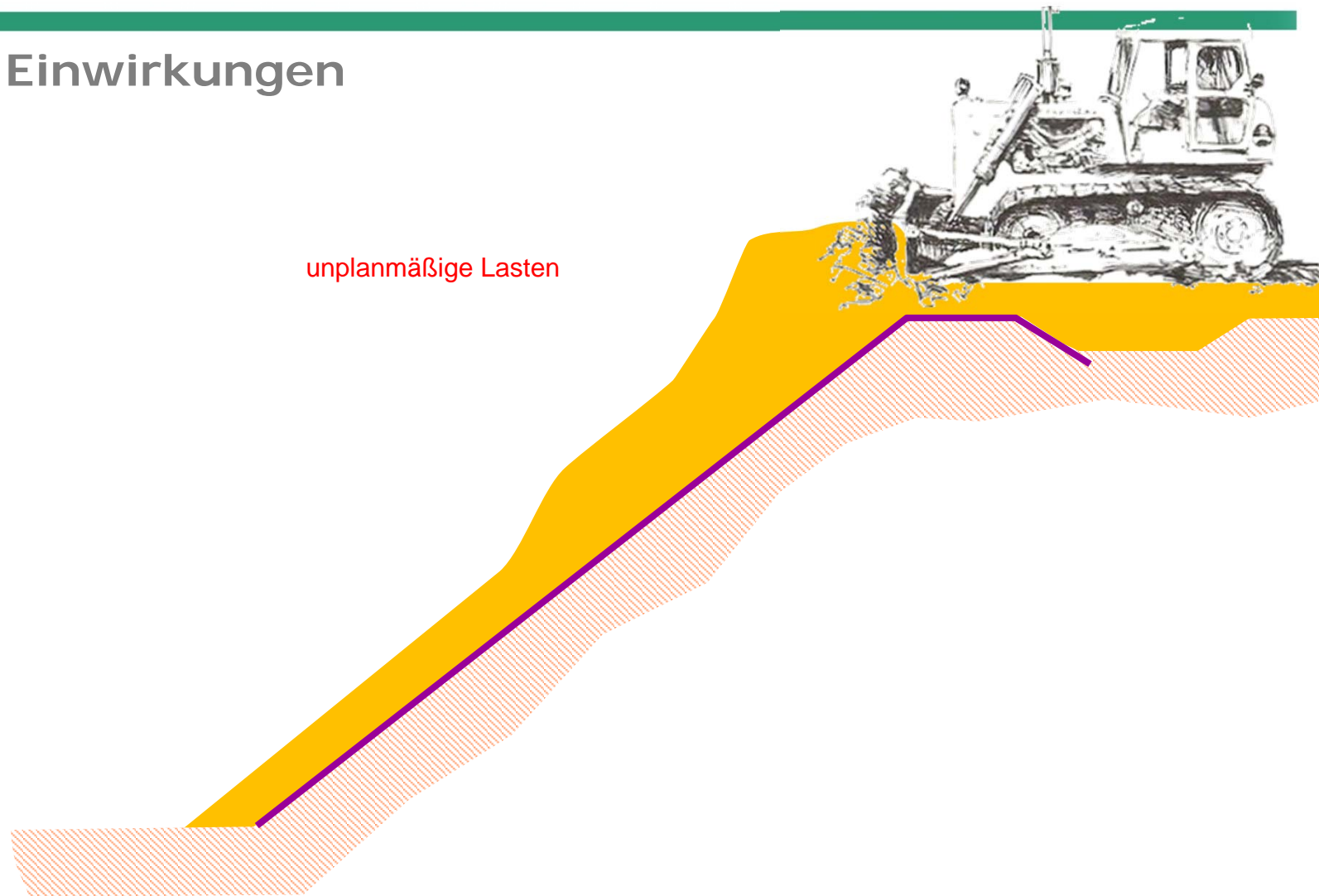
Widerstände



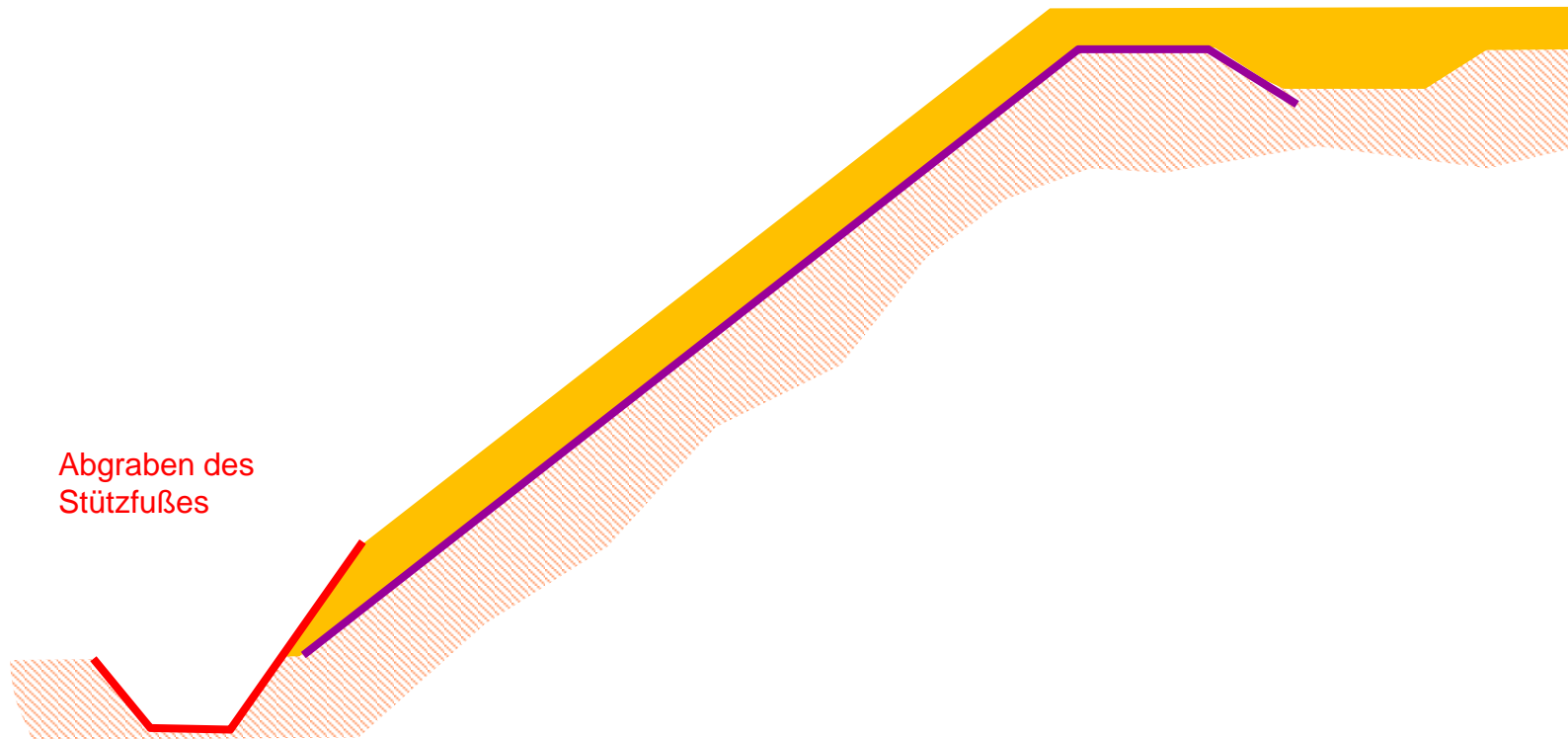
Einwirkungen



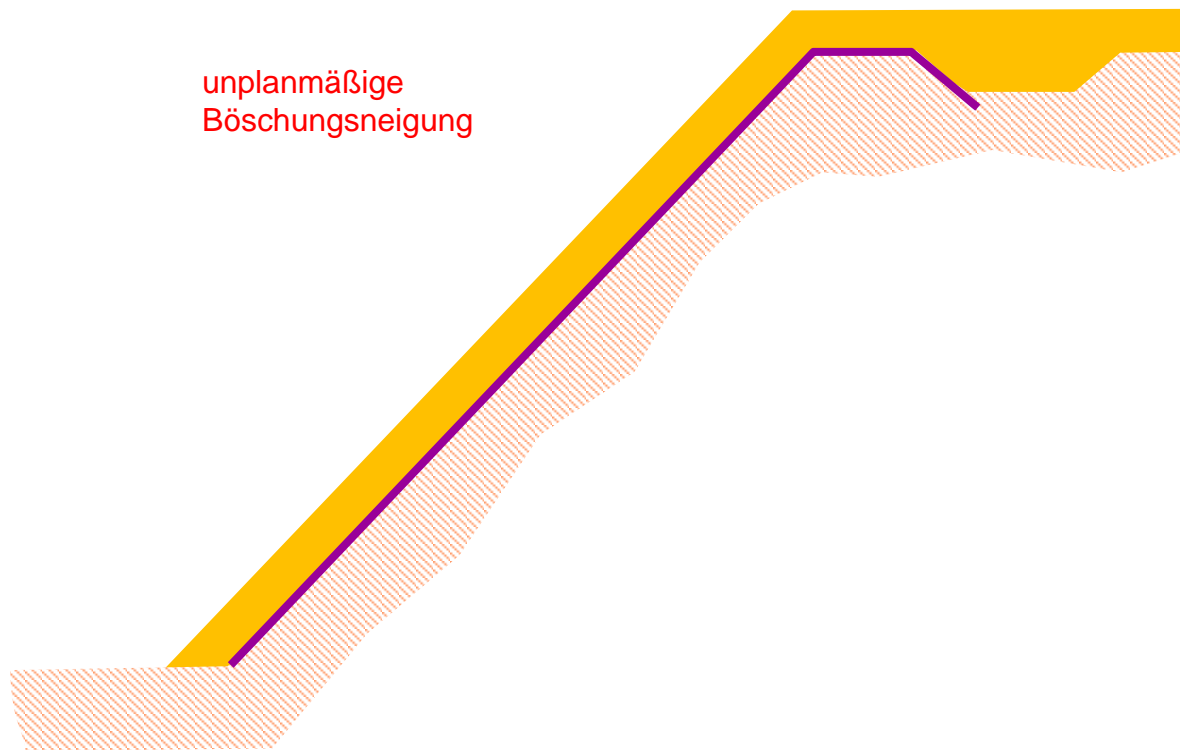
Einwirkungen



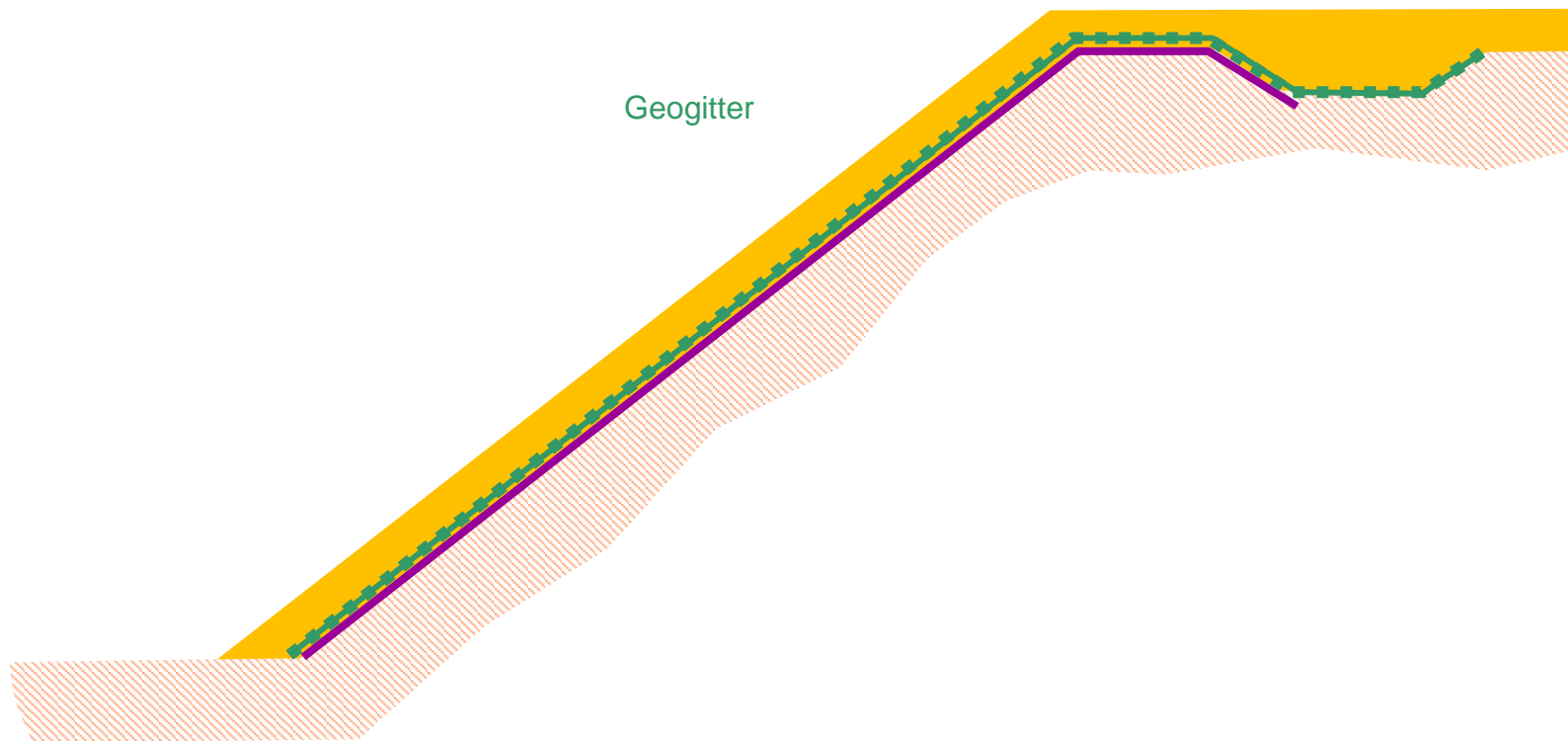
Widerstände (reduzierte)



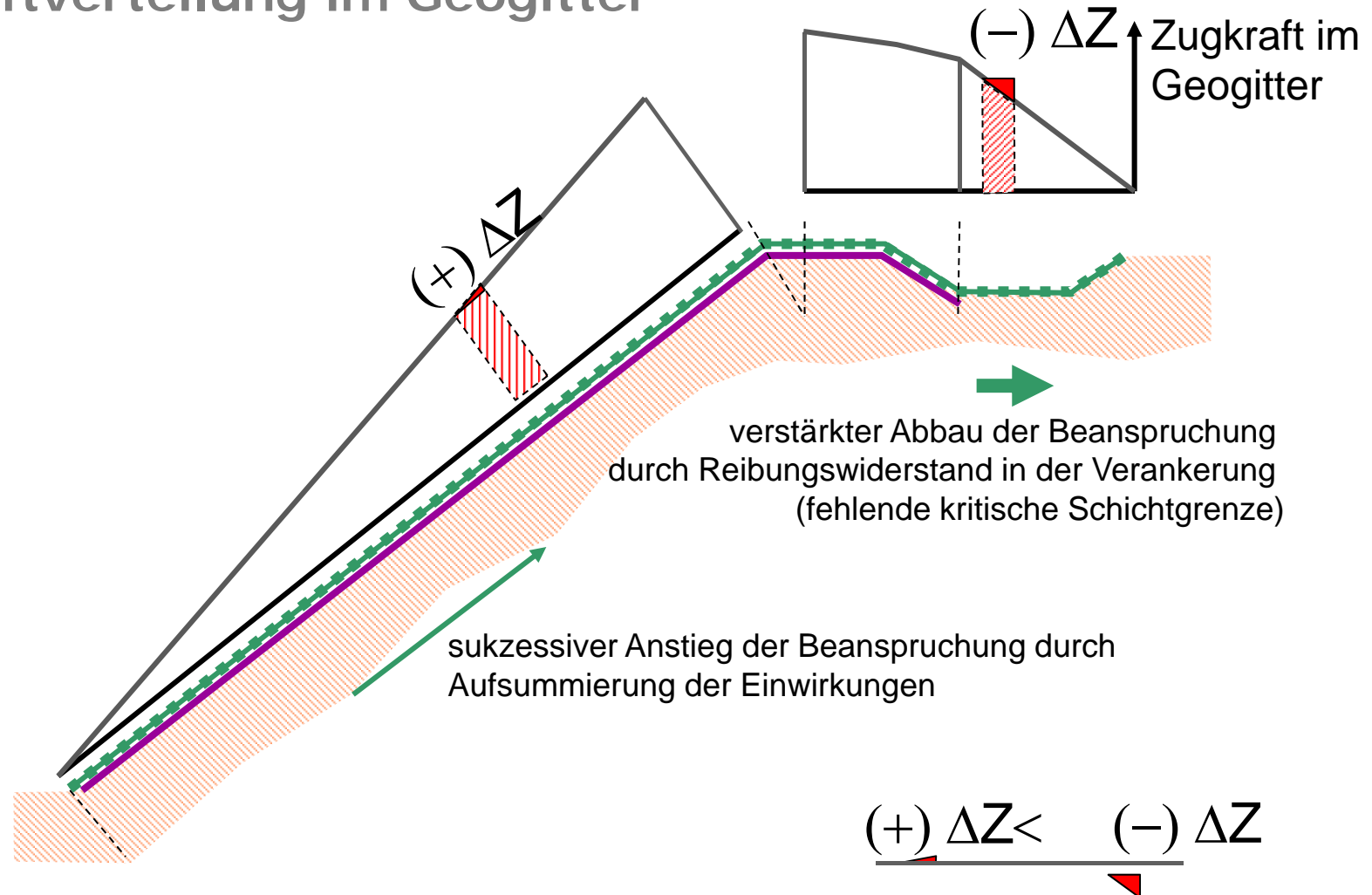
Widerstände (reduzierte)



Widerstände



Zugkraftverteilung im Geogitter

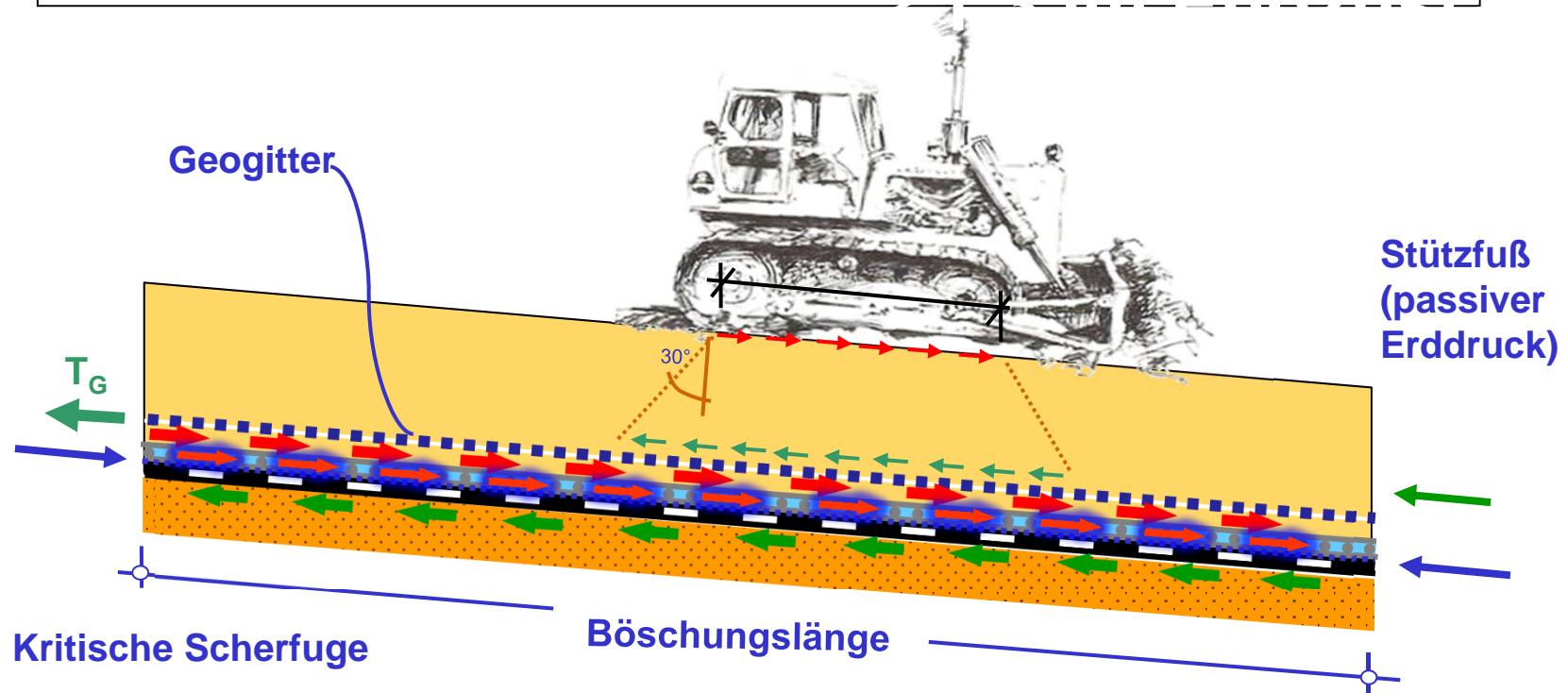


Rechnerische Gegenüberstellung

Σ Einwirkungen


Σ Widerstände



= μ (Auslastungsgrad, max. zul. 1,0)



2. Auflage

Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen – EBGEO

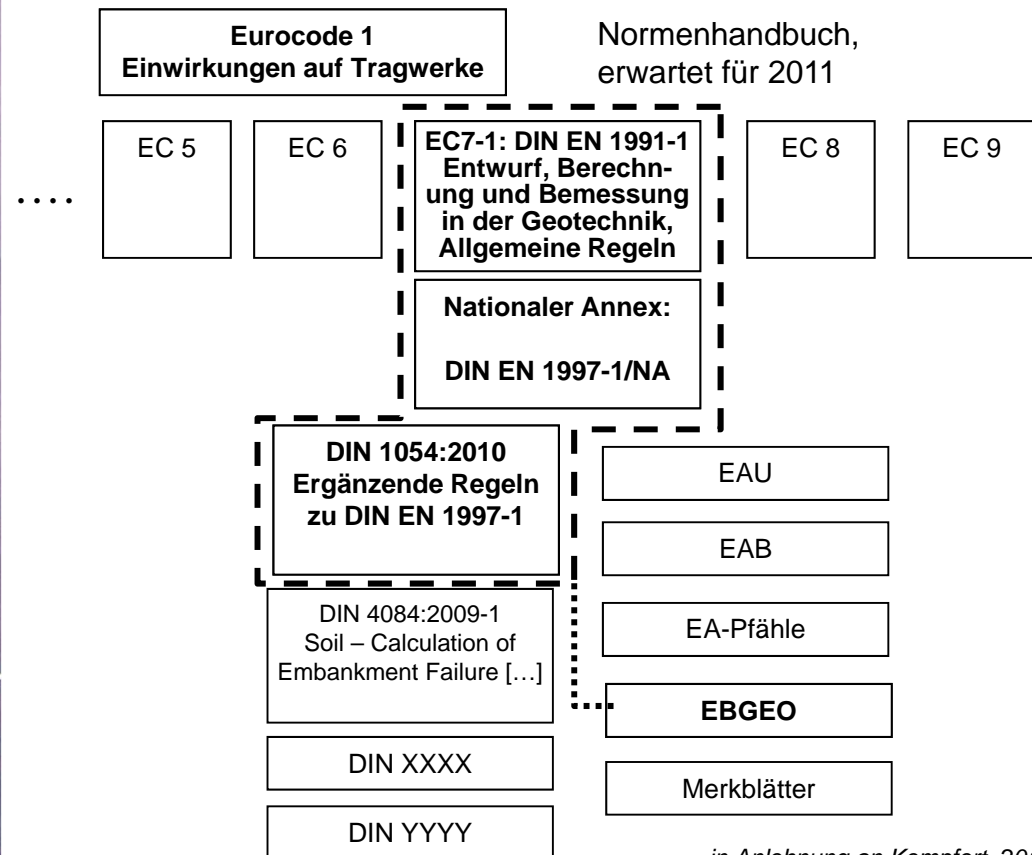


Fachsektion Kunststoffe in der Geotechnik AK 5.2

G. Bräu, München Obmann
A. Herold, Weimar stellv. Obmann

Fassung 2010



in Anlehnung an Kempfert, 2011

**Empfehlungen für den Entwurf
und die Berechnung von
Erdkörpern mit Bewehrungen
aus Geokunststoffen – EBGEO**

2. Auflage



Ernst & Sohn
A Wiley Company

DGGT
Deutsche Gesellschaft
für Geotechnik e. V.
German Geotechnical Society

Neue Definitionen:

z.B.

- Isochronenkurven
- Dehnsteifigkeit J [kN/m]

Anwendungen:

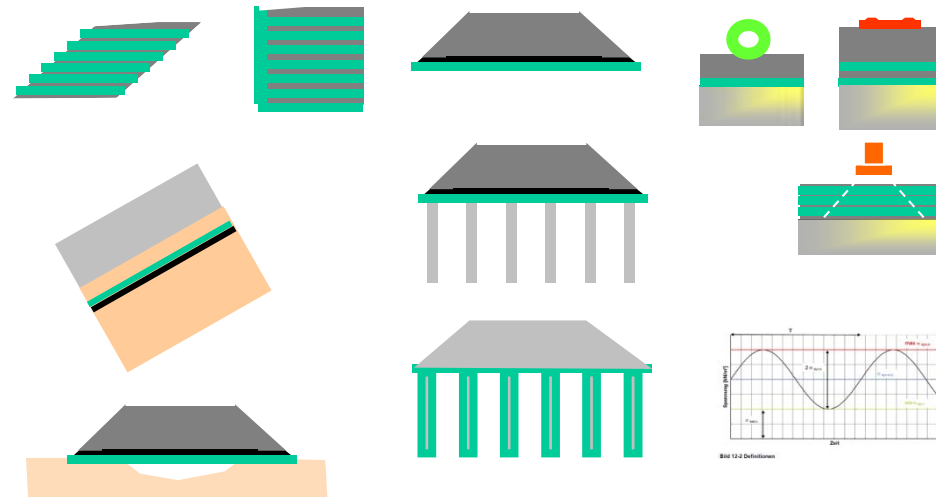


Tabelle 7-1 Übersicht der Nachweise

Nachweis	GZ	Abschnitt
Grenzzustand der Tragfähigkeit		
Geländebruch / Böschungsbruch	GZ 1C	7.4.4
Grundbruch	GZ 1B	7.4.5
Gleiten	GZ 1B	7.4.6
Lage der Sohldruckresultierenden	GZ 1A	7.4.7
Versagen auf Gleitlinien, die die Stützkonstruktion durchdringen	GZ 1C	7.4.4
Bemessungsfestigkeit der Bewehrung	GZ 1B	7.4.3
Herausziehwiderstand der Bewehrung	GZ 1C	7.4.3
Nachweis der Anschlüsse	GZ 1B	7.6
Nachweis Überlappung / Fugen der Bewehrung (Bewehrungsstöße)	GZ 1B	7.6
Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit		
Lage der Sohldruckresultierenden	GZ 2	7.4.7
Verformungen der Konstruktion	GZ 2	7.5
Setzungen der Aufstandsfläche	GZ 2	7.5

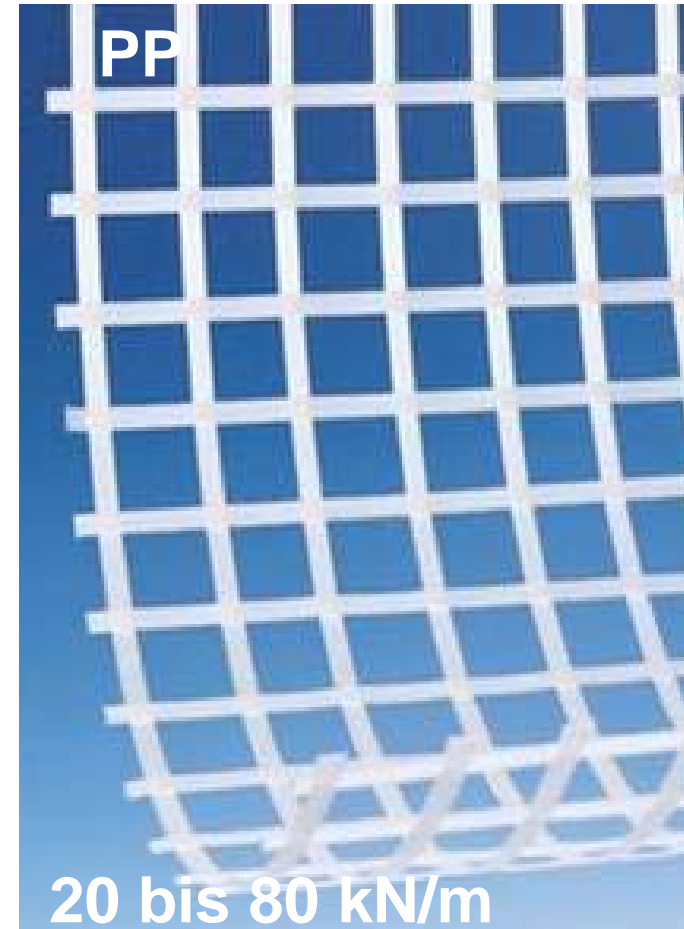
Nicht vergessen:

- Nachweis der Böschungs- und Geländebruchsicherheit der Grundkonstruktion (Untergrund)
- Nachweis der Scherfestigkeit der angrenzenden Böden

Bewehrungsprodukte, z.B.

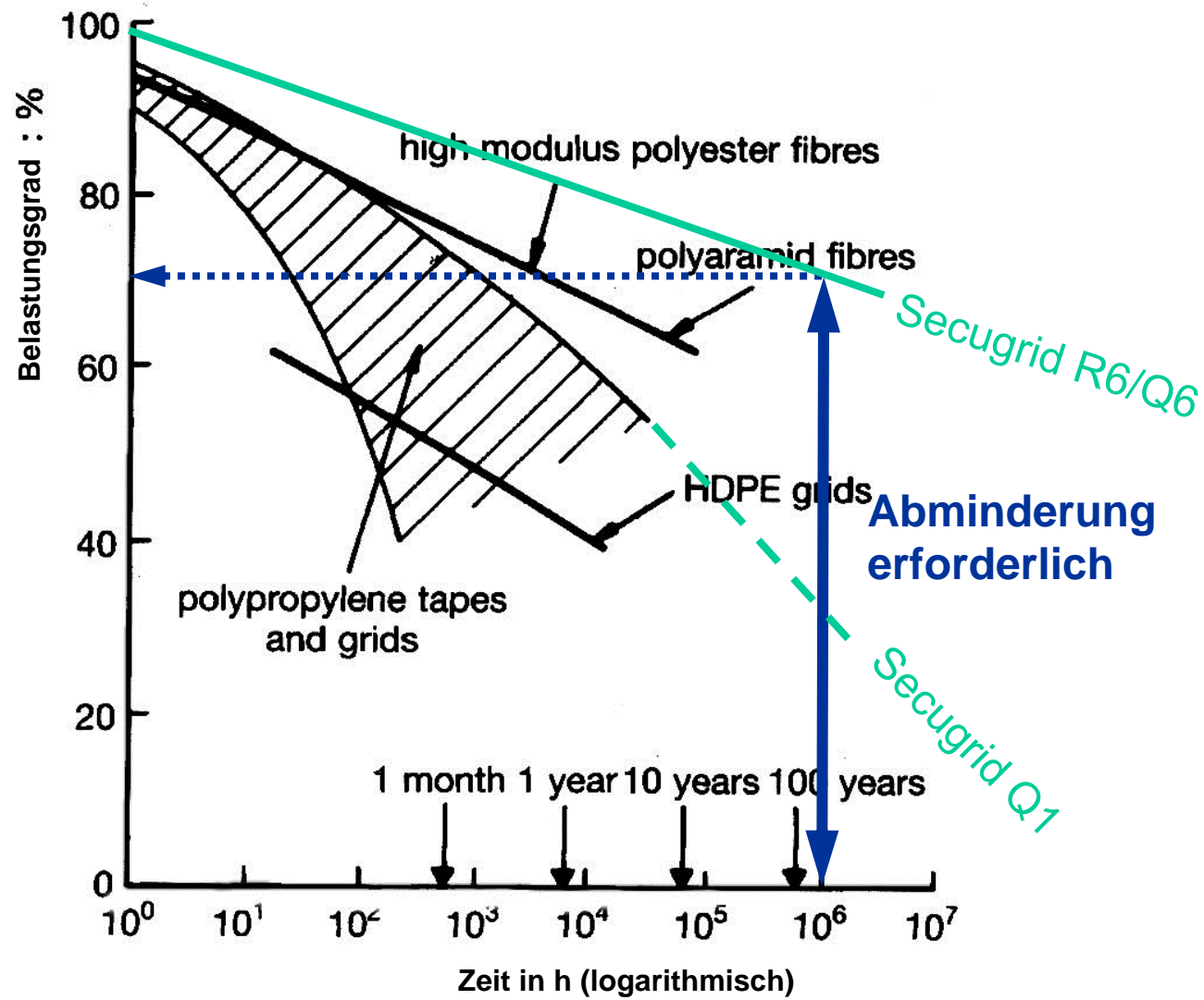


Secugrid®

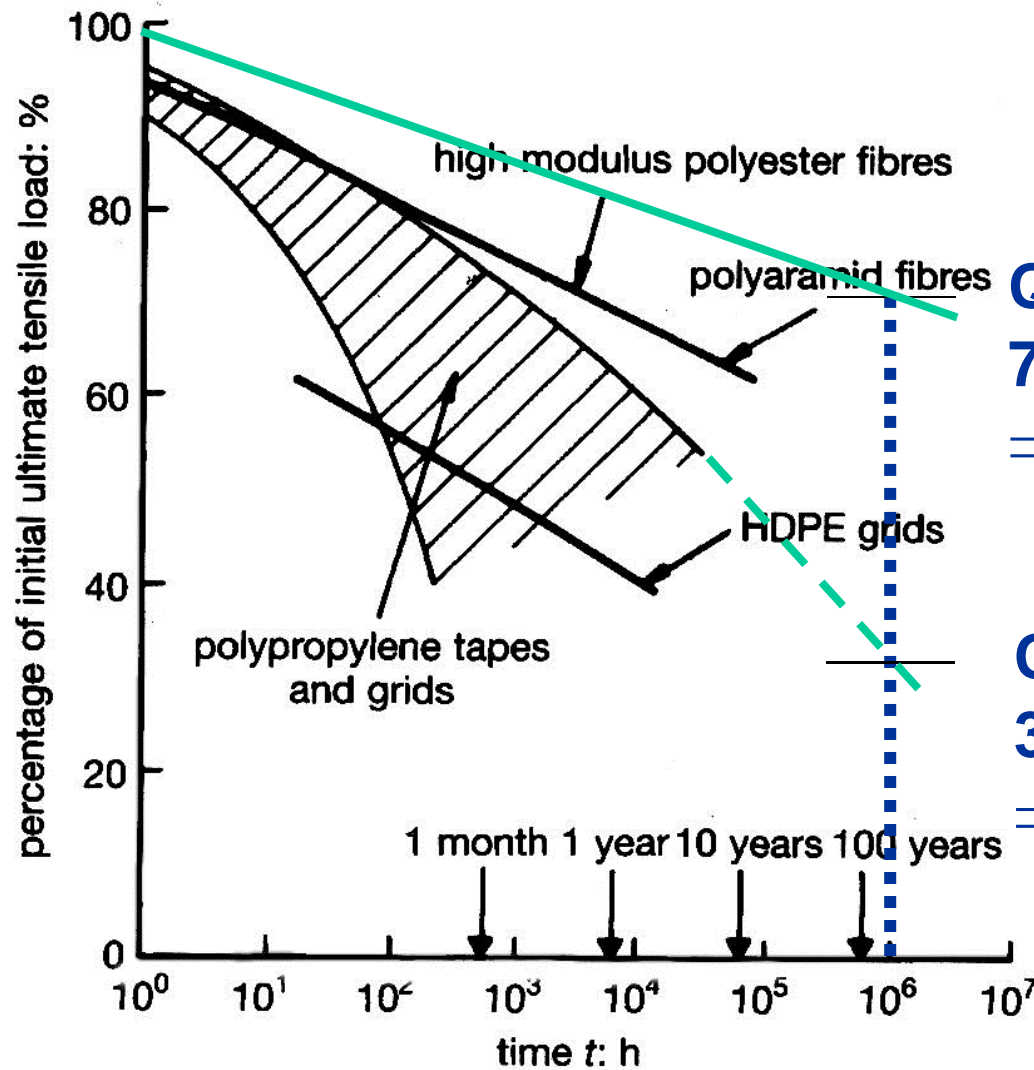
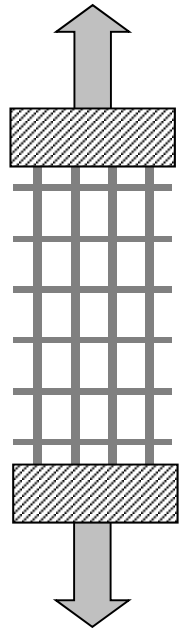


Verschweißen der Gitter





Jones, 1996



Q6/R6 (PET):

74%

$\Rightarrow 1/0,74 = \underline{1,36}$

Q1 (PP):

33%

$\Rightarrow 1/0,33 = \underline{3,0}$

Jones, 1996

Unter **Bemessungsfestigkeit der Bewehrung** wird der Bemessungswert der Zugfestigkeit $R_{B,d}$ einer Bewehrungslage verstanden:

$$R_{B,d} = R_{B,k0,5\%} / (A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5) \gamma_B$$

$R_{B,k0,5\%}$ charakteristische Zugfestigkeit (Kurzzeit-Nennfestigkeit, Laborwert)

Materialspezifische
Prüfzeugnisse

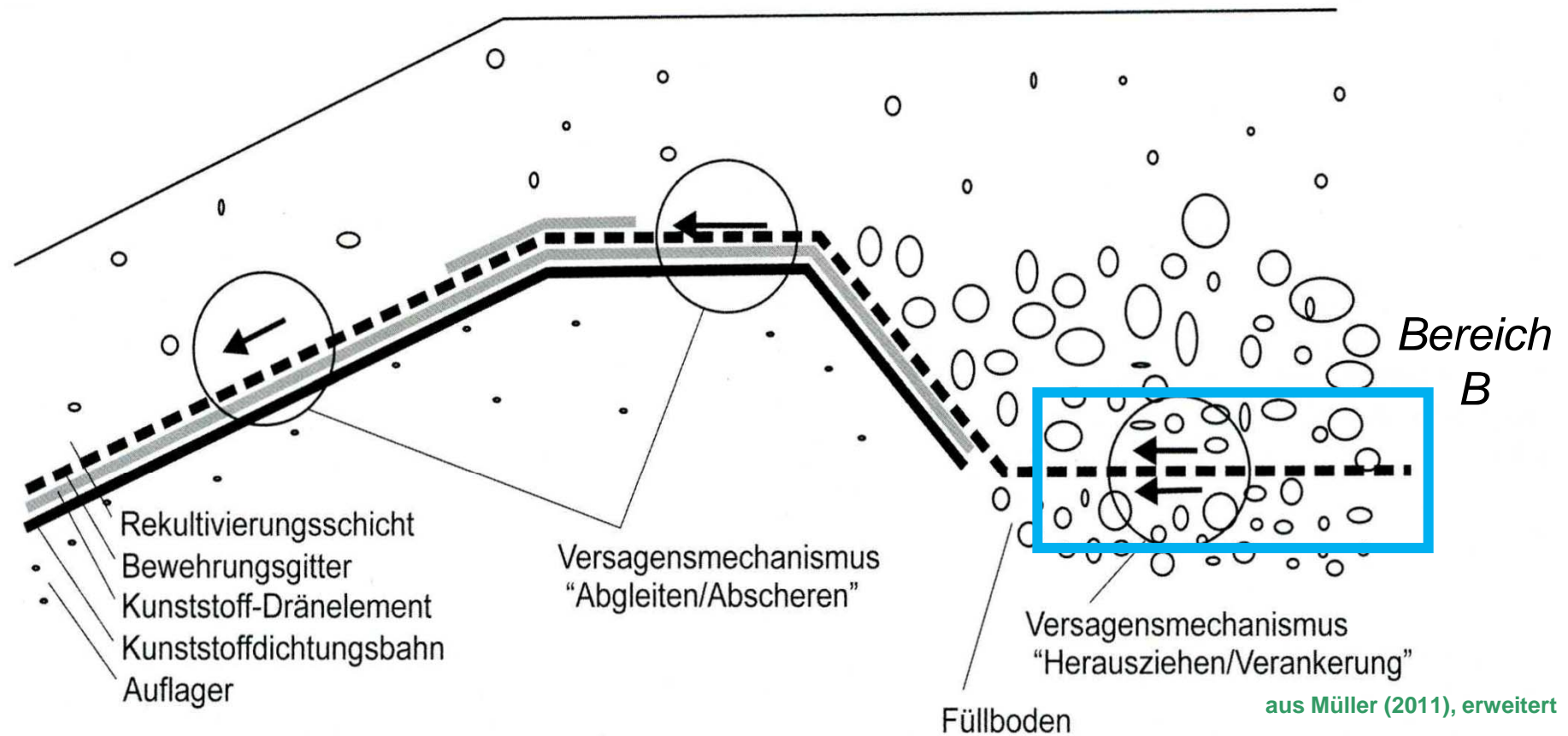
- A_1 Beiwert für **Kriechen**
- A_2 Beiwert für **Beschädigungen** beim Transport, Einbau und Verdichtung
- A_3 Beiwert für Fugen, **Anschlüsse**, Nähte etc.
- A_4 Beiwert für **Umgebungseinflüsse**
- A_5 Beiwert für **dynamische Einwirkungen**
- γ_M **Partialsicherheitsbeiwert** zur Berücksichtigung von eventuellen Abweichungen des eingebauten Produktes vom Nennwert und kleinen geometrischen Änderungen des ausgeführten Bauwerkes gegenüber dem Entwurf

Abminderungsfaktor		Referenz	Wert
A ₁	Zeitstand – 60 Jahre Regressionslinie	2.1	1,34
	Zeitstand – 120 Jahre Regressionslinie	2.1	1,36
A ₂ D ₉₀ Korngröße Grobkies ≤ 35 mm	Einbaubeschädigung		
	30/30, 40/40 Q6	2.2	1,09
	60/60 Q6, 60/20 R6	2.3	1,08
	80/80 Q6, 80/20 R6	2.4	1,05
	120/40 R6, 200/40 R6, 400/40 R6	2.5, 2.6	1,05
Kiessand ≤ 8 mm	30/30, 40/40 Q6	2.2	1,08
	60/60 Q6, 60/20 R6	2.3	1,05
	80/80 Q6, 80/20 R6	2.4	1,03
	120/40 R6, 200/40 R6, 400/40 R6	2.5, 2.6	1,02
Sand ≤ 2 mm	30/30, 40/40 Q6	2.2	1,06
	60/60 Q6, 60/20 R6	2.3	1,02
	80/80 Q6, 80/20 R6	2.4	1,02
	120/40 R6, 200/40 R6, 400/40 R6	2.5, 2.6	1,00
A ₃	Keine Verbindung in Krafrichtung		1,0
A ₄	Umwelteinflüsse 120 Jahre		
	pH 2.0 – 4.0	2.8	1,10
	pH 4.1 – 8.9	2.9	1,00
	pH 9.0 – 9.9	2.7	1,04
	pH 10.0 – 10.9	2.7	1,06
	pH 11.0 – 12.5	2.7	1,18

Münster, 21.12.2009



Lastkonzentration im Verankerungsbereich



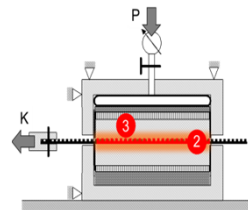
Zwischenfazit 1/2

Die Bemessung von Geogittern erfolgt über die Materialwiderstände

- Langzeitfestigkeit des Bewehrungselementes $R_{B,k} = R_{B,k0} / (A_1 * A_2 * A_3 * A_4 * A_5)$

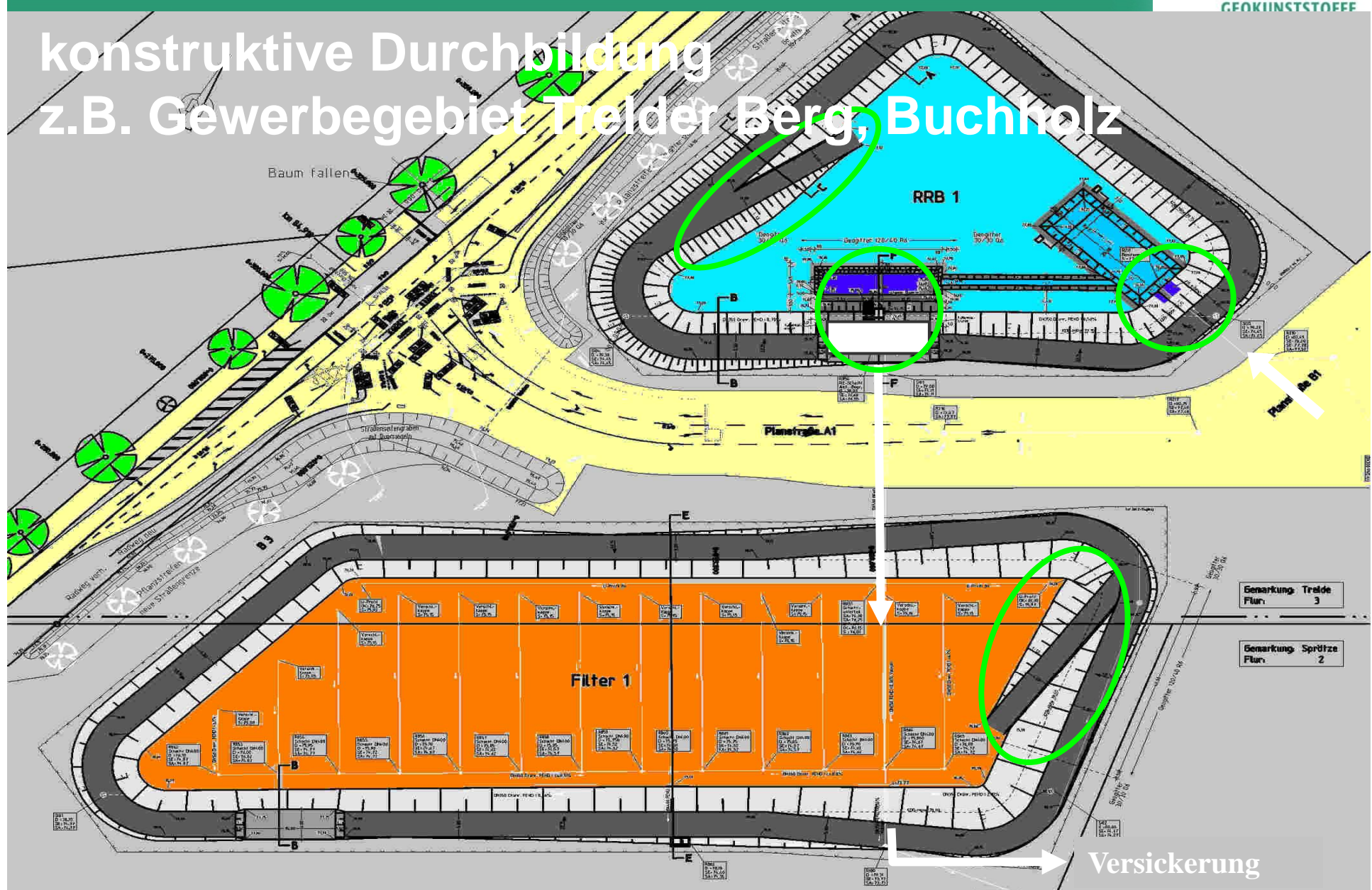
- Herausziehwiderstand

$$R_{a,k} = \sigma * L * \lambda * \tan\varphi * n$$



$$\lambda = R_{A,k} / (\sigma * L * \tan\varphi * n)$$

konstruktive Durchbildung z.B. Gewerbegebiet Trelder Berg, Buchholz





Böschungsbereich (exemplarisch)

Schotterrasen 0-32, d=0,3 m

Geogitter

Secugrid 40/40 Q6

Schutzvliesstoff

Secutex R404

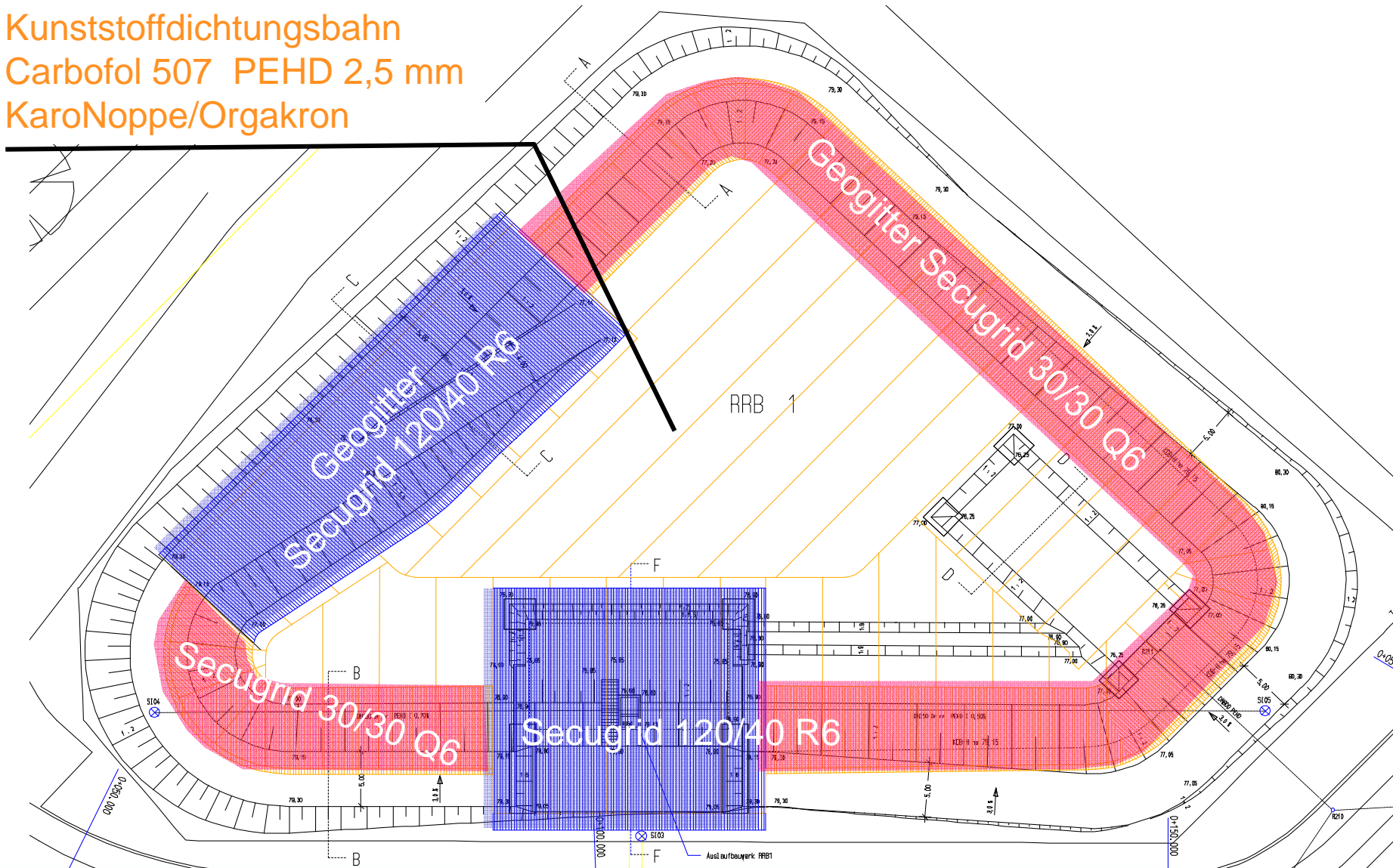
PEHD-Dichtungsbahn

Carbofol 507 2,0 mm

Sandplanum 0/2 mm

Untergrund

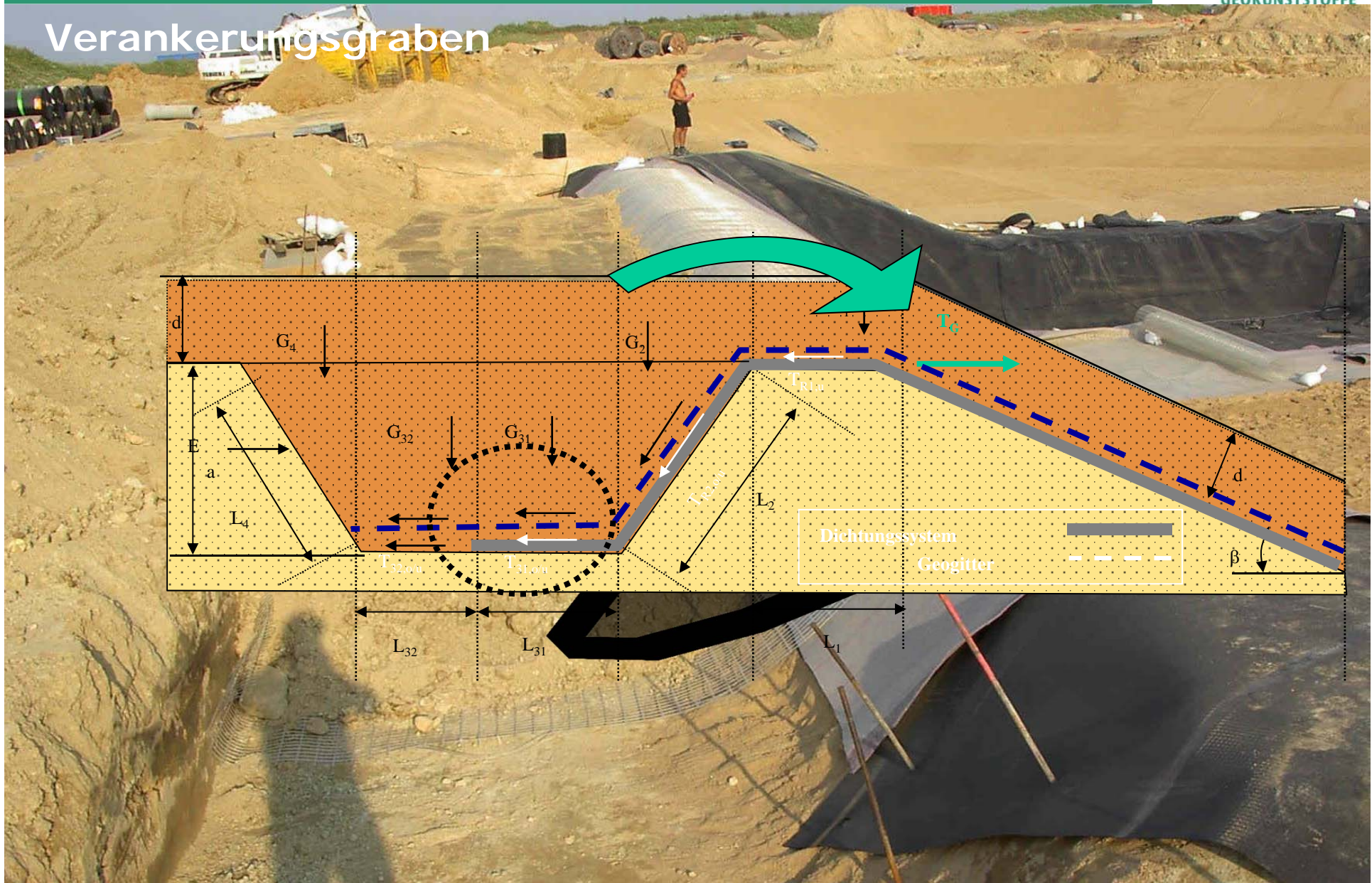
Kunststoffdichtungsbahn
Carbofol 507 PEHD 2,5 mm
KaroNoppe/Orgakron



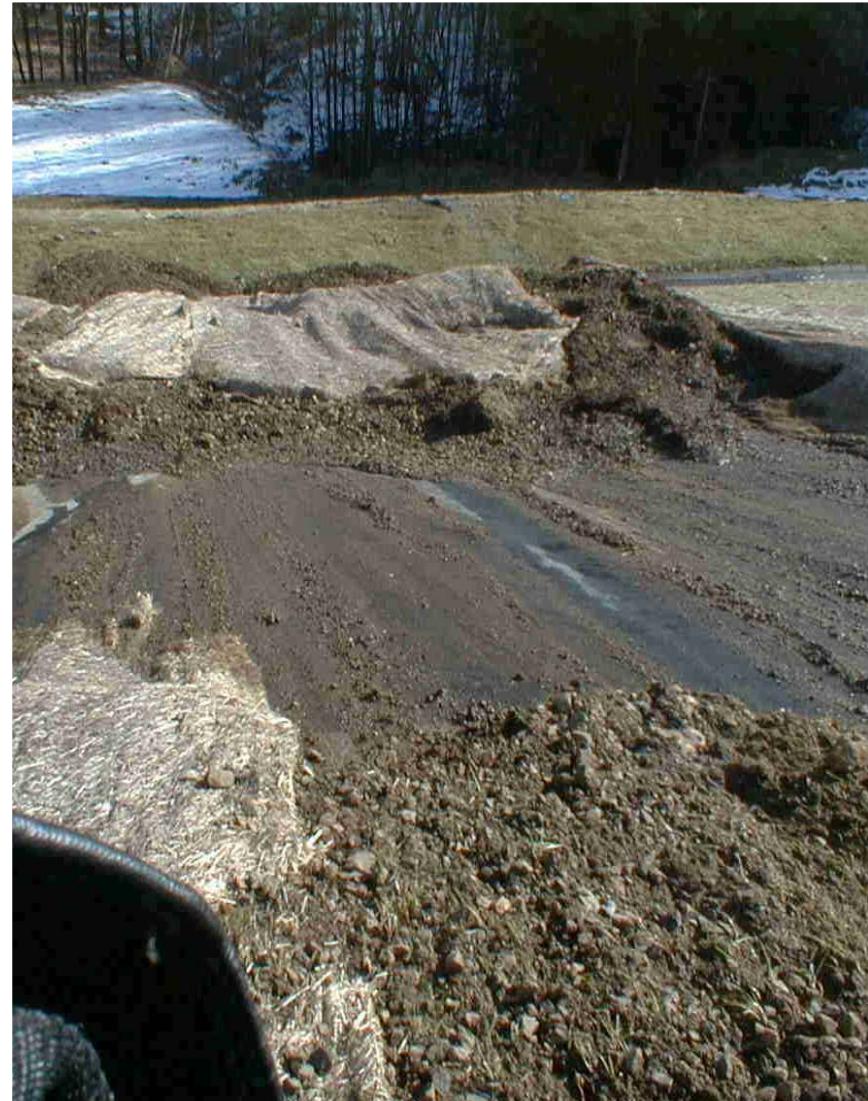
Projektbeispiel 1



Verankerungsgraben



Widerstände < Einwirkungen



Widerstände < Einwirkungen



“Krallmatte”:

kein eingeführter Begriff,
nicht als Bewehrungsprodukt
geeignet und bemessen

Widerstände < Einwirkungen

“Verankerungsgraben”
(0,2m tief und 0,2m breit)

Konsequenz:
Gesamtaufbau rutscht ins Becken



Widerstände < Einwirkungen

Böschung steiler ausgeführt als geplant
(Einwirkung)

Konsequenz: Überbeanspruchung der Krone und Verankerung

LSW A33 Windflöte



LSW A33 Windflöte



www.rieselfelder-windel.de:

Leinen auf Bleichpfählen. Entnommen aus: H. Schmidt: Hundert Jahre Arbeit - Hermann Windel G.m.b.H. Windelsbleiche. Bielefeld 1933.

Zeitweise 100 ha Betriebsflächen für Rieselfelder

Projekt:
6,5 km Abschnitt BAB A2 bis zum Ostwestfalendamm (B61)
Rund 95 Millionen Euro Invest des Bundes
rund 87 ha Fläche

Ausführung:
ARGE Neubau A33
Knoll GmbH&Co.KG (techn. Geschäftsführung),
Beton- und Monierbau GmbH (kfm. Geschäftsführung) und
Gröschler GmbH - mit den Streckenarbeiten.

LSW A33 Windflöte

- H=12m, L=300m
- 30.000m³ Dammkern aus Schwermetall- und PFT belastetem Aushub (Perfluorierte Tenside)
- Schutzvlies Secutex R404 gemäß DIBt-Zulassung Carbofol
- Carbofol 509 2mm DIBt mit beidseitig MegaFriction Oberfläche
- Dränmatte und Schutzlage Secudrän R201 WD 601 R201
- Geogitter Secugrid 120/40 R6 nach Statik BBG
- Oberboden 0,8m (Mindestersatzreibungswinkel $\varphi_0 \geq 33,7^\circ$)
- Mutterboden 0,2m

Lokal-Zeitung

Zeitung für Brackwede, Sennestadt, Senne, Quelle, Ummeln

Schadstoff-Berg verschwindet unter Folie

Der A-33-Lärmschutzwall in der Windflöte wird »eingepackt« – Schutz vor belastetem Boden

Von Markus Poch (Text und Fotos)

Senne (WB). »Da legt man wohl ein weißes Tuch über eine Leiche, sagt Dieter Keiperth. Der 65-jährige Senner blickt skeptisch auf den frisch aufgeschütteten Lärmwall im Ortsteil Windflöte, kaum 100 Meter von seiner Hautür entfernt. Denn dieser Wall soll die Menschen an der Postheide nicht nur vor den Geräuschen der entstehenden Autobahn 33 schützen.

Er soll auch große Mengen mit Schadstoffen belasteter Böden von den Rieselfeldern Windflöte »für immer« unter sich begraben. Beim Auskoffern der Autobahntrasse waren an dieser Stelle 40 000

Kubikmeter davon bewegt worden. Sie enthalten Schwermetalle und PFT (Perfluorierte Tenside), beides aus der jahrelangen Verklappung beim Textilunternehmen Windflöte.

Das Umweltamt spricht hier von einem keinesfalls lebensbedrohlichen Versuchsgrad, sondern von nur »moderater Belastung«. 10 000 Kubikmeter dieses Materials sollen später im »Auffahrts-Ohr« der Buschkampstraße zur Autobahn unter gesunden Boden endgelagert werden, die anderen 30 000 sind zu besatztem Zweck an der Postheide verbaut worden. Dort ist daraus ein zwölf Meter

hoher, 300 Meter langer Wall entstanden, der nun von der Firma Naue Sealing aus Bückeburg in Folie eingepackt wird. »Damit die Schadstoffe nicht mit Regenwasser in Kontakt kommen, verwenden wir eine Vier-Komponenten-

Abdeckung wie sie bei kontaminierten Böden üblich ist, erläutert Obermonteur Sven Heinke. Zuerst verlegen er und seine Leute ein 400-Gramm-Fleece. Dieses gibt der darüber befindlichen, zwei Millimeter starken, wasserlichten Kunststoffbahn den richtigen Halt. Darüber wird Secudrain ausgelegt – eine Filz-Kunststoffmatte, die das Regenwasser anzieht und geordnet ableitet. Auf ihr wiederum liegt ein Geo-Gitter, auch Kralmatte genannt, das die gesunde Erde an der Oberfläche festhält. Die 50 Zentimeter Mutterboden, mit denen der komplette Wall abschließend überzogen wird, würden wegen des starken Gefälles sonst seitlich abrutschen.



Regen und Wind erschweren das Verschweißen der Folien auf dem Wall. An dessen Fuß ist die von Niederschlägen geflutete A 33-Trasse zu sehen.



Im Garten trocknet die Wäsche, daneben steht der Lärmschutzwall aus belastetem Boden. Anwohnerin Ursula Keiperth ist verunsichert.

»100 Jahre hält die Folie bestimmt, und was in 500 Jahren ist, weiß kein Mensch.«

Thomas Werning, Umweltautor, ist davon überzeugt. »Den belasteten Boden im Lärmschutzwall einzulagern, erspart uns eine kostenintensive Entsorgung«, sagt Thomas Werning vom Umweltamt. Die direkt betroffenen Anwohner, die in den vergangenen Jahren sowie schon Scherereien wegen belasteten Trinkwassers hatten, finden diese Lösung dagegen nicht so toll. »Zuerst waren wir froh, als es hieß, wir bekämen einen Lärmschutzwall, und jetzt hören wir, dass das Baumaterial voller Schadstoffe ist. Wir sind verunsichert«, beklagt Dieter Keiperths Ehefrau Ursula, Sekretärin im Brackweder Gymnasium. »Ist die Schutzfolie dauerhaft haltbar? Wird der Wall bepflanzt? Hat die Bepflanzung Auswirkungen auf die Haltbarkeit der Folie? Wegen solcher Unklarheiten können wir nicht beruhigt sein.«

Thomas Werning kann einen Teil der Befürchtungen zerstreuen: »Der schadstoffhaltige Boden lagert trocken und dunkel. Das garantieren hochwertige Folien aus der Deponeietechnik. Sie sind reißfest, stabil und halten ewig, solange sie nicht mit UV-Strahlung in Kontakt kommen«, behauptet er. »Und die Begrünung wird auf den Bedarf abgestimmt. Natürlich werden wir dort keine



Wie Neuschnee sieht der weiße Filz auf den ersten Blick aus, den die Mitarbeiter der Bückeburger Firma Naue Sealing in vier Meter breiten Bahnen auf dem Lärmschutzwall in der Windflöte verteilen und verschweißen. Die schwarze Folie darunter ist die wasserdichte Schicht.

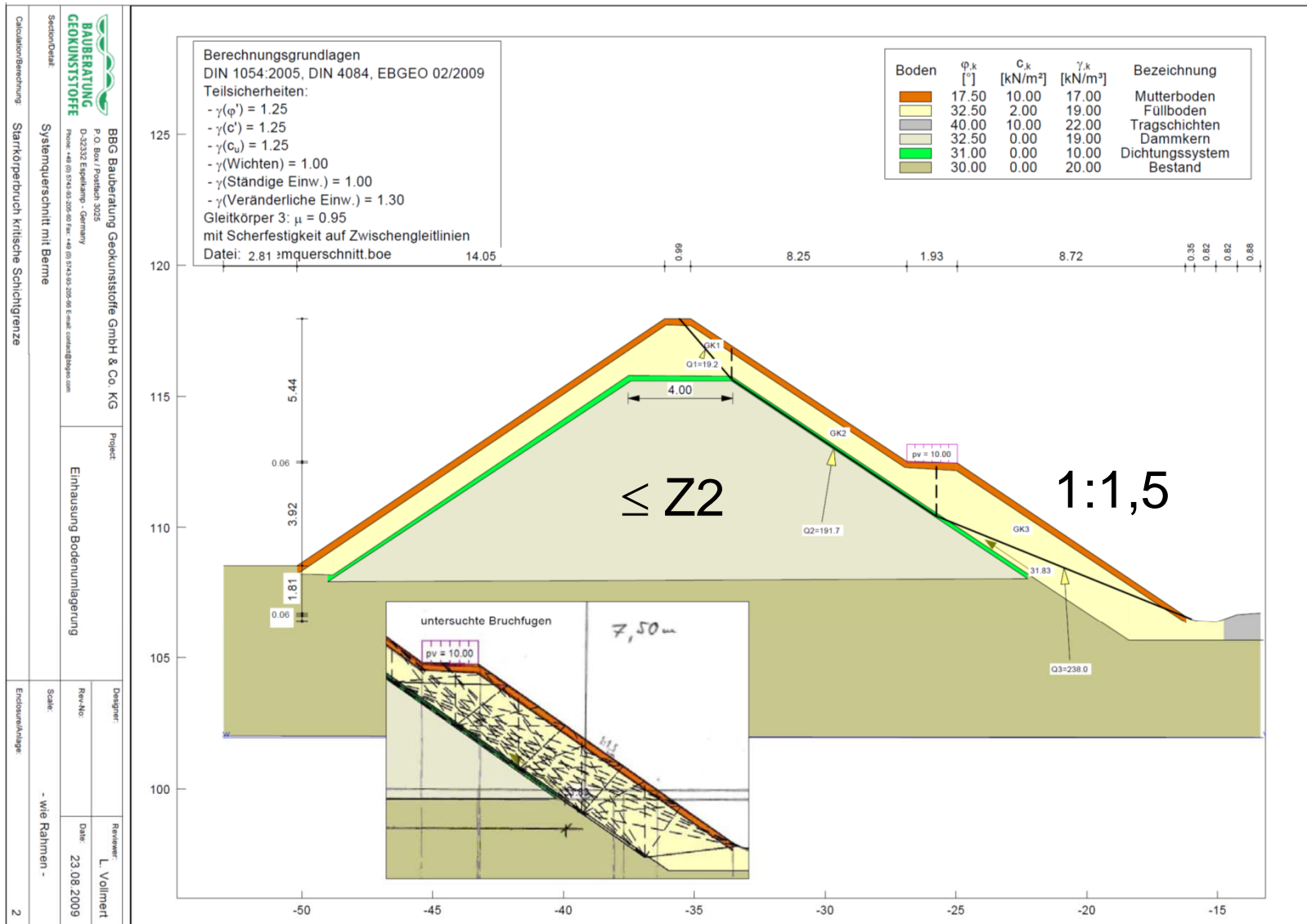
Deutsche Eiche pflanzen, sondern eher Flachwurzeln Sträucher.« Anschließend werde der Wall regelmäßig inspiziert. Bäume, die sich eventuell wild ansiedeln, würden entfernt. Werning: »100 Jahre hält die Folie bestimmt, und was in 500 Jahren ist, weiß kein Mensch.«

Um das Regenwasser vom Lärmschutzwall abzuführen, errichtet der Landesbetrieb Straßenbau NRW ein Regenrückhaltebecken zwischen Postheide und Niederheide. Von dort könne das Wasser, je nach Bedarf, dosiert in den Reiberbach abgegeben werden, versichert Werning.

Versammlung des Tierschutzvereins

Virtuelles Feuerwehrgespräch

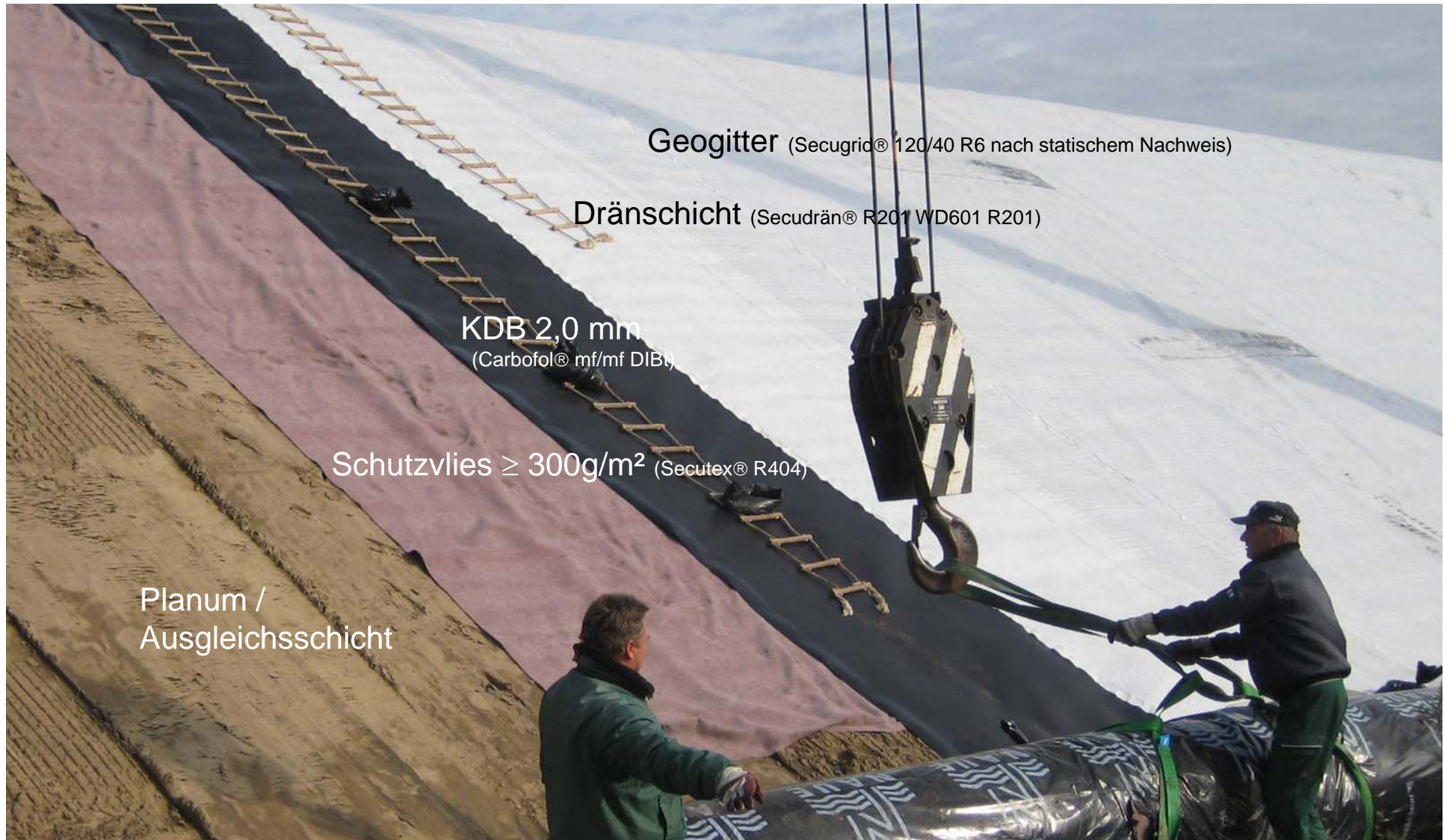
LSW A33 Windflöte



LSW A33 Windflöte



LSW A33 Windflöte

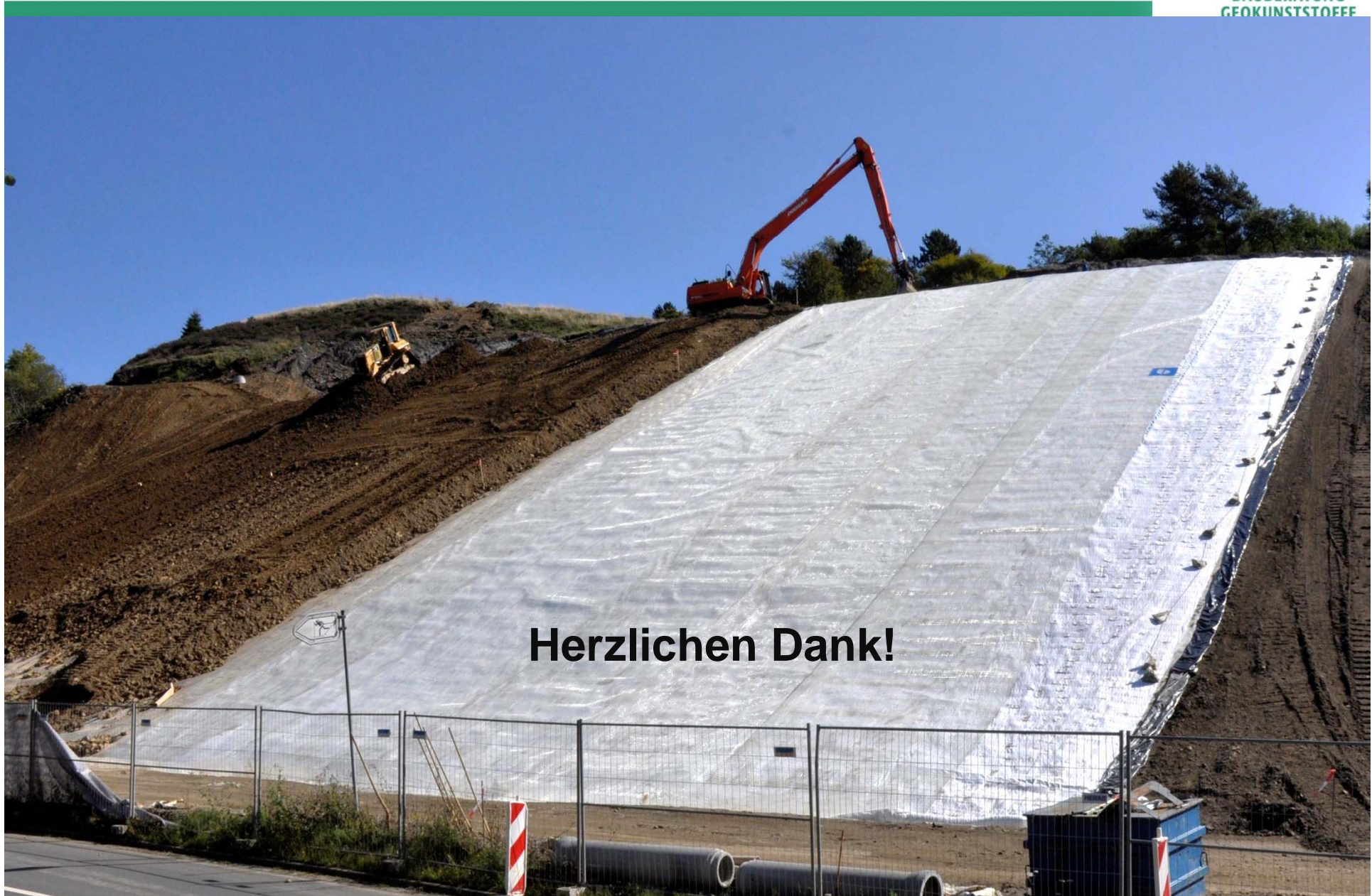


LSW A33 Windflöte



Für Geokunststoffabdichtungen kann zusammenfassend festgehalten werden, dass

- sie wirtschaftliche Abdichtungssysteme entsprechend dem Stand der Technik (MTSE) ermöglichen,
- ein ausgesprochen hohes Nachweisniveau möglich ist (DIBt oder BAM) mit Lebensdauernachweisen $> 100a$
- die Standsicherheit auch steiler Böschungen bis zu 1:1,5 beherrschbar ist
- bei sachgerechter Ausführung die Scherfestigkeit der Böden maßgebend wird
- die Bauwerke als Ingenieurbauwerke zu betrachten und nachzuweisen sind
- in der Bauausführung die Qualitätsanforderungen geprüft und eingehalten werden müssen.



Herzlichen Dank!