



Geotextilien im Wasserbau - Gefahr für die Umwelt?



BWK Fachtagung Geotextilien im Wasserbau



Betrachtung von Umweltauswirkungen im Lebenszyklus von Geotextilien



Christoph Hessian
hessian@huesker.de
+49 (0) 2542 / 701-236
Technischer Produktmanager
HUESKER Synthetic GmbH



Betrachtung von Umweltauswirkungen im Lebenszyklus von Geotextilien

- # Geotextilien
 - # Einsatzbereiche
 - # Materialien
 - # Dauerhaftigkeit
- # Lebenszyklusbetrachtung
 - # Von der Wiege bis zur Bahre (cradle to grave)
 - # Umweltproduktdeklarationen
- # Umweltauswirkungen
 - # Mikroplastik
 - # Nachhaltigkeit



Straßen- und Verkehrswegebau



Temporäre Straßen



Bahnbau



Permanente Straßen- und Verkehrsflächen



Arbeitsplattformen /
Windkraftanlagen



Sanierung von Betonflächen
mit Asphalt



Sanierung von Asphaltflächen



Erd- und Grundbau



Bewehrung über vertikalen Traggliedern



Erdfallüberbrückung



Kunststoff-Bewehrte-Erde



Geokunststoffummantelte Sandsäulen



Dammbasisbewehrung



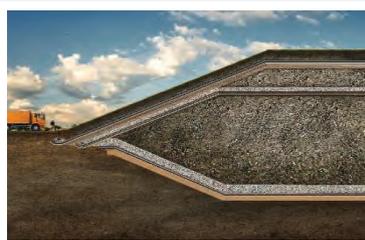
Rohrummantelung



Umwelttechnik



Grundwasserschutz



Deponiebau



Altlastensanierung



Flüssigkeitsspeicher



Entwässerung



Bergbau



Schlammteich-Dammerweiterung



Haufenlagung



Schlammteich-Damm



Steile Böschungen



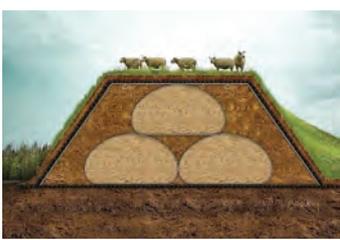
Arbeitsplattformen



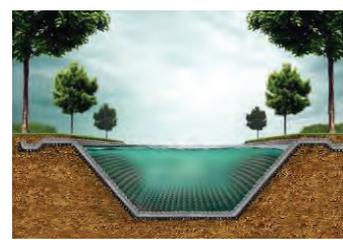
Schutzschicht



Wasserbau



Dämme / Deiche



Kanäle



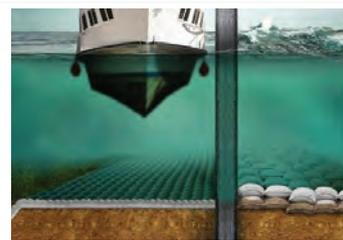
Uferschutz



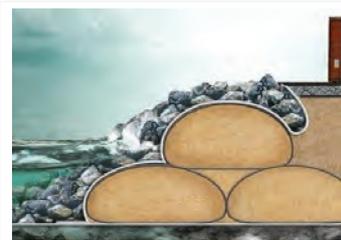
Buhnen / Wellenbrecher



Deckwerke

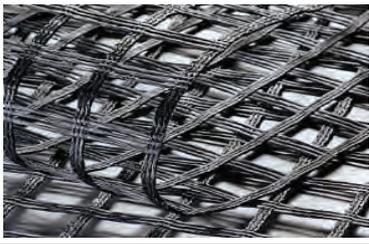


Sohlsicherung / Kolkenschutz



Landgewinnung

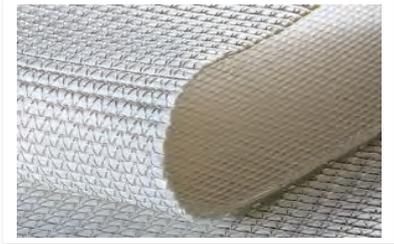




Geogitter
(PET, PP, PVA, AR, ...)



Container und Schläuche
(PP, PE, PA, ...)



Gewebe
(PET, PP, PE, PVA, ...)



Vliesstoffe
(PP, PET, PE, ...)



Tondichtungsbahnen
(PP, Bentonit, ...)



Verbundstoffe
(PET, PP, PVA, ...)



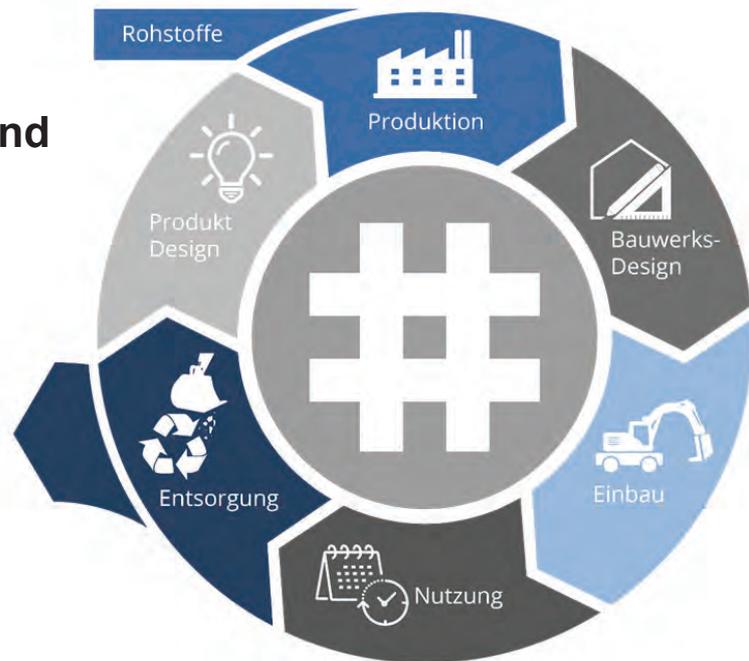
Geotextilien sind moderne Baustoffe

- # speziell für die vorgesehene Anwendung bemessen
- # Dauerhaftigkeit > 100 Jahre bezogen auf die Zugfestigkeit
- # energieintensive Stahl- und Betonelemente ersetzen
- # natürliche Ressourcen schonen
- # große Massentransporte verringern
- # Altlasten abdichten und von der Umwelt trennen
- # Gefahrstoffe filtern oder binden
- # uvm.



Umweltauswirkungen während

- # Rohstoffversorgung
- # Produktion
- # Einbau
- # Nutzung
- # Entsorgung



Lebenszyklus von Geotextilien

Umweltproduktdeklaration (EPD)

- # Umweltproduktdeklarationen dienen als Grundlage für eine einheitliche Bewertung von Umwelteinflüssen eines Produktes
- # Die Bewertung erfolgt gemäß
 - # EN 15804 - Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen
 - # ISO 14025 - Umweltkennzeichnungen und -deklarationen, Typ III Umweltdeklarationen



Umweltproduktdeklaration (EPD)

EU Bauprodukteverordnung:

(56) Zur Bewertung der nachhaltigen Nutzung der Ressourcen und zur Beurteilung der Auswirkungen von Bauwerken auf die Umwelt sollten die Umwelterklärungen (Environmental Product Declarations - EPD), soweit verfügbar, herangezogen werden.



Umweltproduktdeklaration (EPD)

Angabe der Systemgrenze																	
Produktionsstadium			Stadium der Errichtung des Bauwerks		Nutzungsstadium								Entsorgungsstadium				Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenze
Raw Rohstoffversorgung	Transport	Herstellung	Transport vom Hersteller zum Verwendungsort	Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Erneuerung	Energieeinsatz für das Betreiben des Gebäudes	Wassereinsatz für das Betreiben des Gebäudes	Rückbau/Abriss	Transport	Abfallbehandlung	Beseitigung	Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- oder Recyclingpotenzial	
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	
X	X	X	X	X	X	X	X	MND	MND	MND	MND	X	X	X	X	X	

X=Modul deklariert | MND=Modul nicht deklariert



Umweltproduktdeklaration (EPD)



Ergebnisse der Ökobilanz - Umweltauswirkungen: 1 m² Geogitter Fortrac® T

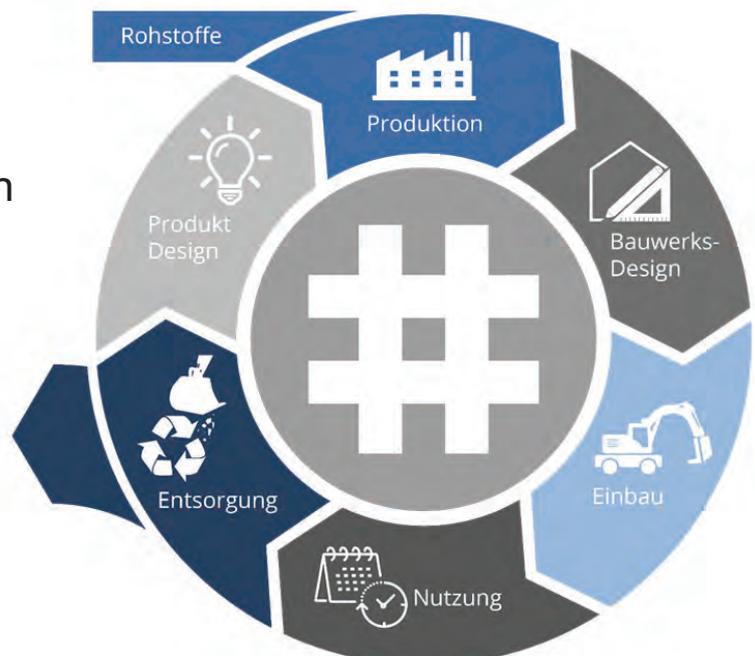
Parameter	Unit	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	C1	C2	C3	C4	D
ADP(e)	[kg Sb-Äq]	2,89E-06	8,46E-08	1,77E-07	1,99E-08	1,94E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,30E-08	1,82E-08	2,06E-07	0,00E+00	-2,18E-08
ADP(f)	[kg Sb-Äq]	1,32E-02	2,23E-04	7,18E-03	5,24E-05	1,53E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,72E-04	4,79E-05	3,25E-04	0,00E+00	-3,72E-03
GWP	[kg CO ₂ -Äq]	1,22E+00	2,97E-02	8,50E-01	7,00E-03	2,19E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,82E-02	6,40E-03	8,37E-01	0,00E+00	-3,66E-01
ODP	[kg CFC 11Äq]	5,00E-08	5,55E-09	9,55E-08	1,31E-09	2,15E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,24E-08	1,19E-09	2,56E-08	0,00E+00	-3,68E-08
POCP	[kg Ethen-Äq]	1,35E-03	1,76E-05	1,60E-04	4,15E-06	1,48E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,91E-05	3,80E-06	2,67E-05	0,00E+00	-1,12E-04
AP	[kg SO ₂ -Äq]	4,81E-03	1,29E-04	1,01E-03	3,03E-05	8,36E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,18E-04	2,77E-05	2,88E-04	0,00E+00	-3,74E-04
EP	[kg (PO ₄) ³ -Äq]	6,72E-04	2,60E-05	1,90E-04	6,11E-06	1,65E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,16E-04	5,59E-06	5,10E-05	0,00E+00	-4,32E-05

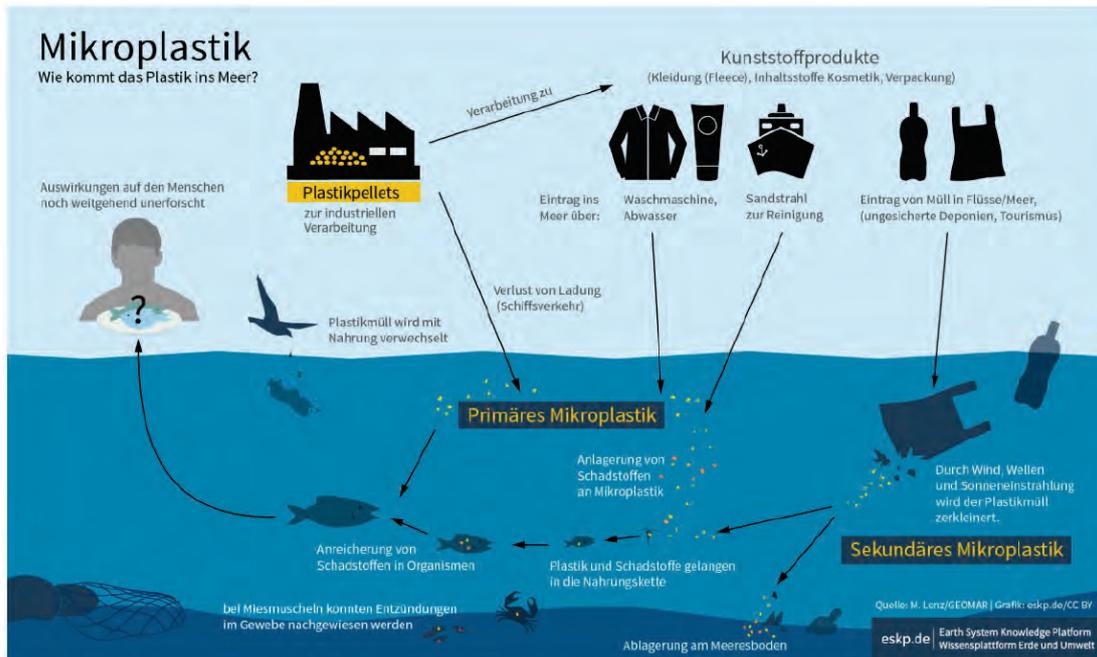
ADPe=Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen | ADPf=Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe | AP=Versauerungspotenzial von Boden und Wasser | ODP=Abbau Potenzial der stratosphärischen Ozonschicht | GWPGlobales Erwärmungspotenzial | EP=Eutrophierungspotenzial | POCP=Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon



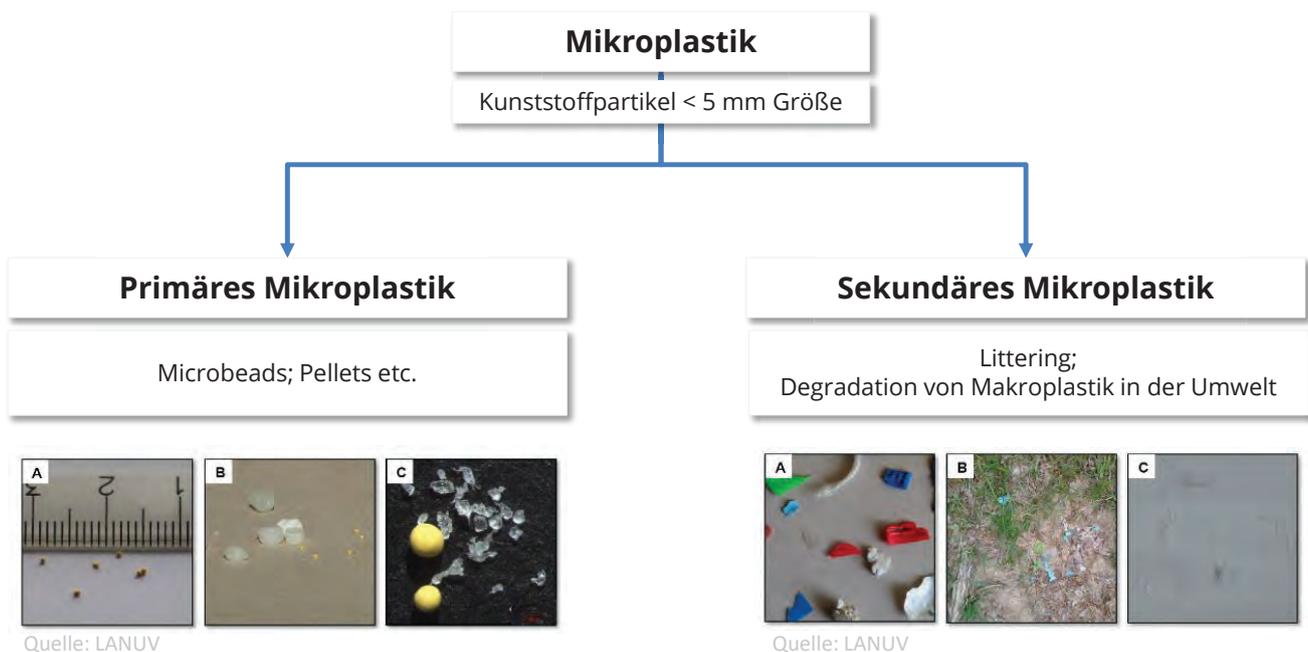
Lebenszyklus von Geotextilien

- Absolute Umweltauswirkungen durch den Einsatz von Geotextilien sind bekannt.
- Erfassung anderer Umweltauswirkungen
- Wie sehen diese im Vergleich zu konventionellen Bauweisen aus?





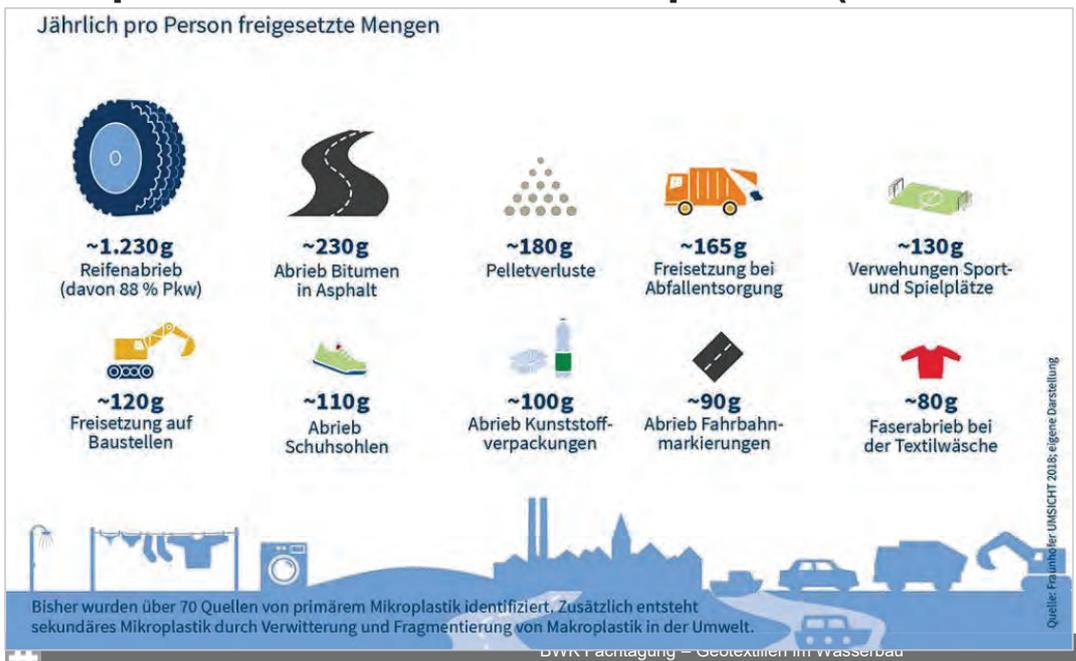
[Quelle: eskp.de | Earth System Knowledge Plattform – die Wissensplattform des Forschungsbereichs Erde und Umwelt der Helmholtz-Gemeinschaft]



Eintrag von Plastikmüll in Flüsse weltweit



Hauptverursacher von Mikroplastik (Deutschland)



→ Summe Top 10 aus 51:
≈ 2,5 kg pro Kopf/Jahr

→ Summe gesamt:
≈ 4 kg pro Kopf/Jahr

Potentielle Emissionen durch Geotextilien?

Mikroplastikpotential von Geotextilien



Mögliche Entstehung von MP aus Geotextilien

Mechanische Belastung



Chemische Degradation



Photochemische Degradation (UV-Licht)

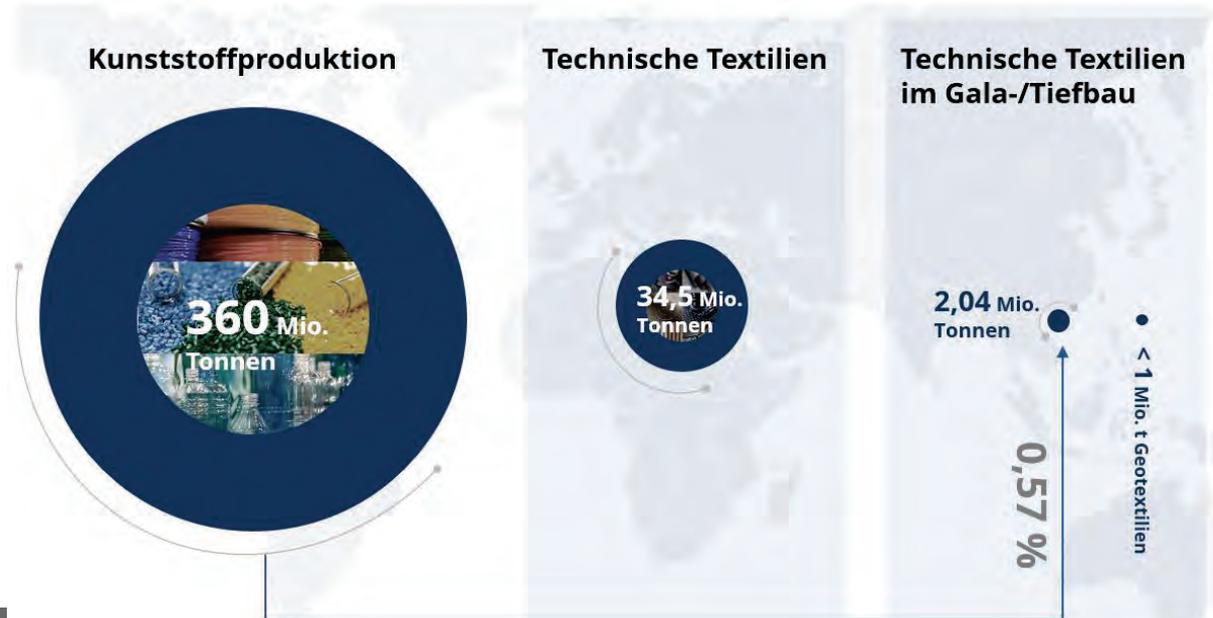


Bei ordnungsgemäßem Einsatz entsteht kein/minimal Mikroplastik durch Geotextilien.

Bei einigen wenigen Anwendungen ist das Risiko für Mikroplastik-Emissionen erhöht.



Weltweite Geotextil-Produktion



Wie viel Geotextilien werden eigentlich eingebaut?

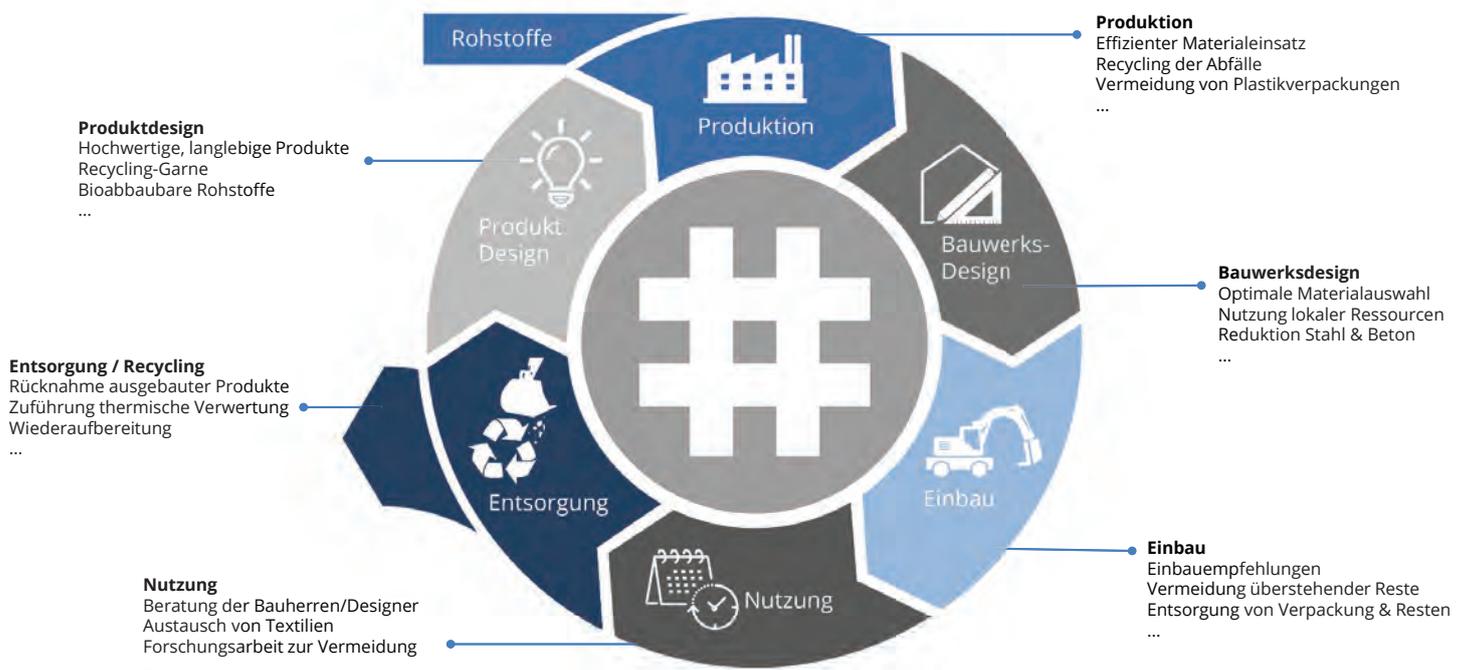
- # Binnenwasserstraßen (Deutschland):
 - # Im Jahr 2015 sind ~ 380.000 m² GT für Böschungs-/ Sohlsicherungen in Deutschland verbaut worden
 - # ~ 300 t/Jahr (theoretisches Potenzial in Binnenwasserstraßen)
 - # Betrifft nur Binnenwasserstraßen; andere Anwendungen nicht berücksichtigt
- # Vergleich zu MP-Eintrag in die Umwelt:
 - # Reifenabrieb erzeugt ~ 100.000 t/Jahr
 - # Abfallentsorgung erzeugt ~ 25.000 t/Jahr

Wir nehmen
das Thema
dennoch
ernst!



HUESKER Mikroplastik Management

HUESKER
Ideen. Ingenieure. Innovationen.





Ökologische Nachhaltigkeit von Geotextilien

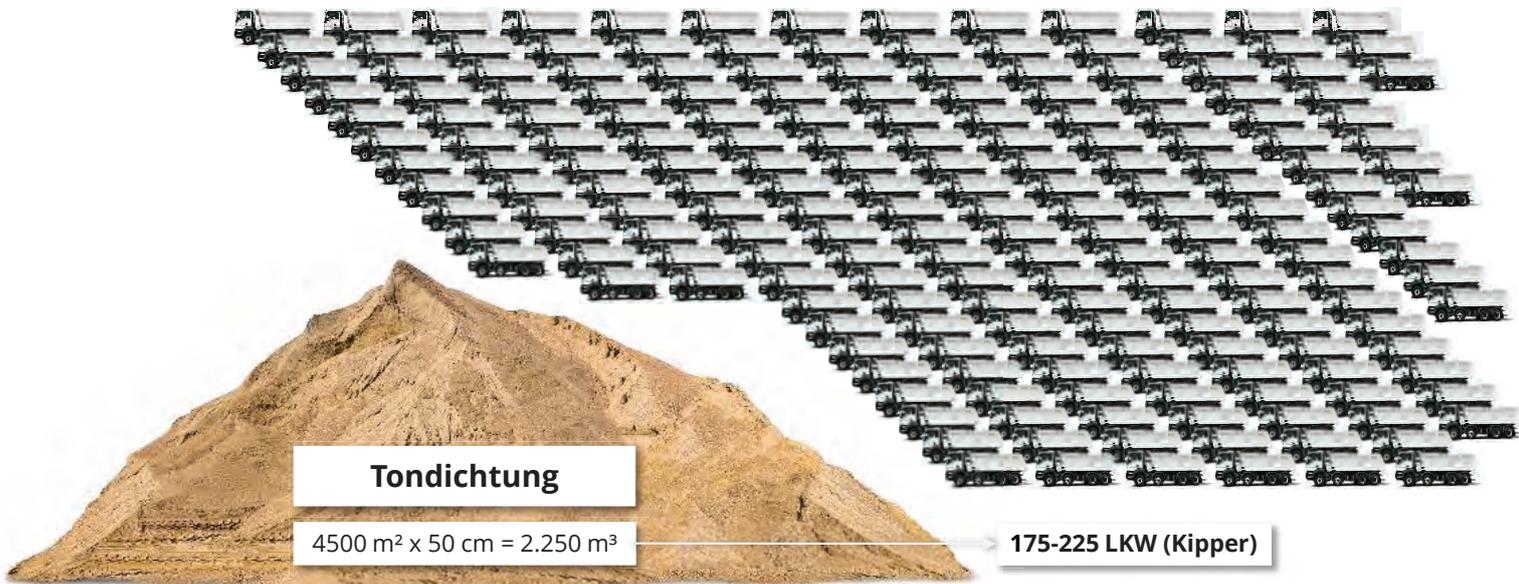
Nachhaltigkeit von Geotextilien



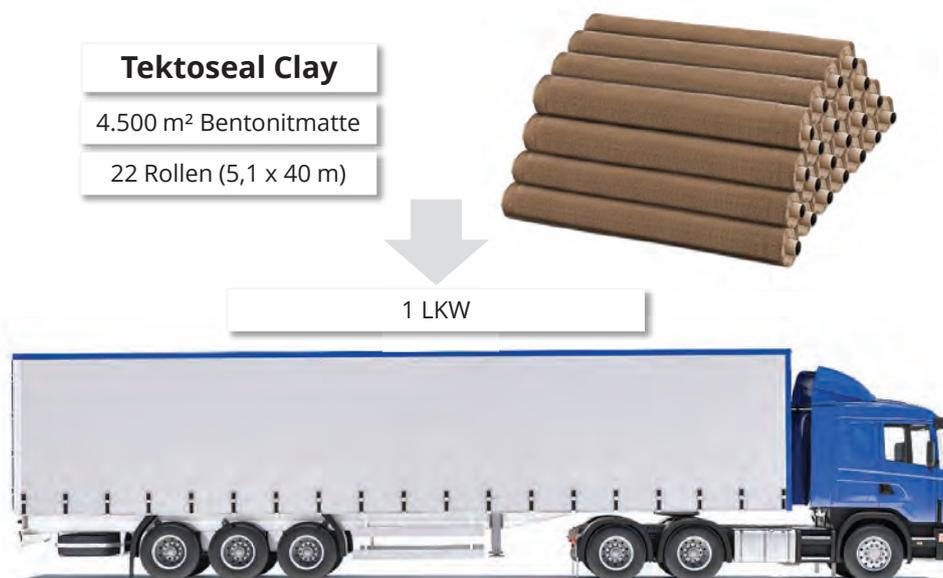
Positive Auswirkungen durch den Einsatz von Geotextilien

- ⌘ Wie sehen diese im Vergleich zu konventionellen Bauweisen aus?
- ⌘ Ziel: *nachhaltige Nutzung der Ressourcen*

Beispiel 1: Konventionelle Tonabdichtung Deponie



Beispiel 1: Abdichtung mit geosynthetischer Tondichtungsbahn



Beispiel 2: konventioneller Mineralkornfilter im Wasserbau

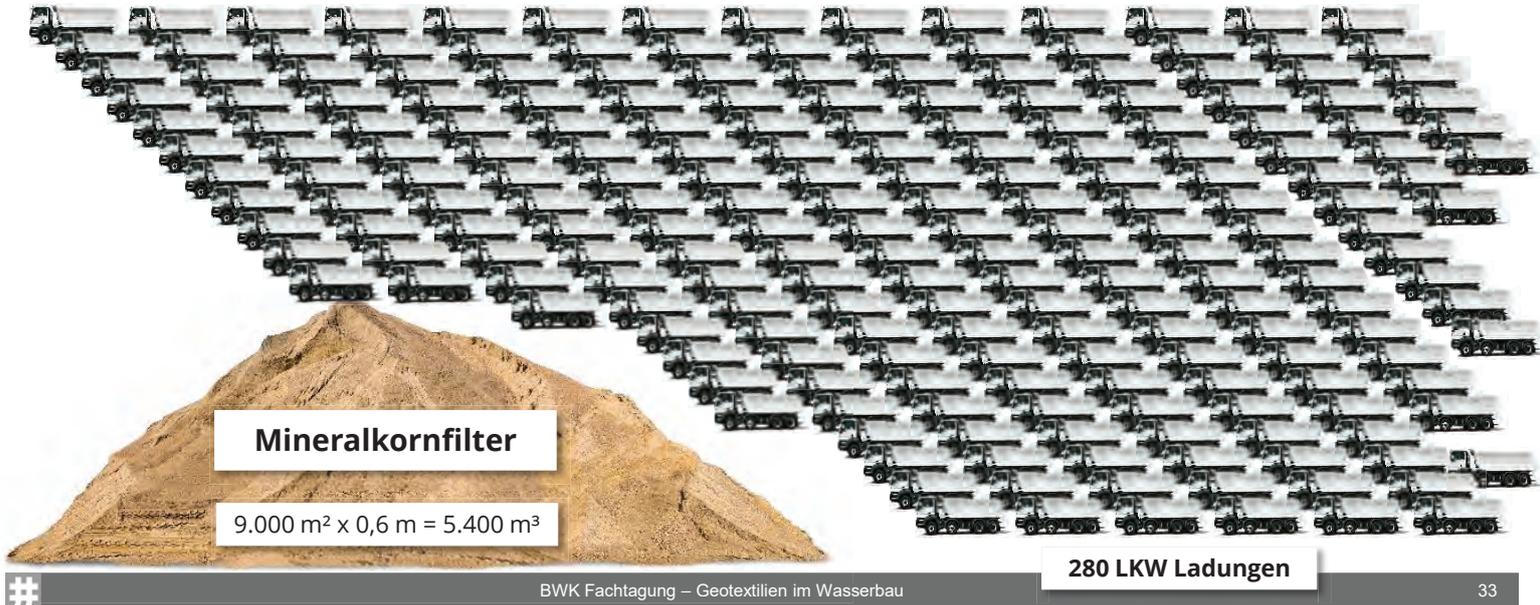
- # 1 Rolle (5 m breit, 100 m lang) deckt eine Fläche von 500 m²
- # Typische Mineralkornfilterdicke: 0,3 bis 0,6 m
- # 500 m² x 0.3 bis 0.6 m = 150 m³ bis 300 m³
- # Mit einer Dichte von 1.4 t/m³ werden 210 bzw. 420 Tonnen Kornfilter benötigt
- # = 8 bzw. 16 LKW-Ladungen



Beispiel 2: Geotextiler Filter im Wasserbau



Einsparpotenzial durch Geotextilien im Vergleich zum konventionellen Mineralkornfilter



Bauweisen im Vergleich (EAGM-Studie)

Fallstudie	Umschreibung	Bauweise	Ergebnisse
1A	Filtersystem unterhalb eines Verkehrsweges	Filtersystem mit mineralischem Kiesfilter	85% reduzierte Umweltbelastungen allg.
1B		Filtersystem mit Geokunststoffen	85% Reduktion Energieaufwand 89% weniger Treibhausgasemissionen
2A	Bodenstabilisierung eines Straßenunterbaus	Konventioneller Aufbau ohne Stabilisierung	5-10% reduzierte Umweltbelastungen allg.
2B		Geokunststoffbewehrter Aufbau	Bis zu 32% weniger Treibhausgasemissionen
2C		Bodenstabilisierung mit Zement/Kalk	
3A	Dränschicht in der Deponieoberflächenabdichtung	Mineralische Dränschicht	> 50% reduzierte Umweltbelastungen allg.
3B		Geokunststoff-Dränschicht	56% Reduktion Energieaufwand 67% weniger Treibhausgasemissionen
4A	Stützkonstruktionen	Betonstützmauer	52-87% reduzierte Umweltbelastungen allg.
4B		Geokunststoffbewehrte Stützkonstruktion	75% Reduktion Energieaufwand 85% weniger Treibhausgasemissionen

Betrachtung von Umweltauswirkungen im Lebenszyklus von Geotextilien

- # Geotextilien sind moderne Baustoffe mit hoher Nutzungsdauer und ermöglichen einen effizienten Ressourceneinsatz
- # Beim Vergleich verschiedener Alternativen müssen immer alle Umweltauswirkungen im Lebenszyklus eines Bauwerkes betrachtet werden
- # Das Mikroplastikpotential von Geotextilien ist sehr gering und kann durch gute Planung sowie sachgerechten Ein- und Ausbau weitestgehend vermieden werden
- # Geotextile Bauweisen haben i.d.R. erheblich geringere Umweltauswirkungen und tragen zur Nachhaltigkeit in der Bauwirtschaft bei



Wir beantworten Ihre Fragen sehr gerne!



Christoph Hessing
hessing@huesker.de
+49 (0) 2542 / 701-236
Technischer Produktmanager
HUESKER Synthetic GmbH



Norbert Kunz

Anwendung von Geokunststoffen im Verkehrswasserbau

BWK-Webseminar
„Geotextilien im Wasserbau – Gefahr für die Umwelt?“

14.04.2021



Anwendung von Geokunststoffen im Verkehrswasserbau

- **Einleitung**
- **Aufgaben und Funktion eines Filters im Wasserbau**
- **Ausführungsmöglichkeiten von Filtern**
 - **Kornfilter**
 - **Geotextile Filter**
- **Anwendungen von Geotextilen Filtern**
- **Anwendungsvorschriften**
- **Zusammenfassung**

1. Einleitung

- Geotextilien werden im Bauwesen vielseitig eingesetzt
- im Verkehrswasserbau – wesentliche Funktion: Filtern, aber auch Trennen
- Verwendung von PP und PES
- im Wesentlichen vernadelte Vliesstoffe
- 6300 km Binnenwasserstraßen
- 2015: Einbau von 380 000 m² Geotextil für die Böschungs- und Sohlensicherung



Hydraulische Belastungen am Ufer einer Wasserstraße

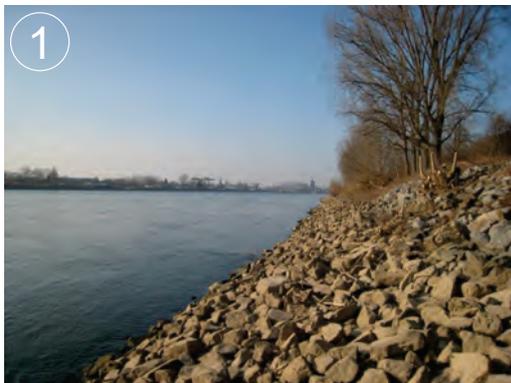


**Erfordernis eines
filtergerechten
Deckwerks-
aufbaus!**

Beispiele für einen nicht filtergerechten Deckwerksaufbau



Beispiele für einen nicht filtergerechten Deckwerksaufbau



Rhein

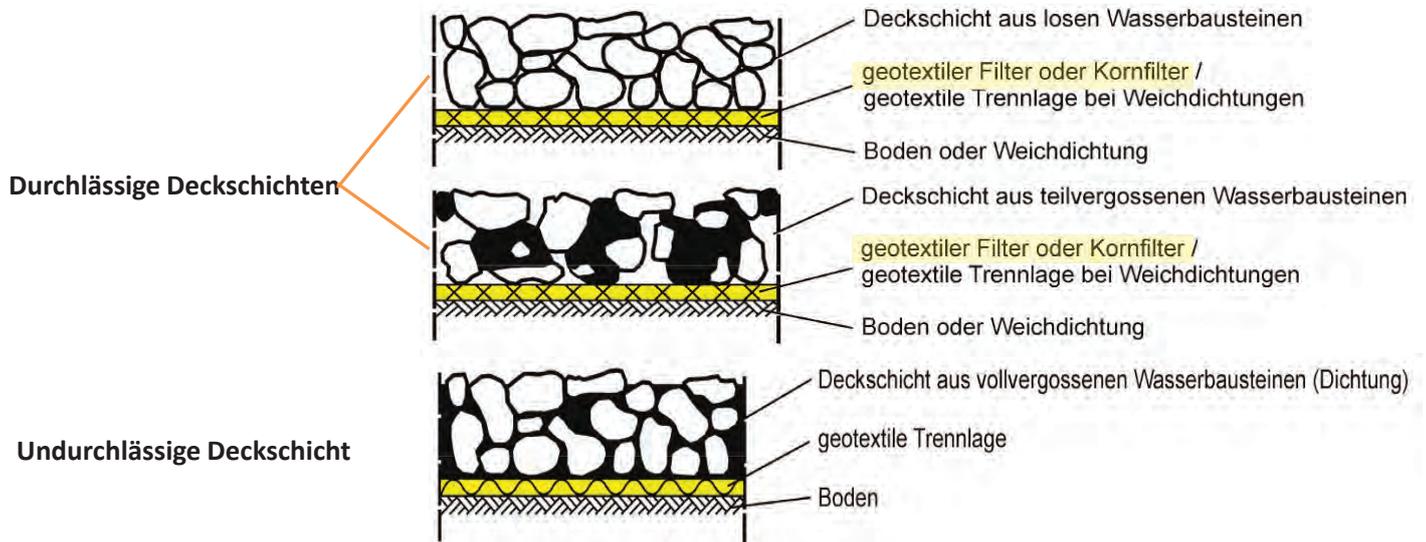
Ein filtergerechter Aufbau ist Grundvoraussetzung für haltbare wasserdurchlässige Böschungs- und Sohlensicherungen im Wasserbau.

Anforderungen an einen Filter

- I) die Bodenpartikel müssen (zum überwiegenden Teil) zurückgehalten werden**
- II) die Durchlässigkeit des Filters darf im Betrieb nicht abnehmen, um einen Anstieg des Porenwasserdrucks zu vermeiden**
- III) Kolmation muss vermieden werden**
- IV) grundsätzliche Robustheit (Einbau, Haltbarkeit)**

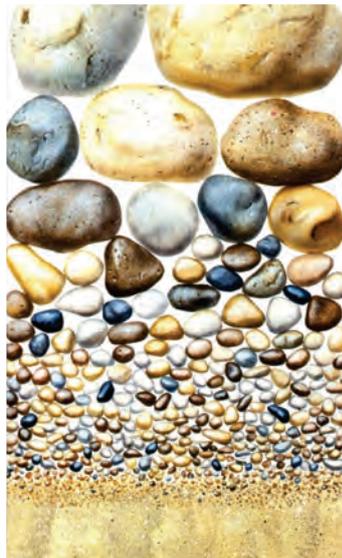
Anwendung von Geotextilien im Deckwerk

Regelbauweisen für Deckschichten [MAR 2008]



Ausführungsarten von Filtern im Wasserbau

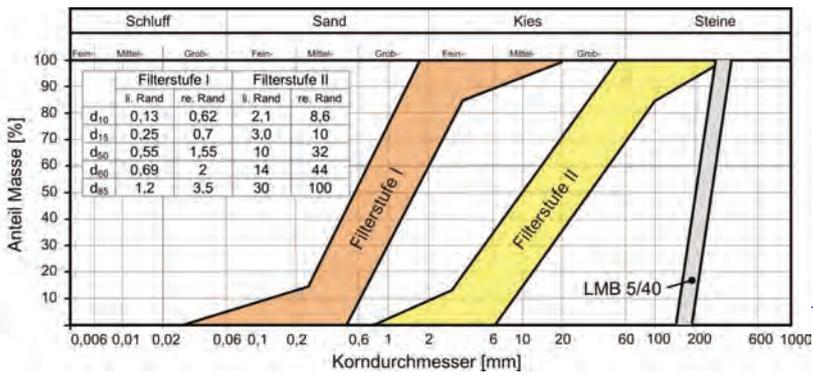
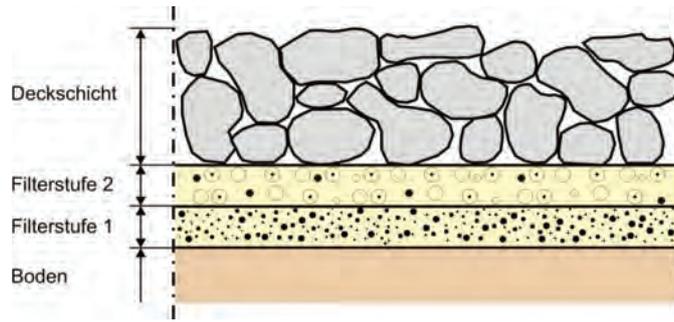
Kornfilter



Geotextile Filter



Mineralkornfilter



	Einbau	
	im Trockenen	unter Wasser
$d_{50,F} \leq 30 \text{ mm}$	15 cm je Stufe	20 cm je Stufe
$d_{50,F} > 30 \text{ mm}$	30 cm je Stufe	30 cm je Stufe
Mischkornfilter	30 cm	30 cm

www.baw.de

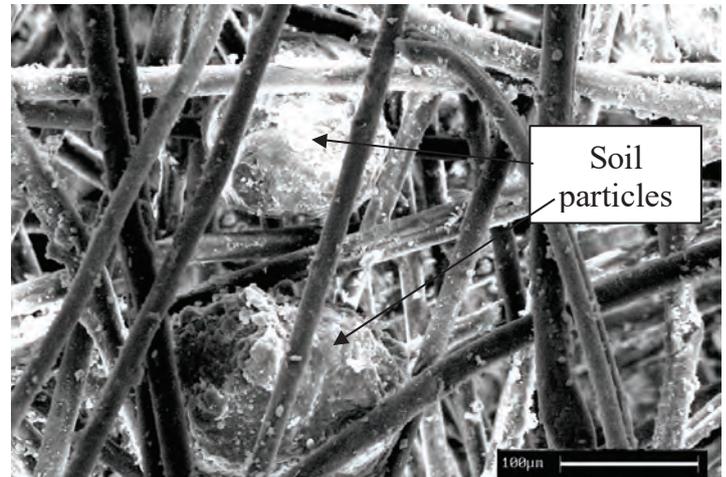
Einbau von Mineralkornfiltern



Foto: Pohl

Geotextile Filter

vernadelte Vliesstoffe aus PP und PES
Faserdurchmesser 30 µm,
flächenbezogene Masse von 600...800 g/m²,
Dicke > 4 mm bzw. > 6,5 mm

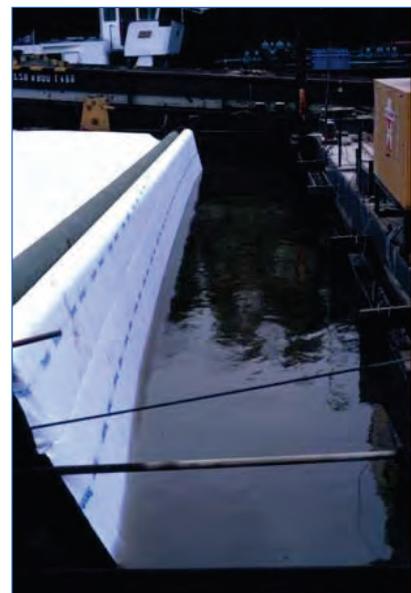


Einbau von Geotextilen Filtern

- abrollen auf Planum



- Ablassen über Pontonkante



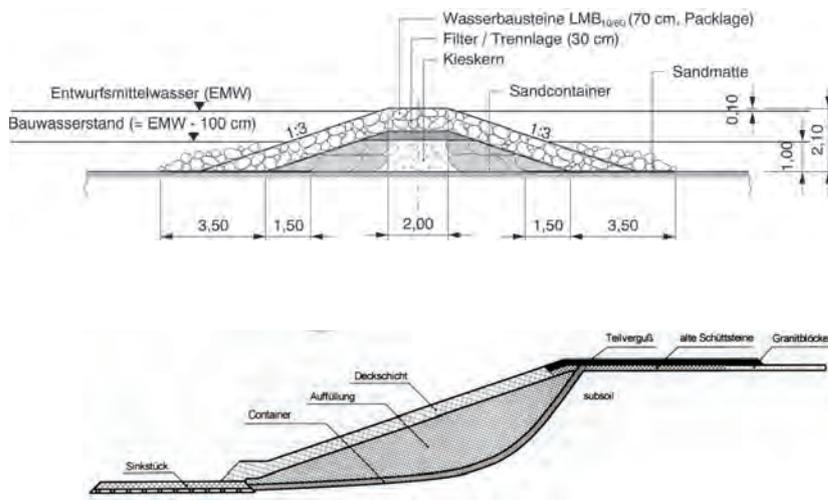
Materialbedarf für 1 km Streckenausbau (ca. 60.000 m² Filterfläche)

		Mineralkornfilter (D = 0,4 m)	Geotextiler Filter
Masse pro m ²	in kg/m ²	580	0,650
Erforderliche Menge für 1 km Streckenausbau	in t	34.800	39 = 193 Rollen a 312 m ²
40 t-LKW (Zuladung 24 t)		1.450	3 (je 84 Rollen)
Europaschiffe (Zuladung 1.350 t)		26	-
Bodenaushub für Planum	in kg/m ²	580	
Kosten Lieferung + Einbau	in €/m ²	28	8

2015: Einbau von 380 000 m² Geotextil für die Böschungs- und Sohlensicherung



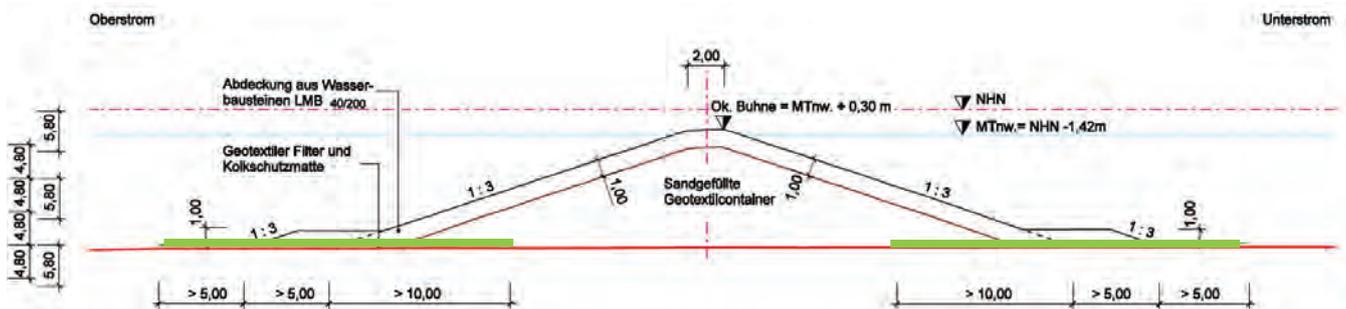
Geocontainer



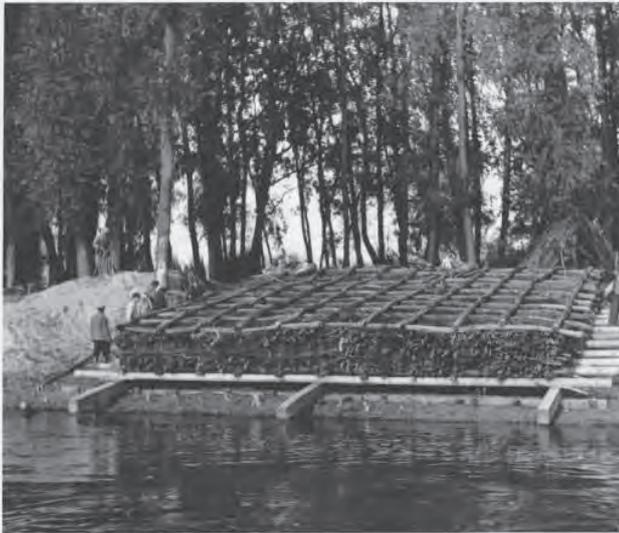
[Heibaum, 1995]



Sinkstücke



Historische Sinkstücke ohne Geotextilen Filter



[Historisches Bildarchiv]



[Historisches Bildarchiv]

Anwendung von Geokunststoffen im Verkehrswasserbau; Norbert Kunz
14.04.2021 | Seite 19

www.baw.de

Regelwerksituation in der WSV

- **DIN EN 13253, Geotextilien und geotextilverwandte Produkte – Geforderte Eigenschaften für die Anwendung in Erosionsschutzanlagen (Küstenschutz, Deckwerksbau);** keine Mindestwerte oder Leistungsklassen und Umweltauflagen; DoP bis 100 Jahre Dauerhaftigkeit möglich;
- Grundprüfung der BAW mit weiteren bauartbezogenen Leistungsmerkmalen nach **Richtlinien für die Prüfung von Geotextilien im Verkehrswasserbau (RPG)**
- **Technische Lieferbedingungen für Geotextilien und geotextilverwandte Produkte an Wasserstraßen (TLG) - Ausgabe 2018;** regelt das Leistungsniveau
- **ZTV-W 210 Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Wasserbau (ZTV-W) für Böschungs- und Sohlensicherungen (Leistungsbereich 210) Ausgabe 2015;** wird nach Bauvertrag wirksam

Anwendung von Geokunststoffen im Verkehrswasserbau; Norbert Kunz
14.04.2021 | Seite 20

www.baw.de

Regelwerksituation in der WSV

Technische Lieferbedingungen für Geotextilien und geotextilverwandte Produkte an Wasserstraßen (TLG)

Leistungsniveau für folgende Parameter wird festgelegt:

- Dicke der Filterschicht
- Zulässiger Bodendurchgang im Turbulenz- bzw. Durchströmungsversuch nach RPG
- Wasserdurchlässigkeit des bodenbesetzten Geotextils
- Zugfestigkeit längs und quer, Zugfestigkeit der Nahtverbindungen
- Abriebbeständigkeit nach RPG
- Durchschlagwiderstand nach RPG

3.2 Allgemeine Eigenschaften und Anforderungen

- (9) Geotextilien und ihre Verbindungsmaterialien müssen verrottungsfest, öl-, seewasser- und frostbeständig sowie umweltverträglich sein. Die Mindestnutzungsdauer muss, wenn es sich nicht um eine temporäre Maßnahme handelt, mindestens 50 Jahre betragen. Sie ist nach DIN EN 13253, Anhang B, nachzuweisen. Hinsichtlich der Freisetzung gefährlicher Stoffe gelten die Vorschriften des betreffenden Bundeslandes.

Zusammenfassung

Filter bzw. Trennlagen sind Bestandteil aller Regeldeckwerke der WSV. Die Ausführung aus Geotextilien ist Ressourcenschonend und weniger aufwändig als die Verwendung derzeit üblicher alternativer Materialien. Für Geocontainer z.B. sind keine alternativen Ausführungen bekannt.

Geotextilien sind derzeit ein wichtiges Produkt für den Einsatz im Verkehrswasserbau.



Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit

Bundesanstalt für Wasserbau
76187 Karlsruhe, Germany

www.baw.de

Anwendung von Geokunststoffen im Verkehrswasserbau; Norbert Kunz

Sicherheit in Technik und Chemie

14.04.2021

BESCHLEUNIGTE ALTERUNG VON GEOTEXTILIEN ZUR ERMITTLUNG VON MATERIALEIGENSCHAFTEN

Dr. Franz-Georg Simon

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung



www.bam.de

ERA.Net RUS Plus Projekt EI-GEO

Environmental impact of geosynthetics in aquatic systems



Forschungsprojekt mit 3 Partnern aus 3 Ländern

- Shirshov Institut für Ozeanologie, Moskau, Außenstelle Kaliningrad
- Lettisches Institut für Aquatische Ökologie, Riga
- BAM, Berlin



14.04.2021

Geotextilien im Wasserbau

ERA.Net RUS Plus Projekt EI-GEO

Environmental impact of geosynthetics in aquatic systems



Forschungsziele

- Können Geotextilien, die im Küstenschutz eingesetzt werden, eine Quelle für Mikroplastik sein?
- Künstliche (beschleunigte) Alterung von Geotextilien
- Feldstudie an der Ostsee
- Ökotox Untersuchungen (dynamic surface leaching test, DSLT)



14.04.2021

Geotextilien im Wasserbau

Küstenschutz an der Kurischen Nehrung



14.04.2021

Geotextilien im Wasserbau

4

Küstenschutz an der Kurischen Nehrung



5

Küstenschutz an der Kurischen Nehrung



14.04.2021

Geotextilien im Wasserbau

6

Küstenschutz an der Kurischen Nehrung Gabionen als Uferschutzmauer (revetment)



14.04.2021

Geotextilien im Wasserbau

7

Küstenschutz an der Kurischen Nehrung



14.04.2021

Geotextilien im Wasserbau

Küstenschutz an der Kurischen Nehrung

Feldstudie



14.04.2021

Geotextilien im Wasserbau

Küstenschutz an der Kurischen Nehrung

Feldstudie

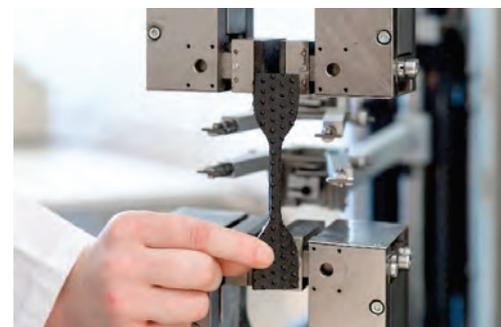


Beschleunigte Alterung

Zulassungen von Geokunststoffen gemäß DepVO

Untersuchung des oxidativen Abbaus

- Warmlagerung im Umluftwärmeschrank (80° C)
- Warmlagerung im Wasserbad (80 °C)

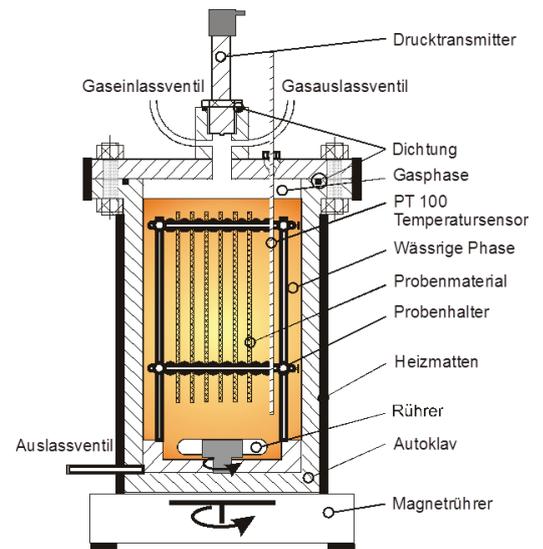


Beschleunigte Alterung

Autoklaventest nach DIN EN ISO 13438, Methode C

Untersuchung der Oxidationsbeständigkeit von Geokunststoffen auf Basis von Polyolefinen

- Temperatur des Mediums (Wasser) bis 80 °C
- Sauerstoffdruck bis 50 bar
- individuelle Probenfixierung



Beschleunigte Alterung

Reaktionskinetik

- Die Oxidation von Polymeren ist eine Reaktion (pseudo-)erster Ordnung ($[O_2] = \text{const.}$)
- $(CH_2)_n + O_2 \rightarrow \text{Oxidationsprodukte}$, Darstellung als $B + O_2 \rightarrow P$
- Die Zeit bis zum Versagen im Zugversuch ist eine Näherung für das Fortschreiten der Reaktion
- $dB/dt = -k [B]$, mit der Geschwindigkeitskonstante k in s^{-1}
- $1/B dB = -k dt \rightarrow$ (integrieren) $\ln B_0/B = k t$

Beschleunigte Alterung

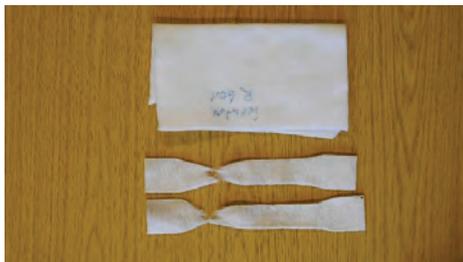
Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit

Temperatur- und Druckabhängigkeit, $k = k(T, p)$

- Arrhenius Gleichung
 $k = A e^{-E_a/RT}$ mit A Frequenzfaktor in s^{-1} and E_a Aktivierungsenergie in kJ/mol
- $E_a \approx 80$ kJ/mol, $A \approx 6 \times 10^8$ s^{-1} (Literaturwerte)
- $k = A e^{(-E_a + C p)/RT}$ mit C als Faktor für die Druckabhängigkeit
- $\ln B_0/B = k t = A e^{(-E_a + C p)/RT} t$

Beschleunigte Alterung

Autoklaventest nach DIN EN ISO 13438, Methode C

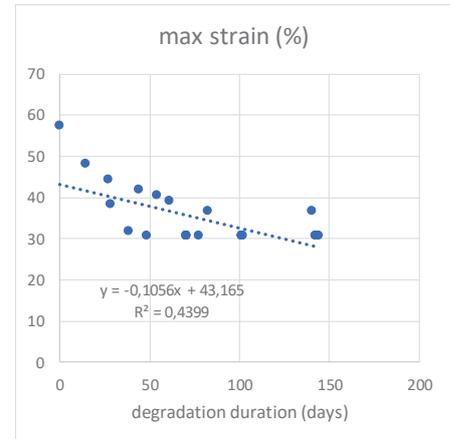
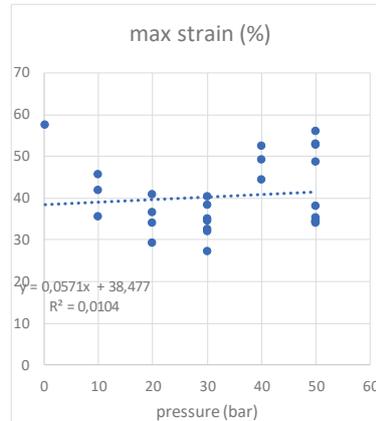
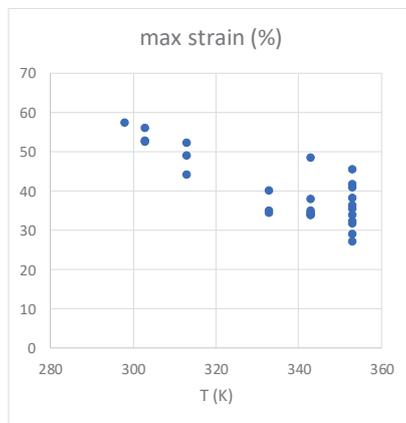


- Temperatur 30, 40, 60, 70 und 80 °C
- Druck 10, 20, 30, 40, 50 bar Sauerstoff
- Versuchsdauer 14 – 144 Tage



Beschleunigte Alterung

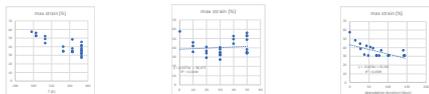
Experimentelle Daten: Zugversuch



- Modellannahme: $\ln \epsilon_e / \epsilon_c \sim \ln B_0 / B = A e^{(-E_a + C p) / RT} t = k t$
- Modellierung von A, E_a and C durch Minimierung der Fehlerquadrate

Beschleunigte Alterung

Experimentelle Daten: Zugversuch



Ergebnis

- $k(T, p) = 0,5 \text{ s}^{-1}$ bei 298 K und 0,21 bar O_2
- Halbwertszeit $\tau = \ln 2 / k = 330$ Jahre
- Experimentelle Daten zu Änderung der Molmassen (GPC) und der Stabilisatorgehalte liefern ähnliche Ergebnisse

Beschleunigte Alterung

Experimentelle Daten: Molmassen und Stabilisatorgehalte



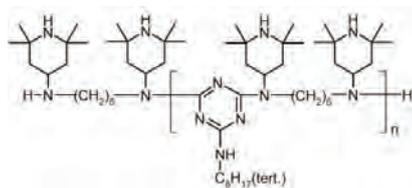
Ergebnis

- Abnahme der Molmasse M_n (number-based average) von 38.000 g/mol bis auf unter 20.000 g/mol

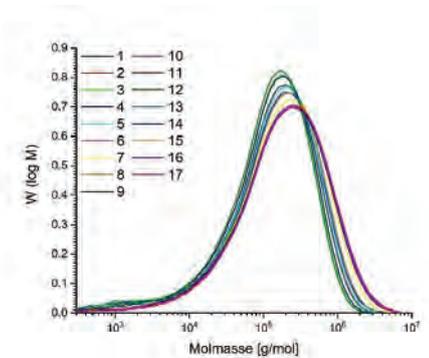
Methode: GPC

- Abnahme der Stabilisatorgehalte (HALS)

Methode: Extraktion, HPLC oder UV/VIS



sterisch gehinderte
Amine (HALS)



Gel-Permeations-
chromatographie (GPC)

Fazit



- Ausreichend stabilisierte Geotextilien haben eine Einsatzdauer von mehr als 100 Jahren.
- In Auslaugversuchen wurde keine Ökotoxizität beobachtet.
- Kunststoffe am Strand stammen aus unsachgemäßer Anwendung oder nicht adäquater Abfallbehandlung (marine littering)



Article

Environmental Impact of Geosynthetics in Coastal Protection

Philipp Scholz ¹, Ieva Putna-Nimane ², Ieva Barda ², Ineta Liepina-Leimane ², Evita Strode ²,
Alexandr Kileso ^{3,4}, Elena Esiukova ³, Boris Chubarenko ³, Ingrida Purina ² and Franz-Georg Simon ^{1,*}

¹ BAM Bundesanstalt für Materialforschung und-prüfung, 12200 Berlin, Germany; philipp.scholz@bam.de
² Latvian Institute of Aquatic Ecology, 1007 Riga, Latvia; ieva.putna@lhei.lv (I.P.-N.); ieva.barda@lhei.lv (I.B.); ineta.liepina@lhei.lv (I.L.-L.); evita.strode@lhei.lv (E.S.); ingrida.purina@lhei.lv (I.P.)
³ Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 117997 Moscow, Russia;

Geotextilien im Wasserbau Alternativen - Vorteile – Nachteile – Vermeidung von Nachteilen

BWK Webinar am 14.04.2021

Frank Spundflasch, Landesamt für Umwelt, Abteilung Wasserwirtschaft 2, Referat W22 - Bauprüfstelle

Geokunststoffe in der praktischen Anwendung im ursprünglichen Sinne der Entwicklung als Baumaterial / Bauteil:

- zur Lastverteilung, Verbesserung der geotechnischen Trageigenschaften von Böden, (z.B. Erhöhung des Scherwiderstand und des Reibungswinkels),
- als Filter und Trennlage,
- als Dichtungselemente (geosynthetische Tondichtungsbahnen)

Vorteile von Geokunststoffen im Wasserbau, einige Beispiele:

geringe Schichtdicke, wodurch Bodenaushub, Massentransporte, Baumaterial für Kornfilter und Entsorgung von Boden eingespart werden können,

gleichbleibende Materialqualität durch industrielle Herstellung,

geringes Gewicht, was den Einbau mit meist sowieso auf der Baustelle vorhandenen Geräten ermöglicht,

hohe Zugfestigkeit, woraus bei entsprechendem Einbau eine große lastverteilende Wirkung entsteht,

meist unempfindlich gegenüber Wasser in der Einbauphase, dies spart Aufwand bei Wasserhaltungsarbeiten

Nachteile von Kunststoffen - Geokunststoffen im Wasserbau, einige Beispiele:

Kunststoffpartikel - Mikroplastikstoffe in der Umwelt, die Bauwirtschaft ist einer von vielen Emittenten,

Kunststoffverunreinigungen werden in für Menschen relevanten Zeitmaßstäben nicht abgebaut,

Nach dem Verschleiß eines Bauwerkes oder nach dessen Nutzungsaufgabe müssen Baustoffe aus Kunststoff entsorgt werden,

Reste von Kunststoffprodukten gefährden die Gesundheit und das Leben von wild lebenden Tieren, z.B. besonders von Meeresbewohnern und Vögeln,

Alternativen zur Anwendung im ursprünglichen Sinne:

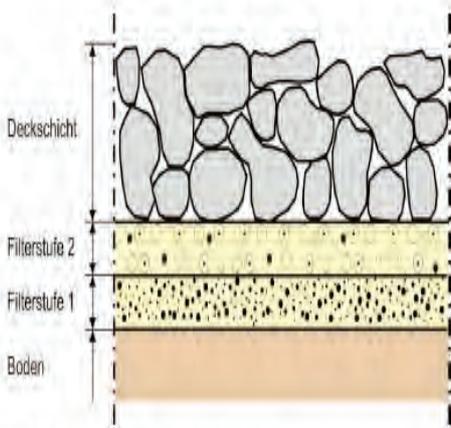
Kornfilter

- Austausch bautechnisch nicht ausreichend tragfähiger Böden durch zertifizierte Schotter- oder Kiestragschichtenmaterialien, (Regelwerke: ZTV SoB-StB, ZTV T-StB)
- Verwendung von Kornfiltern, (Regelwerke: BAW Merkblatt MAK, 2013)
- Verwendung von mineralischen Dichtungsbaustoffen aus Schluff und Ton,

Vermeidung von Kunststoffeinträgen in die Umwelt,

erhöhter Bedarf an Aushub, Material und Transportleistung,

nachweisbar filterstabiler Aufbau durch einen mineralischen Kornfilter
(BAW Merkblatt MAK, 2013)



meist ≤ 6 mm

meist ≥ 600 mm

nachweisbar filterstabiler Aufbau durch einen geotextilen Filter
(BAW Merkblatt MAG, 1993)

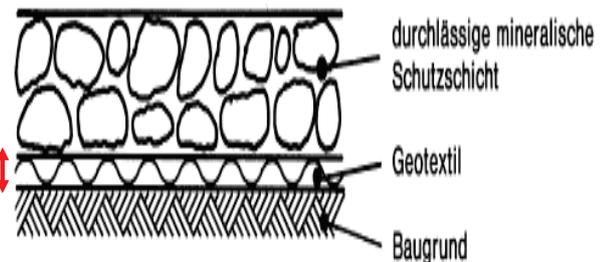
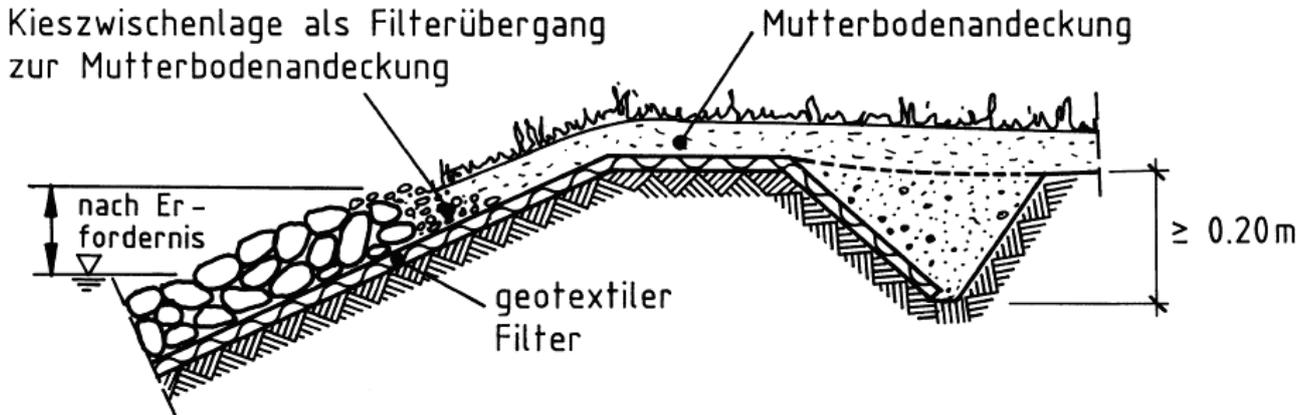


Bild 4: Kornfilter als Zweistufenfilter in einem Deckwerk

Geokunststoffe richtig eingebaut = Vermeidung von Nachteilen

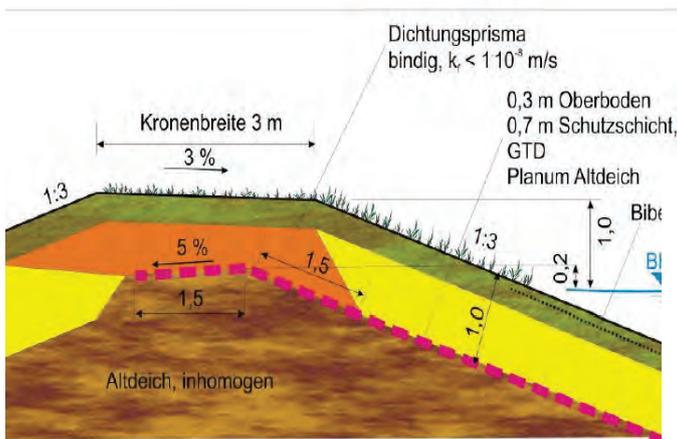


Der Geokunststoff ist vollständig abgedeckt, ein Verschleiß und eine Freisetzung von Partikeln ist nicht zu erwarten,

 (Abbildung aus: BAW – MAG Anlage 3, Blatt 3)

BRAD 15/16 ein Beispiel für fachgerechten Einbau

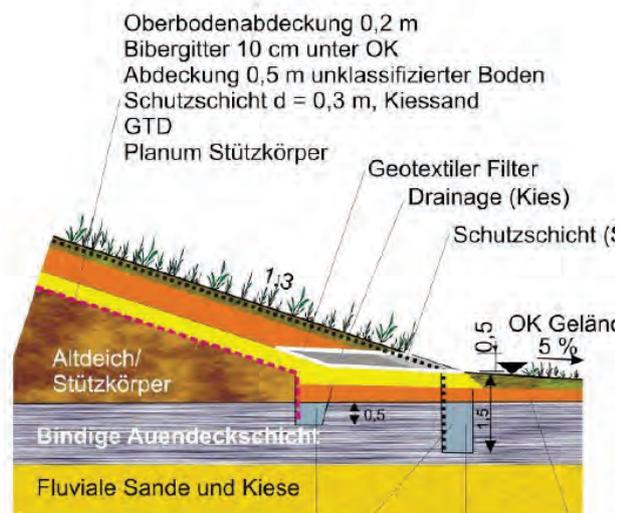
die GTD wird nach menschlichem Ermessen in der gesamten Lebensdauer des Deiches nie freiliegen, sie ist vor UV-Strahlung und mechanischen Einwirkungen geschützt, eine ordnungsgemäße Rückgewinnung und Entsorgung kann bei Umbauarbeiten am Deichbauwerk erwartet werden.



ohne Deichverteidigungsweg, Beispiel einer Deichsanierung

Die Enden der GTD treten nicht an die Oberfläche, auch hier ist der Schutz nachhaltig sicher gestellt.

GDT = Geosynthetische Tondichtungsbahn





Bachbett mit Plastophobie 😊

Handlungsempfehlungen „Ingenieurbiologie im urbanen Raum“
 Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz B

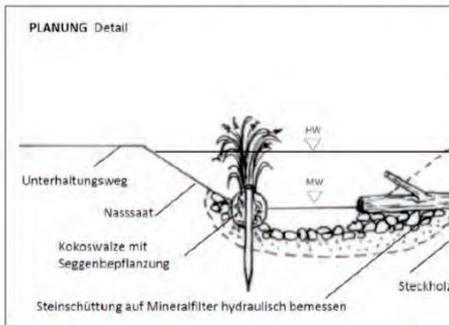


Abb. 43: Querschnitt eines ausgewählten Details in Gewässeraußes für den Hellersdorfer Graben

des Abflussprofils) anzupassen. Begrünte Halbinseln aus Steinschüttungen können auch als Leitwerke oder als Begrenzung von beruhigten Flachwasserzonen zum Schutz dieser Zonen vor Wellenschlag ausgebildet werden.

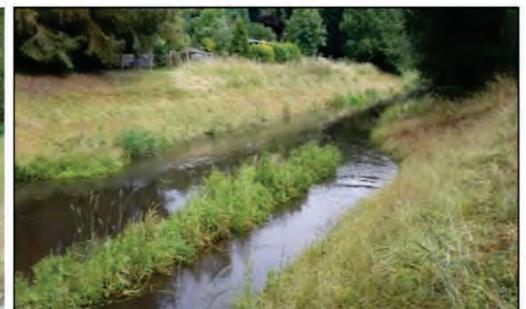


Abb. 31: Inseln und Buhnen zur Strukturverbesserung eines für den Hochwasserschutz ausgebauten Gewässers in der Stadt (Assenheim, Hessen), links Buhnen nach dem Einbau, mit Kiesüberrieselung und rechts Insel nach 1 Jahr Entwicklung und höherem Abfluss (Fotos: Frank Spundflasch)

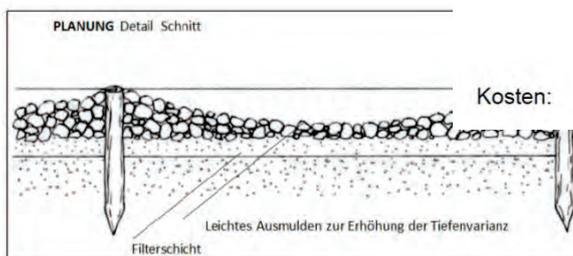


Abb. 44: Längsschnitt durch die Sohle mit Palisadenreihe zur Markierung der zu erhaltenden Höhe im Planungsvorschlag für den Hellersdorfer Graben

Kosten: 1 m³ 60 €

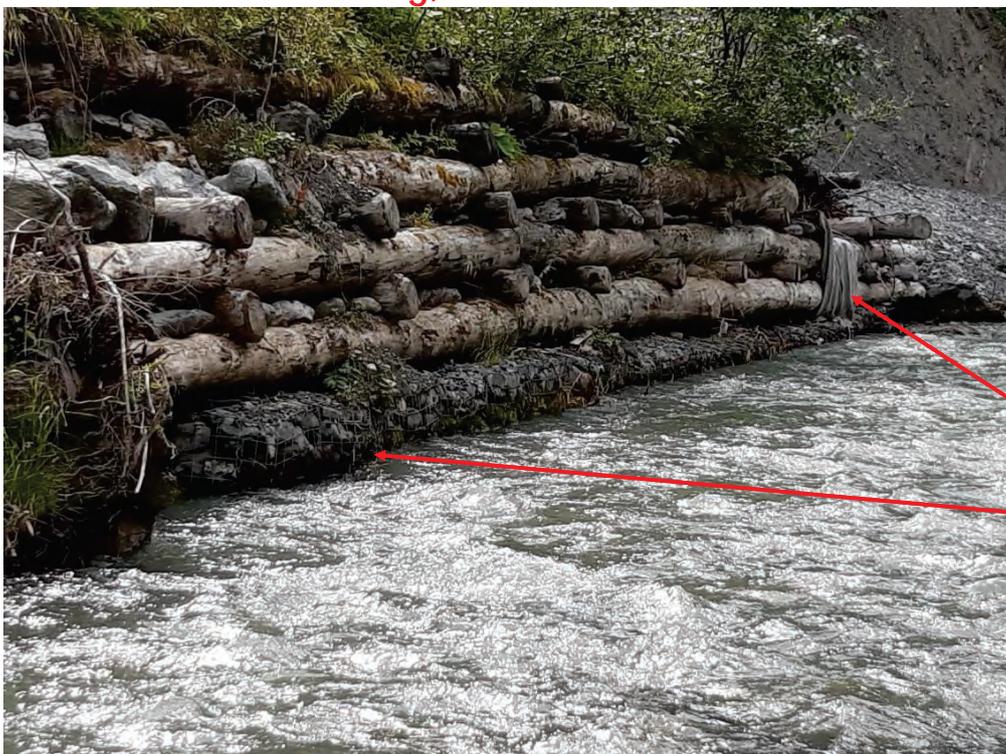
Ein ausreichender Schutz vor Setzungen wird bei diesen Strukturelementen durch eine Schicht aus klassifiziertem Kiestragschichtenmaterial erreicht.

(Quelle: Handlungsempfehlungen für ing-bio. Wasserbau, Senatsverwaltung Berlin, 2019)



Bei dem für die Durchlassbettung und Umhüllung ohnehin erforderlichen Kies bzw. Bedarf an Schotter, hätte auch eine Hinterfüllung der Stangenfaschinen mit zertifiziertem Mineralstoffgemisch erfolgen können.

mechanische Zerstörung, Kunststoff in einer Krainerwand (Alpen Österreich)



Geotextil

Kunststoffnetze

DWA 620 – 2 (Veröffentlichung in Vorbereitung)

Anstelle von Geokunststoffen können Matten aus schwer verrottbaren Pflanzenfasern wie z.B. aus Kokos zum Einsatz kommen. Zu beachten ist, dass diese nur eine vernachlässigbar geringe Zugfestigkeit haben und bezüglich der Filtereigenschaften weder standardisiert noch zertifiziert sind. Der Einsatz beschränkt sich somit auch nur auf begrenzt setzungsverträgliche Bauweisen. Langlebig sind diese Materialien auch nur unter der Voraussetzung einer ständigen Wasserüberdeckung. Hier kann mit einer Beständigkeit von mindestens 5 bis 15 Jahren gerechnet werden. In der Wasserwechselzone sollte bei Kokosmatten nur von einer Dauerhaftigkeit von 2-3 Jahren ausgegangen werden. Diese Zeit kann jedoch ausreichen, um eine die Ufer stabilisierende Röhrichtvegetation zu etablieren.

Alternative Produkte

Geokunststoffe stehen oft einer Stabilisierung der obersten Bodenschichten durch Wurzeln entgegen, da die Wurzeln am Tiefenwachstum gehindert werden und es sogar bis zum Abgleiten der Vegetationsdecke an Böschungen über Geokunststofflagen kommen kann.

(DWA 620 Ingenieurbio-logische Bauweisen)



alternative Materialien aus Pflanzenfasern, z.B.:

Kokos, Jute, Hanf, Reisig und industriell hergestellte Pflanzenfasermatten mit zertifizierten Eigenschaften

Handlungsempfehlungen „Ingenieurbiologie im urbanen Raum“
 Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Berlin

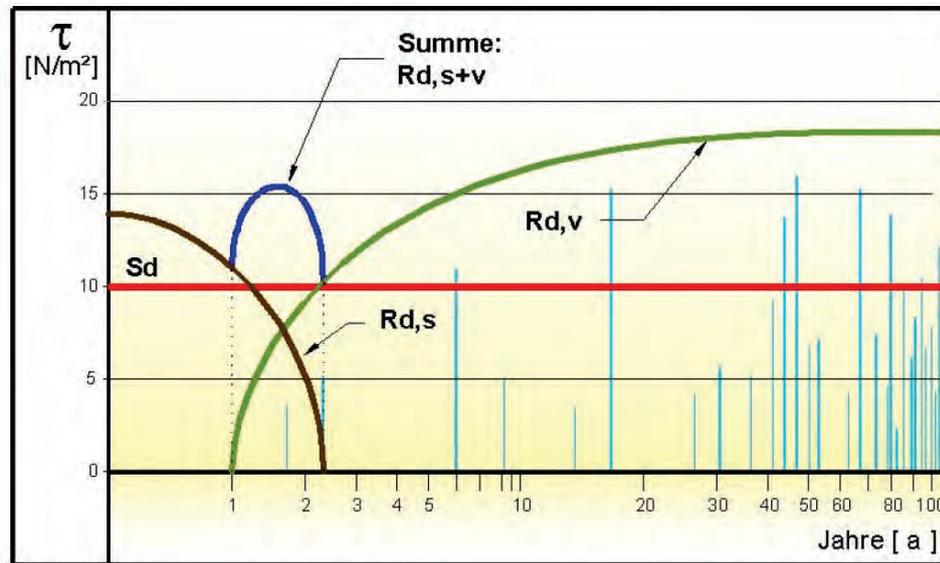


Abb. 85: Überlegungen zur Wirkung ingenieurbiologischer Sicherungen als Widerstände gegen Einwirkungen von fließendem Wasser

Kokoswalzen, verstärkt und zusammengehalten durch Kunststoffnetze, und Verpackungkleinteile.
Kann hier eine Rückgewinnung und ordnungsgemäße Entsorgung erwartet werden???
Vorhabenträger, Planer und Bauüberwacher sind hier gefordert.





Secutex® Green

ANWENDUNGSGEBIETE
 Das Einsatzspektrum und die Lebensdauer sind abhängig von den Standortfaktoren wie den Boden-, Wasser- und Klimaverhältnissen des jeweiligen Projekts.

Typische Anwendungsbereiche sind:

- Trenn-, Filter- und Schutzlagen
- Garten- und Landschaftsbau
- Temporärer Wege- und Straßenbau
- Ufersicherung/naturnaher Gewässerusbau
- Klärschlamm- (Pflanzstoff und/oder Sand)deckschichten
- Kollerschutz (Sandbuhnen)

Abbildung 1: Schutz vor den Anmerkungen
 Abbildung 2: Die neue ökologische, naturnahe Uferlinie
 Abbildung 3: Gewässer mit Ufer- und Wasserschutz

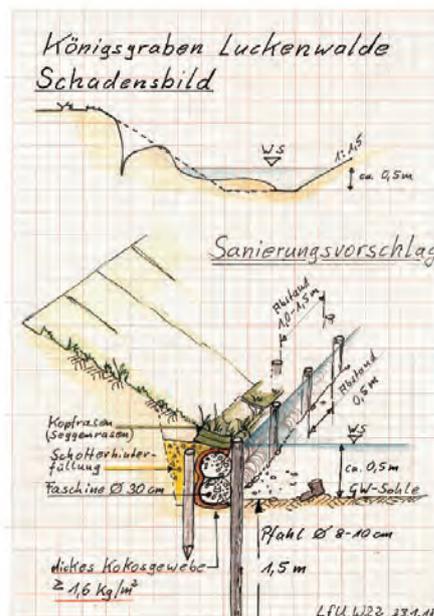
ZERTIFIKATE
 Die offizielle Zertifikate des TÜV Austria, einem neutralen und kompetenten Zertifizierer, bescheinigen unsere Bemühungen im Bereich der Nachhaltigkeit. Das parafertigere die folgenden Zertifikate:

OK compost INDUSTRIAL
 garantiert die biologische Abbaubarkeit in einer industriellen Kompostierungsanlage.

OK compost HOME
 garantiert eine vollständige biologische Abbaubarkeit unter Berücksichtigung spezifischer Anforderungen.

OK biodegradable SOIL
 garantiert, dass ein Produkt im Boden vollständig und biologisch abbaubar ist und keine negativen Auswirkungen

Beispiel für ein biologisch abbaubares Geotextil mit bauaufsichtlicher Zulassung und genormten technischen Parametern, jedoch nur für das neuwertige / neue Produkt, die Wirksamkeit ist begrenzt



Bsp.: alternative Verwendung von biolog. abbaubaren Filtertextilien (Hanf), am Hammerfließ bei TP, LfU W24

ehemalige Faschinensicherung mit Geokunststoffen als Filter

Bsp.: alternative Verwendung von biolog. abbaubaren Filtertextilien



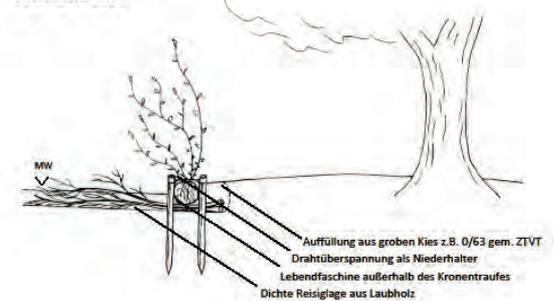
vorübergehende, ausreichende Filtereigenschaften durch ein Naturfaservlies aus Hanf, langfristige Stabilisierung durch Röhrichtwurzeln



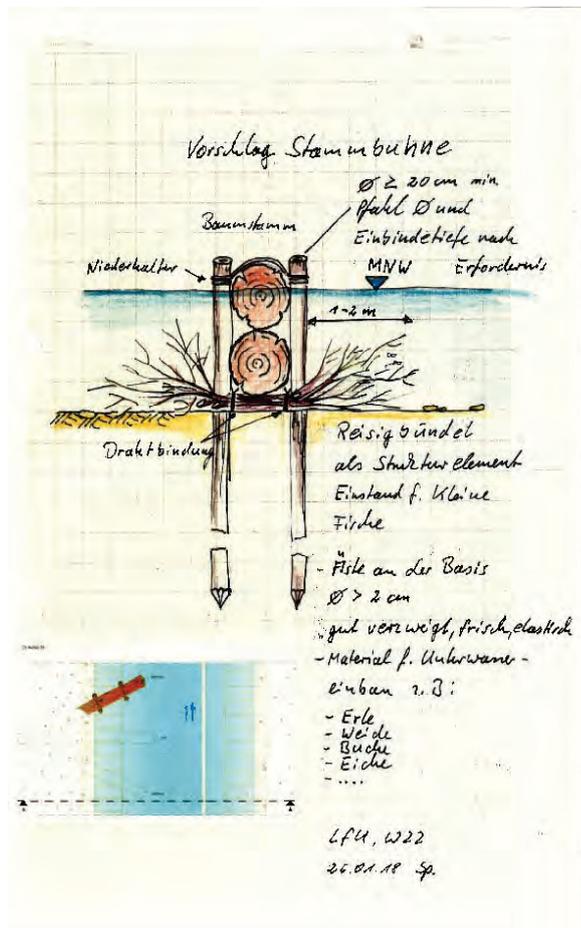
AUSGANGSZUSTAND Schnitt



PLANUNG Variante 1

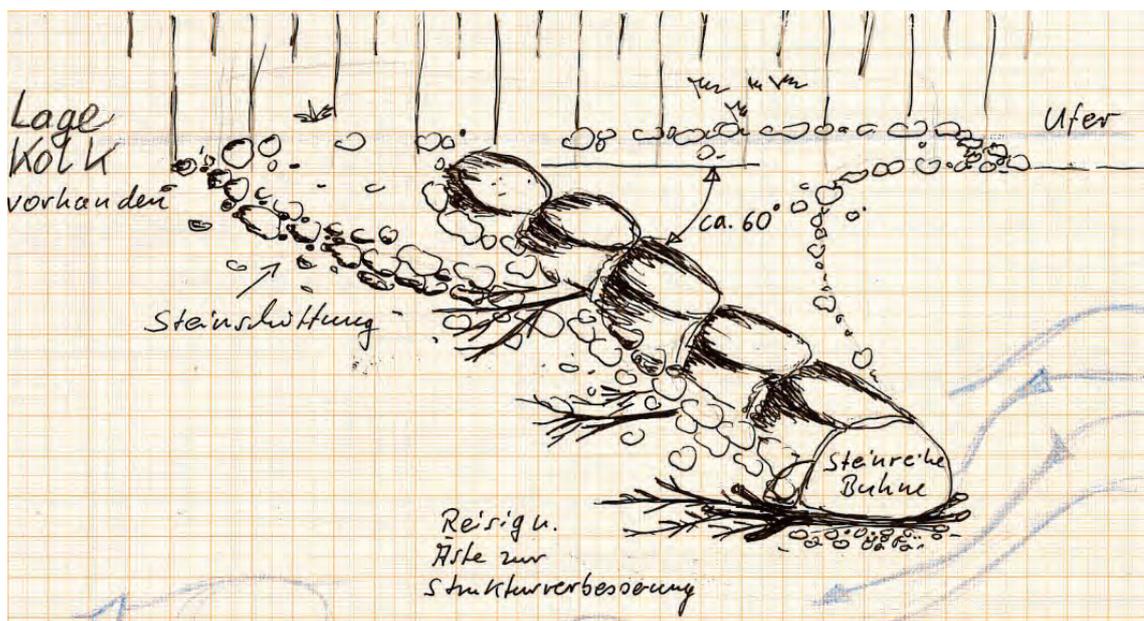


Geokunststoff als Wellenschlagschutz (links) und der Sanierungsvorschlag (rechts)



Lastverteilung zur Verminderung der Einsinktiefen einer Stammbohle auf wenig tragfähigem Baugrund durch Gründung auf einer Reisig- oder Astlage

LfU, W 26 in Zusammenarbeit mit der BPS



Lastverteilung zur Verminderung der Einsinktiefen einer Steinbohle auf wenig tragfähigem Baugrund durch Gründung auf einer Reisig- oder Astlage,

LfU, W 24 in Zusammenarbeit mit der BPS, Ausführung durch den WBV (2019) unterhalb der Sohlgleite Hohenofen.



Aufstau und Sohlenanhebung von tiefen Moorgräben durch Staubauwerke aus natürlichen Baustoffen (Faschinenpackwerke als Filter), Landgesellschaft – MV
Foto: Nicole Spundflasch



Lastverteilung und Verbesserung der Filterstabilität durch ein dichtes Faschinenpackwerk, auf wenig tragfähigem Baugrund, als Gründung für eine Sohlengleite aus Steinschüttung,

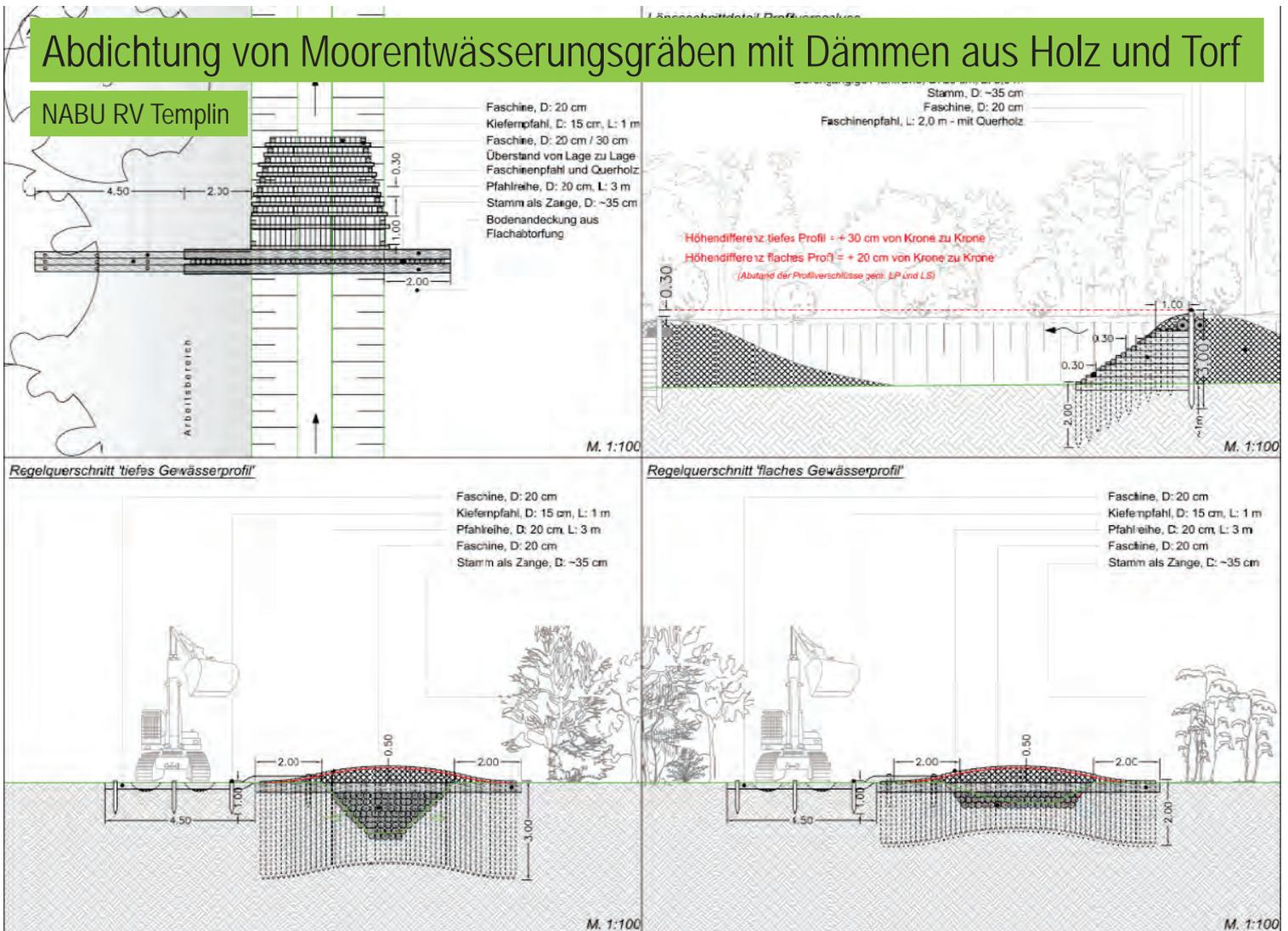
Umgehung des Wehres Rhinow, LfU, W 24

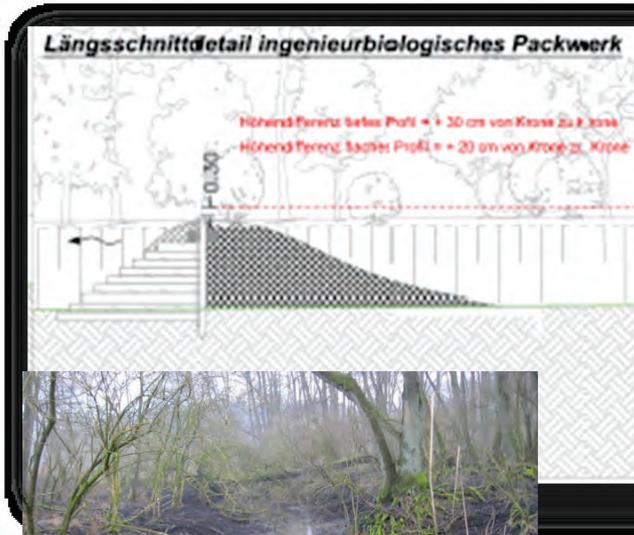


Sohlengleite nach der Fertigstellung

Abdichtung von Moorentwässerungsgräben mit Dämmen aus Holz und Torf

NABU RV Templin





Aufstau von tiefen Moorgräben durch Staubauwerke aus natürlichen Baustoffen (Faschinenpackwerke als Filter) z.B. Renaturierung der Sernitz, LfU W26 und N6 oder der Eulenberge, NABU Templin



Begrenzte Sohlenanhebung im Gewässer, zur Erhöhung des Grundwasserstandes in Moorwiesen, Sohlenschwellen, welche sich durch Schwebstofffiltration selbst abdichten
Flächenagentur Brandenburg und WBV Schnelle Havel, Projekt Rehwiese



Begrenzte Sohlenanhebung der Vorflut, zur Erhöhung des Grundwasserstandes in Moorwiesen als Kompromiss zwischen Moorschutz und Landnutzung.



Buhnen aus Holz, Sand und Torf, LfU – W 26, Schnelle Havel

Strukturverbesserung durch den Einbau von Totholz als künstlichem Fischunterstand, Verwendung von Kokosmatten als Filtervlies zwischen Rundholz und Bodenüberdeckung, LfU, W 24



Weitere Anwendungen von Geokunststoffen in der Praxis:

- Verpackungsbehälter (Big Bag),
- Erosionsschutzgewebe,
- Trägermaterial für die Pflanzenansiedlung und Vorkultivierung von Vegetationsstücken,
- Einsatz in temporären Baubehelfen wie Baustraßen, Wasserhaltungen usw.
- Einsatz als Trenn- und Sauberkeitsschicht im Sinne eines erhöhten Ordnungsbedürfnisses (z.B. Schutz und Trennlagen auf Lagerflächen)

Hier entstehen oft erhebliche ungewollte „diffuse“
Einträge in die Umwelt.

mechanische Zerstörung,
eine vollständige Rückgewinnung von Geokunststoffen
ist bei der Verwendung als Baubehelf oft nicht möglich.





Lastverteilung durch einen Knüppeldamm als Baustraße im Moor,
anstelle von Geokunststoffen, Eulenberge, NABU Templin



Zerstörung durch UV - Licht

???

Einbau eines Geotextils zur
Unterdrückung von Staudenknöterich.

(Forderung von Naturschutz-
vertretern, mit dem Ziel, der
Unterdrückung von Neophyten,
Fotostandort nicht in Brandenburg 😊)

mechanische Zerstörung, z.B. durch Geschiebeschliff und Eis

Alternativen zu Geokunststoffen

Hier eine von der BPS bereits häufiger in Stellungnahmen geäußerte Empfehlung oder Forderung:

„Geotextilien als Filter und Trennvliese sollen nach Möglichkeit und sinnvollem wirtschaftlichen Ermessen vermieden werden. Dies gilt besonders für den naturnahen Wasserbau.“

Der Einsatz von Geokunststoffen und Kunststoffprodukten in der Bauwirtschaft ist dann gerechtfertigt, wenn keine gleichwertigen Alternativen durch die Verwendung natürlicher Baustoffe zur Verfügung stehen und wenn gleichzeitig Emissionen vermieden werden können sowie eine Rückgewinnung / Entsorgung nach dem Stand der Technik sichergestellt / erwartet werden kann.

Bei Einhaltung bzw. glaubhafter Zusicherung dieser Bedingungen ist eine Ablehnung dieser Produkte durch die Aufsichts- bzw. Genehmigungsbehörden nicht Sinnvoll und vermutlich auch nicht möglich.

Alternativen zu Geokunststoffen

Ingenieurbiologische Bauweisen bieten Alternativen zu Geokunststoffen, ihr Nachteil ist jedoch, dass für diese keine Nachweisverfahren der Filterstabilität oder bezüglich des Zugverbundes bestehen bzw. unter Praxisbedingungen nicht anwendbar sind.

Die alternativen Bauweisen besitzen im Vergleich zur Verwendung von Kornfiltern oder zu genormten Geokunststoffprodukten gem. den a.a.R.d.T. grundsätzlich eine geringere Tragfähigkeit, Filterstabilität ö.ä.

In der Planung muss entschieden werden, ob Einsparungen durch reduzierte Anforderungen an die Stabilität möglich bzw. zulässig sind. Ein geringes Risiko von Nacharbeiten kann wirtschaftlicher und ökologisch sinnvoller sein als eine 100 % sichere Ausführung.

Diese Entscheidung ist einzelfallbezogen zu treffen
und durch den Bauherrn mit zu tragen.

Hierfür bedarf es keines Mutes, sondern Fachkenntnisse!

Handlungsempfehlungen für ingenieurbiologischen Wasserbau im urbanen Raum am Beispiel Berlins

Literaturhinweis:





Kraniche rasten, geschützt vom Wasser, auf der wiedervernässten Rehwiese 😊
Verehrte Kolleginnen und Kollegen,
ich wünsche Ihnen viele Freude bei der nachhaltigen Gestaltung unserer Umwelt
und besonders der Entwicklung unserer Gewässerlandschaften!

Analytik von Schadstoffen

Christian Dietrich

Referat G2 - Gewässerchemie





Foto: BfG

Baggergutbewertung



Bundeswasserstraßen

- 7300 km Binnenwasserstraßen
- Ca. 23.000 km² Seewasserstraßen



Schwermetalle im Sediment

Analysegeräte arbeiten überwiegend mit Flüssigkeiten

- Aufschluss (Extraktion) von Schwermetallen (Salpetersäure)
- Mikrowellenaufschluss



Organische Schadstoffe im Sediment

Analysegeräte arbeiten überwiegend mit Flüssigkeiten

Säureaufschluss würde Großteil der Substanzen zerstören



Organische Schadstoffe im Sediment

Analysegeräte arbeiten überwiegend mit Flüssigkeiten
Säureaufschluss würde Großteil der Substanzen zerstören

- Extraktion mit Lösungsmitteln



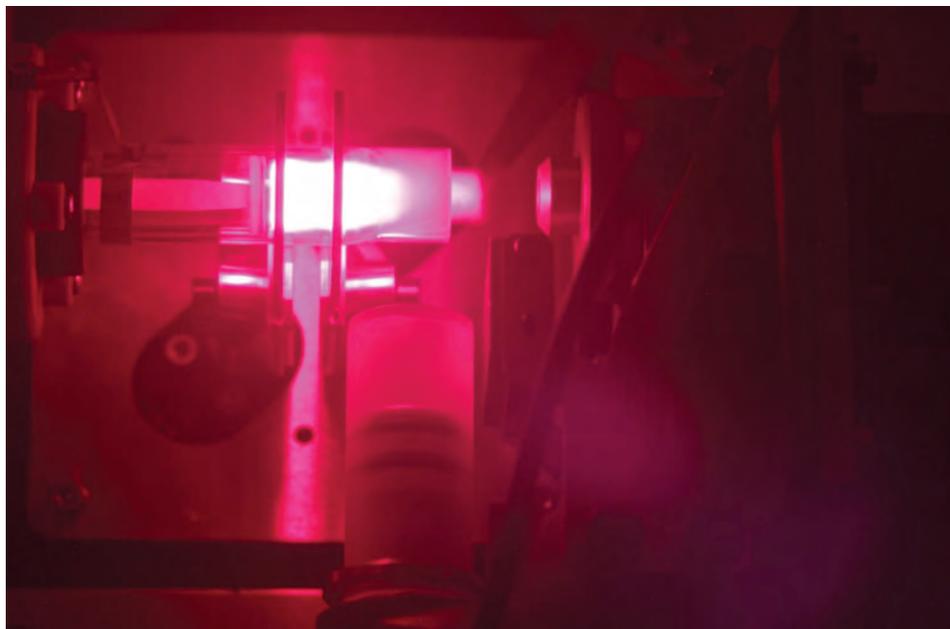
Schwermetalle im Sediment

**Analyse der
(aufgeschlossenen)
Schwermetalle aus dem Sediment**

ICP-OES – Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry



ICP – Inductively Coupled Plasma



Instrumentelle Analytik - Schwermetalle

OES –
Optical Emission Spectrometry



Kupfer



Lithium



Natrium



Calcium

- Lichtemission nach Anregung in einer Flamme
- Farbe (Wellenlänge des emittierten Lichts) element-charakteristisch

Instrumentelle Analytik - Schwermetalle

ICP-MS –
Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry



Unterscheidung und Detektion der Elemente nach Masse

Chrom:
Masse: 51,94 u

Eisen:
Masse: 55,93 u

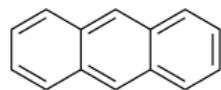
Kupfer:
Masse: 62,93 u

sciencenotes.org

Organische Analyten

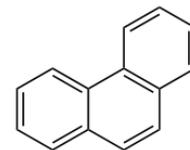
Herausforderung: Charakteristische Molekülmasse

Molekülmasse abhängig von Zusammensetzung (Summenformel)



Anthracen

$C_{14}H_{10}$
 $m/z = 178$



Phenanthren

$C_{14}H_{10}$
 $m/z = 178$

Organische Analyten

Herausforderung: Charakteristische Molekülmasse

Molekülmasse abhängig von Zusammensetzung (Summenformel)

ABER:

Teilweise gleiche Molekülmasse für unterschiedliche Substanzen

Organische Analyten

Herausforderung: Charakteristische Molekülmasse

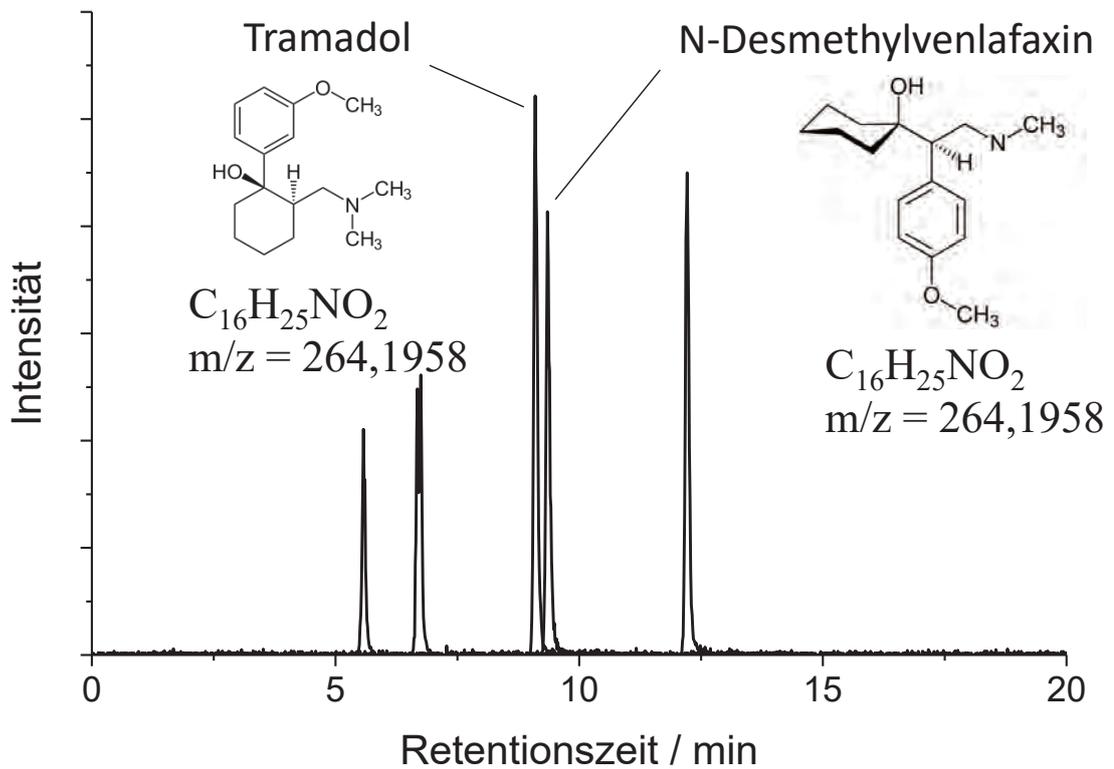
Molekülmasse abhängig von Zusammensetzung (Summenformel)

ABER:

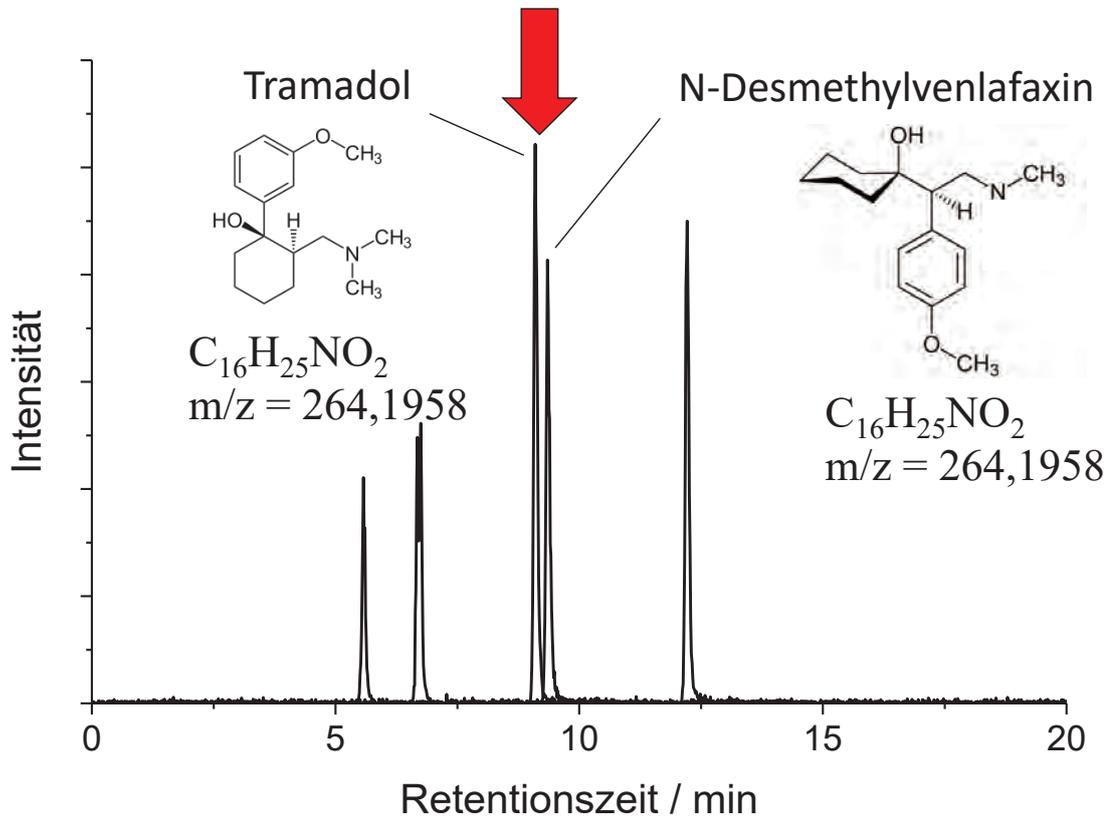
Teilweise gleiche Molekülmasse für unterschiedliche Substanzen

Lösung: Chromatographie

- Gaschromatographie
- Flüssigchromatographie

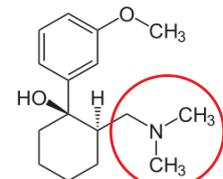


Nächstes Problem: Unzureichende chromatographische Trennung



Massenspektrometrie - Fragmentierung

Tramadol

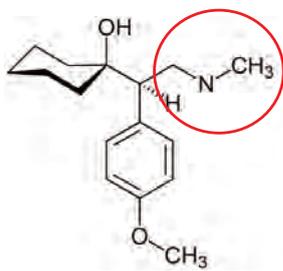


$C_{16}H_{25}NO_2^+$
 $m/z = 264$



$C_3H_8N^+$
 $m/z = 58$

N-Desmethylvenlafaxin



$C_{16}H_{25}NO_2^+$
 $m/z = 264$



$C_2H_6N^+$
 $m/z = 44$

Massenspektrometrie - Fragmentierung

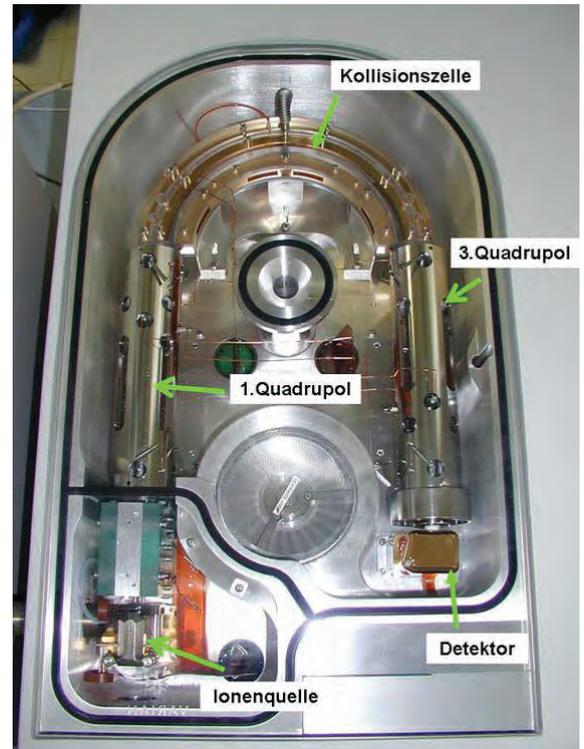
Tandem-Massenspektrometrie (MS/MS)

Tramadol

264 → 58

N-Desmethylvenlafaxin

264 → 44



Massenspektrometrie - Fragmentierung

Tandem-Massenspektrometrie (MS/MS)

Tramadol

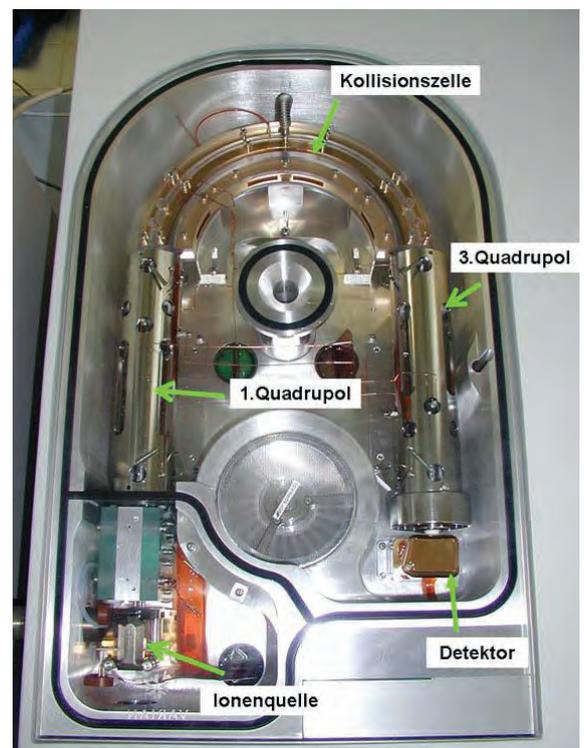
264 → 58

N-Desmethylvenlafaxin

264 → 44

Substanz charakterisiert durch

- Ausgangsmasse
- Fragmentmasse
- Retentionszeit



Nur zwei Substanzen unter vielen...

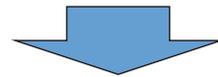
Blindwerte und Nachweisgrenzen

- Beispiel: Elutionsprüfung von Geotextilien
- Analyse des Gesamten Organischen Kohlenstoffs im Eluat (DOC)

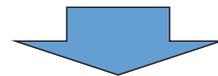
Probe	Messwert
1	86,8 mg/L
2	83,3 mg/L
3	65,9 mg/L
4	63,1 mg/L
5	6,6 mg/L
6	3,5 mg/L

Versuchsdurchführung:

ca. 5 g Geotextil in 1 L Wasser für 6 h



Messwerte 1-4: ca. 2 % der Geotextil-Masse



Quelle: Verunreinigungen im Eluenten

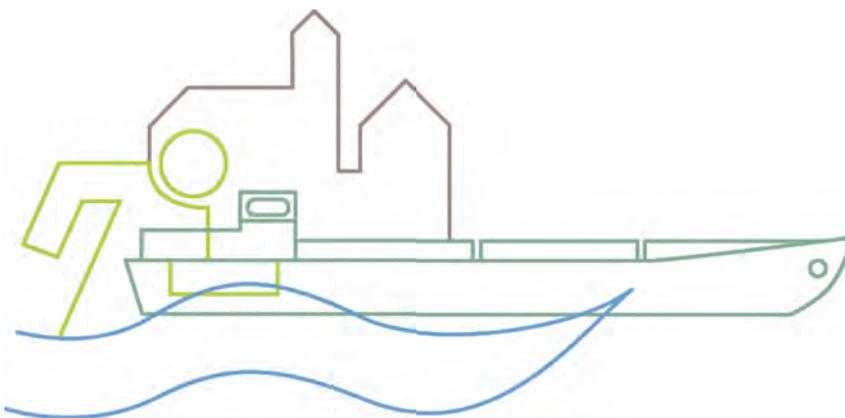
**Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit!**



Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Koblenz

BWK - Webseminar 14.04.2021

Seite 24



**Anmerkung: Die in diesem Vortrag
enthaltenen Berechnungen stellen
lediglich Gedankenexperimente dar.
Daraus abgeleitete Werte haben
keine rechtliche Bindung
(Stand April 2021).**

Freisetzung von Schadstoffen und Mikroplastik aus Geokunststoffen

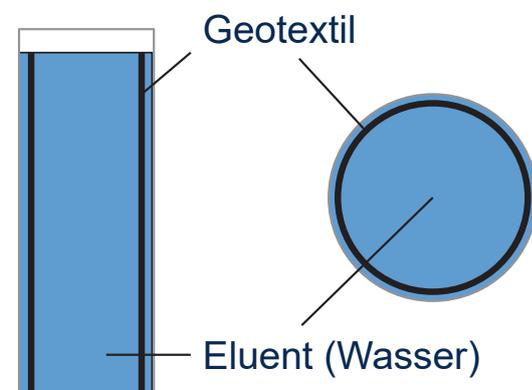
Christian Dietrich, Georg Dierkes, Inken Heidke, Arne Wick, Thomas Ternes
Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Fokus: Freisetzung ins Oberflächenwasser

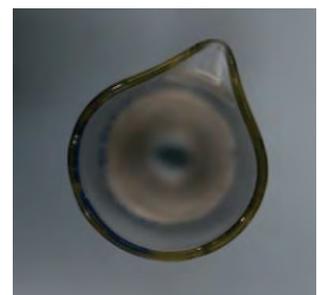


Foto: BfG

Horizontale dynamische Oberflächenauslaugprüfung (DSLIT)



Nach DIN CEN/TS 16637-2, Anhang C
„Anordnung zur Prüfung von Dachpappe“

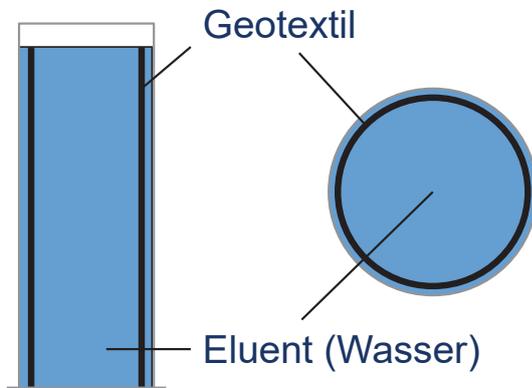


Fotos: BfG

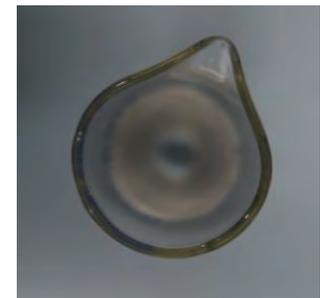
Horizontale dynamische Oberflächenauslaugprüfung (DSLIT)

Flächenbezogene Freisetzung

R_{\max} (64 Tage)



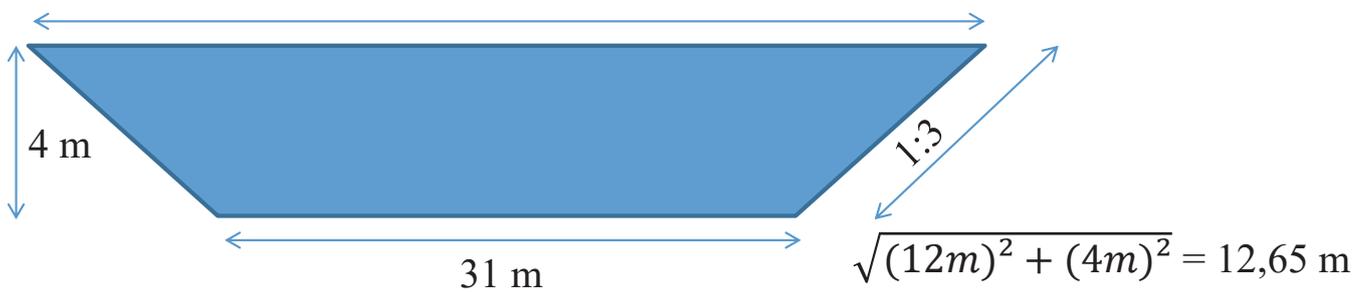
Nach DIN CEN/TS 16637-2, Anhang C
„Anordnung zur Prüfung von Dachpappe“



Fotos: BfG

Ort der Beurteilung - Freiwasserkörper

Beispiel: Mittellandkanal



Geokunststoff an beiden Böschungen, einlagig

Wasservolumen pro Kanalmeter: 172.000 L

Fläche Geokunststoff: 25,3 m²

$$\rightarrow \frac{172.000\text{ L}}{25,3\text{ m}^2} = 6798,4\text{ L/m}^2$$

Maximale Freisetzung

Porenwasser:

Jeden Tag frisches Wasser



$$R_{max,64} [mg/m^2] = (UQN [mg/L] - c_0 [mg/L]) \times 200,3 L/m^2 \times 365 \times \sqrt{\frac{64}{365}}$$

Freiwasserkörper

Alle 2 Monate frisches Wasser



$$R_{max,64} [mg/m^2] = (UQN [mg/L] - c_0 [mg/L]) \times 6798,4 L/m^2 \times 6 \times \sqrt{\frac{64}{365}}$$



Korrekturfaktor 64 Tage → 1 Jahr

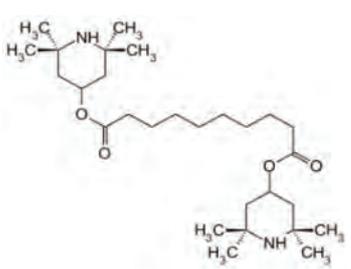
Freigesetzte Schadstoffe

Antimon

ca. 1 mg/m²

$$\frac{1 mg/m^2}{6798,4 L/m^2 \times 6} \times \sqrt{\frac{365}{64}} = 0,06 \mu g/L$$

Bis(2,2,6,6-tetramethyl-4-piperidyl)sebacat (UV-Filter) ca. 100 mg/m²



$$\frac{100 mg/m^2}{6798,4 L/m^2 \times 6} \times \sqrt{\frac{365}{64}} = 6 \mu g/L$$

Baustellen



Baustellen



Baustellen



Baustellen



Geotextilien



Geotextilien



Probenahme



Mikroskopie

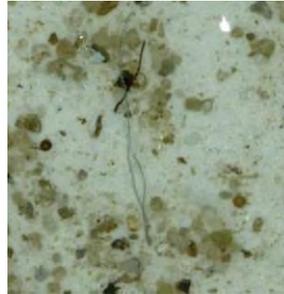


500 μ m-Fraktion

Mikroskopie



100 µm-Fraktion

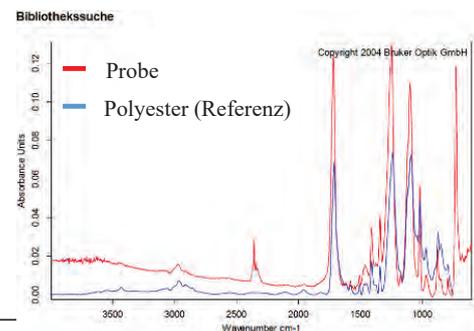
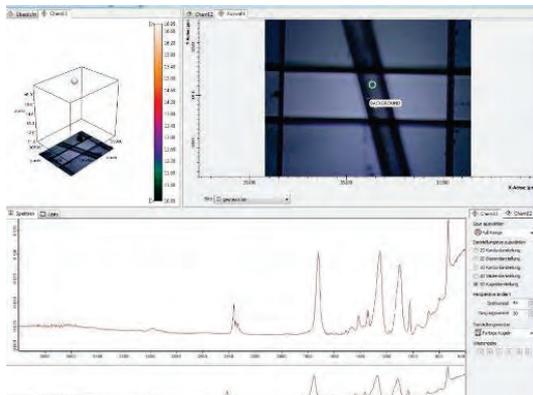


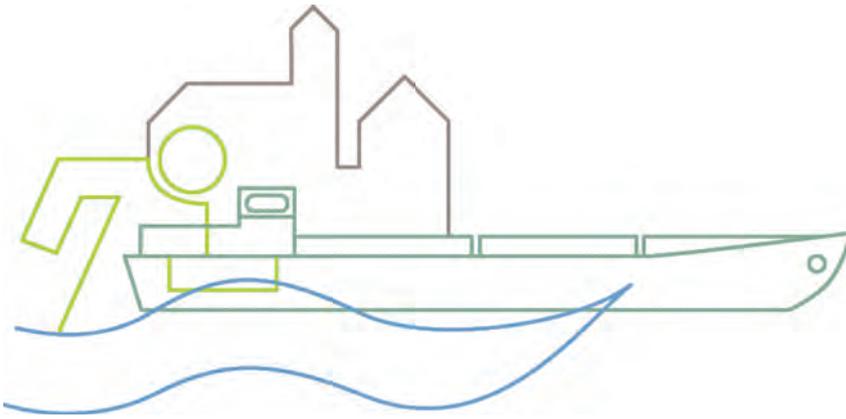
50 µm-Fraktion



10 µm Fraktion

µ-FTIR-Spektroskopie





**Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit**