

Schlussbericht

BMBF-Forschungsvorhaben **Förderkennzeichen 01DJ18005**

ERA-Net: Verbundprojekt: **Einfluss von Geokunststoffen auf die aquatische Umwelt;** **EI-GEO**

Teilvorhaben: BAM

ausführende Stelle:

BAM – Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung
Fachbereich 4.3 – Schadstofftransfer und Umwelttechnologien

Projektleiter: Dr. Franz-Georg Simon
Projektwissenschaftler: Dr. Haitham Barqawi (01.02.2019 - 30.04.2020)
Dr. Philipp Scholz (01.08.2020 - Projektende)
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2018 – 31.08.2021

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen **01DJ18005** gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei dem Autor



Inhalt

Aufgabenstellung, Stand der Technik und Projektablauf	3
Stand der Technik	3
Projektablauf.....	4
Ergebnisse	4
Material und Methoden	4
Ergebnisse der Alterungsversuche	6
Ergebnisse der anderen Projektpartner	8
Feldstudie an der Ostseeküste	8
Ökotoxikologische Tests.....	9
Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen.....	10
Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	10
Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des Verwertungsplans.....	10
Liste von Veröffentlichungen	11
Literatur.....	12

Aufgabenstellung, Stand der Technik und Projektablauf

Ziel des Projekts war die Untersuchung, ob Geokunststoffe im Küstenschutz und Wasserbau eine Quelle für Mikroplastik oder Schadstoffe in der aquatischen Umwelt sein könnten. Während das Verhalten von Geokunststoffen in der Deponietechnik seit Jahrzehnten gut erforscht und dokumentiert ist, gibt es nur wenige oder keine Informationen über Anwendungen im Küstenschutz oder als Ballast für Fundamente von Offshore-Windanlagen. Gerade diese Anwendungen gewinnen für Geokunststoffe in Zeiten des massiven Ausbaus von Windenergie im Rahmen der Energiewende und des steigenden Bedarfs von Küstenschutz durch Hochwasser in Folge des weltweiten Klimawandels an Bedeutung [1]. Bauen mit Geokunststoffen hat viele Vorteile durch eine lange Lebensdauer und geringen Instandhaltungsbedarf. Es muss aber sichergestellt sein, dass die Anwendung von Geokunststoffen im Wasserbau keine schädlichen Auswirkungen auf die Umwelt hat. Es wird erwartet, dass mögliche Auswirkungen erst nach langer Zeit sichtbar werden. Daher sind zeitraffende Untersuchungsmethoden notwendig, um Anforderungen an Geokunststoffe im Wasserbau zu definieren, so wie dies bereits für Anwendungen in der Deponietechnik erfolgt ist. Eine besondere Herausforderung ist die Kombination von Beanspruchungen an das Material: mechanische Beanspruchung z.B. durch abrasive Sandpartikel, Chemie (Salzgehalt im Meer), UV-Strahlung (Sonnenlicht) und Mikrobiologie (Bildung von Biofilmen). Hauptziel des Vorhabens war daher die Untersuchung der Schadensmechanismen von Geokunststoffen bei Anwendungen im Wasserbau. Schwerpunkt der Untersuchungen bildeten Geokunststoffe aus Polypropylen (PP) und Polyethylen (PE). Alle Untersuchungen wurden mit Polymeren durchgeführt, die auch derzeit in der Produktion von Geokunststoffen verwendet werden. Es wurde erwartet, dass aus frisch produzierten Rohstoffen nahezu keine Emission von Schadstoffen oder Partikelfreisetzung erfolgt [2]. Bei Langzeitanwendungen wie in Wasserbau- oder Küstenschutzanwendungen, die für Jahrzehnte ausgelegt sind, könnte dies anders sein. Daher lag ein besonderer Schwerpunkt des Projekts in der Anwendung zeitraffender Untersuchungen, die typische Alterungsmechanismen simulieren und die Auswirkungen der Degradation der Polymerwerkstoffe für die Umwelt aufzeigen.

Stand der Technik

Geokunststoffe werden heutzutage bereits im Wasserbau eingesetzt. Beispielhafte Anwendungen sind Bewehrung von Böden, Stabilisierung von Ballast für die Fundamente von Offshore Windanlagen, Abdichtung von Dämmen und Kanälen oder Schutz gegen Unterspülungen. Die Anwendung von Geokunststoffen hat große wirtschaftliche Vorteile durch Substitution oder Reduzierung des Bedarfs an geeigneten mineralischen Rohstoffen. Gleichzeitig erhöht sich daher die Nachhaltigkeit durch die Schonung natürlicher Ressourcen. Die Lebenszykluskosten sind geringer durch bedarfsgerecht einstellbare Eigenschaften und geringeren Servicebedarf. Es ist allgemein anerkannt, dass Geokunststoffe bei ausreichender Stabilisierung gegen oxidativen Abbau eine Produktlebensdauer von mehr als 100 Jahren haben, vorausgesetzt die Temperaturen sind ausreichend niedrig und der Sauerstoffzutritt ist begrenzt. Diese Voraussetzungen sind für marine Anwendungen gegeben. Mindestens am Ende der Produktlebensdauer ist eine Freisetzung von Mikroplastik-Partikeln und Kunststoff-Additiven durchaus möglich. Mit zeitraffenden Methoden kann eine Untersuchung dieser Effekte bereits nach deutlich kürzeren Bewitterungsperioden ermöglicht werden. Solche Untersuchungen wurden für Geokunststoffe in der Deponietechnik bereits durchgeführt, sind

aber auf Geokunststoffe in marinen Anwendungen nicht direkt übertragbar [3].

Der Fachbereich 4.3 beschäftigt sich seit Jahren intensiv mit der Methodenentwicklung zur Schadstofffreisetzung aus diversen Materialien, zu denen auch Kunststoffe gehören. Die Schadstofffreisetzung aus Kunststoffen in Recyclinganlagen und Gummigranulaten nach künstlicher Bewitterung wurden von der BAM in Laborexperimenten untersucht [4,5]. Die beschleunigte oxidative Alterung mit Autoklaven wurde für die Untersuchung von Geokunststoffen im Tunnelbau angewendet [6]. Umfangreiche Erfahrungen mit Geokunststoffen liegen in der BAM durch die Forschung im Zusammenhang mit der Zuständigkeit als Zulassungsstelle von Geokunststoffen wie Kunststoffdichtungsbahnen, Schutzschichten, Kunststoff-Dränelementen, Bewehrungsgittern aus Kunststoff und Polymeren für Dichtungskontrollsysteme zur Anwendung in Basis- und Oberflächenabdichtungen von Deponien vor [1,3].

Projekttablauf

Die BAM bearbeitete federführend das Arbeitspaket (AP) 1. Ziel war die beschleunigte Alterung von Vliesstoffen aus Polypropylen (PP), welche durch einen deutschen Geokunststoffhersteller zur Verfügung gestellt wurde. Für die Untersuchungen kamen Klimakammern und in der BAM vorhandene Autoklaven zum Einsatz. Die gealterten Materialien werden mikroskopisch und spektroskopisch (ATR-FTIR) charakterisiert. Durch die anschließende Bestimmung der mechanischen Eigenschaften erfolgte eine Abschätzung der Restlebensdauer der Geokunststoffe.

Das Projekt wurde in Kooperation mit einem Partner aus Russland (Shirshov's Institute for Oceanology of the Russian Academy of Sciences, SIO RAS) und einem weiteren Partner aus Lettland (Latvia Institute of Aquatic Ecology, LIAE) durchgeführt. SIO RAS war verantwortlich für eine Feldstudie, die an der Ostseeküste von Svetlogorsk (Oblast Kaliningrad, Russland) durchgeführt wurde. Dort sind Geokunststoffe seit 2005 im Küstenschutz im Einsatz. Weiterhin entwickelte der Partner numerische Modelle für den Transport von Mikroplastik-Partikeln. Die Hauptaufgabe für den Partner LIAE lag im Bereich der ökotoxikologischen Prüfungen, die im Rahmen des Projekts an Proben von Geotextilien durchgeführt wurden.

Ergebnisse

Material und Methoden

Für das Projekt wurde als Testmaterial für die Untersuchungen ein multifunktionales Geotextil zur Trennung, Filterung und zum Schutz aus weißem Polypropylen ausgewählt. Das Flächengewicht betrug 600 g m^{-2} , die Dicke 5 mm und die Wasserdurchlässigkeit $3 \times 10^{-2} \text{ m s}^{-1}$. Das in Deutschland hergestellte Material ist im Handel erhältlich und wird häufig zum Schutz von Dichtungsbahnen oder zur Herstellung von Sandbehältersäcken verwendet.

Autoklaventests in Anlehnung an DIN EN ISO 13438:2005 (Methode C) [6] wurden unter reiner Sauerstoffatmosphäre mit Drücken zwischen 10 und 50 bar, bei Temperaturen zwischen 30 und 80 °C und Einlagerungszeiten im Bereich von 14 bis 143 Tagen durchgeführt. Die Probekörper waren dabei vollständig in Leitungswasser eingetaucht. Eine Übersicht über die

durchgeführten Alterungsversuche ist in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1. Dauer der beschleunigten Alterung in den Autoklaven in Tagen bei 5 verschiedenen Drucken p und Temperaturen.

p (bar)	Temperatur (K)				
	303	313	333	343	353
10					14, 44, 61
20					27, 54, 82, 140
30			70, 102, 144		28, 38, 48, 77
40		70, 101, 143			
50	70, 101, 143			70, 101, 143	

Die Exposition in den Autoklaven führte zu einer zeitabhängigen Abnahme der mechanischen Eigenschaften der Geotextilien. Fünf PP-Proben (250 mm x 50 mm) wurden in Leitungswasser in die Autoklaven gegeben. Die Verwendung von künstlichem Meerwasser war wegen der Gefahr einer chlorinduzierten Korrosion bei hohen Sauerstoffdrücken nicht möglich. Um ein thermisches Gleichgewicht zu erreichen, wurden die Autoklaven vor Versuchsbeginn 48 h in elektronisch geregelten Heizsystemen belassen.

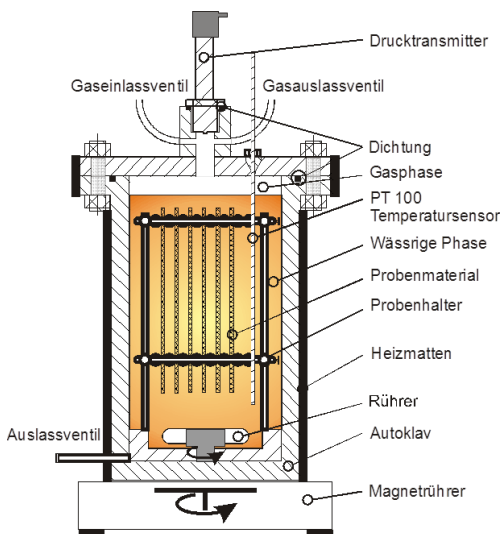


Abbildung 1. Schematische Ansicht der Autoklaven (links), Schließen des Deckels im Autoklaventeststand mit zwei Autoklaven.

Im Verlauf der Untersuchung wurden einzelne Proben nach unterschiedlichen Alterungszeiten nacheinander entnommen. Dann wurde entsprechend die Zugfestigkeit bestimmt. Für jede Alterungsdauer wurden zwei Messungen durchgeführt. Alle Zugversuchsmessungen wurden mit einer Zwick Zugprüfmaschine (ZPM Modell 1464 mit testXpert II Software) mit 5 kN Kraftsensor durchgeführt. Die Zugversuche wurden in einer klimatisierten Umgebung bei 23 °C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50 % durchgeführt. Für die Zugversuchsmessungen wurde eine Einspannlänge von 50 mm und eine Prüfgeschwindigkeit von 50 mm/min gewählt. Jede Probe wurde an einem Sandpapier befestigt, um ein Gleiten während des Zugversuchs

zu vermeiden.



Abbildung 2. Probenmaterial und Proben nach dem Zugversuch

Ergebnisse der Alterungsversuche

Die Dehnung und Bruchkraft der Prüfkörper wurden auf einer Zugprüfmaschine gemessen. Die verbliebene Reißdehnung R_ϵ wird als Funktion der Zeit (und der Temperatur und des Sauerstoffdrucks) gemessen und durch eine duktil-spröde Veränderung beeinflusst, die ein Kriterium für die Lebensdauer des Geotextils ist. Die Restdehnung R_ϵ ist wie folgt definiert:

$$R_\epsilon = 100 \% \frac{\epsilon_e}{\epsilon_c} \quad (1)$$

mit ϵ_e der anfänglichen Reißdehnung und ϵ_c die Dehnung der beanspruchten Probe.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 3 dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass eine steigende Temperatur zu einem stärkeren Abfall der mechanischen Eigenschaften führt. Der Verlust an der Restdehnung schreitet mit der Dauer der Exposition fort, was in Abbildung 3 durch unterschiedliche Graustufen der jeweiligen Symbole (hell bis dunkel) visualisiert wird. Der Einfluss des Drucks ist geringer. Experimente, die bei 40 und 50 bar durchgeführt wurden, zeigen höhere Werte für die Restdehnung, da die Temperatur nur 30 bzw. 40 °C betrug.

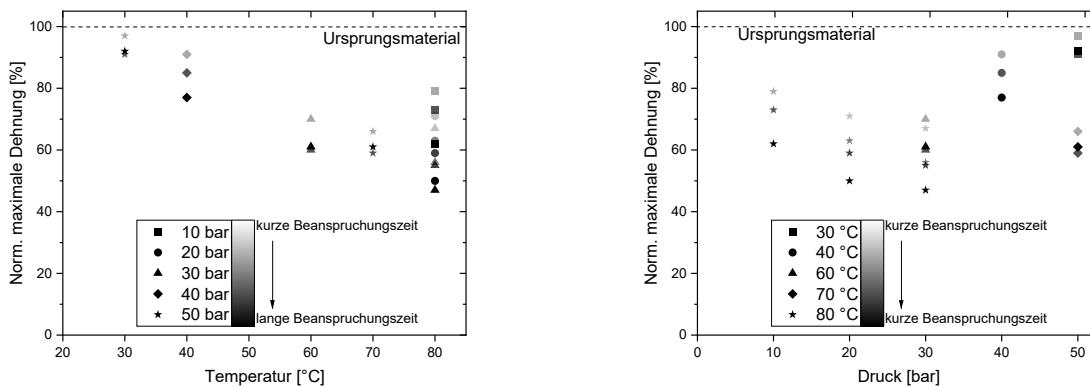


Abbildung 3. Restdehnung R_ϵ gemessen nach Exposition in Autoklaven als Funktion von Temperatur (links) und Druck (rechts). Die Dauer der Exposition wird durch Graustufen der Symbole visualisiert. Bei 80 °C wurden Experimente bei drei verschiedenen Drücken (10, 20 und 30 bar, verschiedene Symbole) durchgeführt.

Die Alterung des Polymers wird durch Oxidation verursacht. Die Thermooxidation von PP kann als ein ketteninterner Radikalmechanismus aufgefasst werden, was den starken selbstbeschleunigenden Charakter verstärkt. Eine ausführliche Beschreibung der oxidativen Alterung von Polymeren findet sich bei Verdu [7]. Die beschleunigte Alterung in den Autoklaven ist eine Funktion von Temperatur und Druck mit einer Geschwindigkeitskonstante (pseudo-) erster Ordnung k (s^{-1}). Die Temperatur- und Druckabhängigkeit der Oxidationsreaktion kann durch eine modifizierte Arrhenius-Gleichung (Berücksichtigung der Druckabhängigkeit) angenähert werden [6,8]:

$$\ln \frac{\epsilon_e}{\epsilon_c} \sim \ln \frac{c_0}{c} = A \exp\left(\frac{-E_a + C p}{R T}\right) = k(T, p) t \quad (2)$$

mit Frequenzfaktor A (s^{-1}), Aktivierungsenergie E_a ($J \text{ mol}^{-1}$), Druckfaktor C ($J \text{ mol}^{-1} \text{ bar}^{-1}$), Gaskonstante R and Temperatur T (K).

Der Term $\ln c_0/c$ bezieht sich normalerweise auf die Abnahme der Konzentration eines Stoffes in einer chemischen Reaktion. Die Konzentrationsabnahme wird hier durch den Verlust mechanischer Eigenschaften angenähert und beschreibt den Fortschritt der Oxidation und damit des Materialabbaus, ohne die genaue Konzentration an oxidiertem und nicht oxidiertem Polymermaterial zu kennen. Die in Abbildung 3 dargestellten experimentellen Daten wurden mit dem Solver-Modul in Microsoft Excel (Solver-Methode GRG nichtlinear) angepasst. Ausgangswerte für Aktivierungsenergie E_a (80000 J mol^{-1}) und Frequenzfaktor A ($6 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$) wurden der Literatur entnommen [9]. Als Ergebnis wurde für $k(T, p)$ ein Wert von $6,6 \times 10^{-11} \text{ s}^{-1}$ bei $T=298 \text{ K}$ und $p(\text{O}_2)=0,21 \text{ bar}$ erhalten. Die Halbwertszeit τ bei 298 K und $0,21 \text{ bar}$ Sauerstoffdruck, d. h. die Zeit, in der 50 % der mechanischen Eigenschaften unter Umgebungsbedingungen verloren gehen, lässt sich durch $\ln 2/k$ berechnen.

$$\tau = \ln 2/k = 330 \text{ Jahre}$$

Dieses Ergebnis liegt in der gleichen Größenordnung wie die Ergebnisse von Hausmann et al. für gewebte Polypropylen-Geotextilien [9] (483-795 Jahre). Der gefittete Druckfaktor C betrug $146 \text{ J mol}^{-1} \text{ bar}^{-1}$, so dass die Aktivierungsenergie E_a im Exponentialterm in Gleichung (2) um 7300 J mol^{-1} , also weniger als 10% bei 50 bar Sauerstoffdruck im Autoklavenexperiment

reduziert wird. Wie bereits erwähnt, hat die Temperatur den stärksten Einfluss auf die beschleunigte Alterung in den Autoklaven, selbst bei dem höchstmöglichen Druck von 50 bar. An dieser Stelle muss jedoch erwähnt werden, dass die Proben in Leitungswasser getaucht waren und damit die Proben dem im Wasser gelösten Sauerstoff ausgesetzt werden, der proportional zum Sauerstoffpartialdruck über der Flüssigkeit ist (Gesetz von Henry). Die Löslichkeitskonstante nach Henryschem Gesetz ist substanzspezifisch und eine Funktion der Temperatur. Eine Gleichung zur Berechnung der Konzentration von gelöstem Sauerstoff c_{aq} in Wasser zwischen 273 und 616 K und Drücken bis 60 bar wurde von Tromans [10] vorgestellt und von Sander [11] überprüft. Bei 50 bar und 353 K beträgt c_{aq} $3,97 \times 10^{-2} \text{ mol kg}^{-1}$.

Ergebnisse der anderen Projektpartner

- Feldstudie an der Ostseeküste

Fragmente aus Kunststoff konnten am Strand gefunden werden, sind aber ungleichmäßig verteilt [12,13]. Um die Verschmutzung der Strände an der südöstlichen Ostsee in der Oblast Kaliningrad (Russland) zu analysieren, wurde eine kontinuierliche visuelle Scanning-Technik [14] angewendet, bei der eine Gruppe von Beobachtern über die gesamte Breite (bis zu 188 m, durchschnittlich 30 m) vom Küstenstreifen bis zur Düne oder Klippe die Objekte einsammelt. Bei den Monitoring-Erhebungen im Jahr 2018 konnten so täglich zwischen 7 und 10 km beprobt werden.

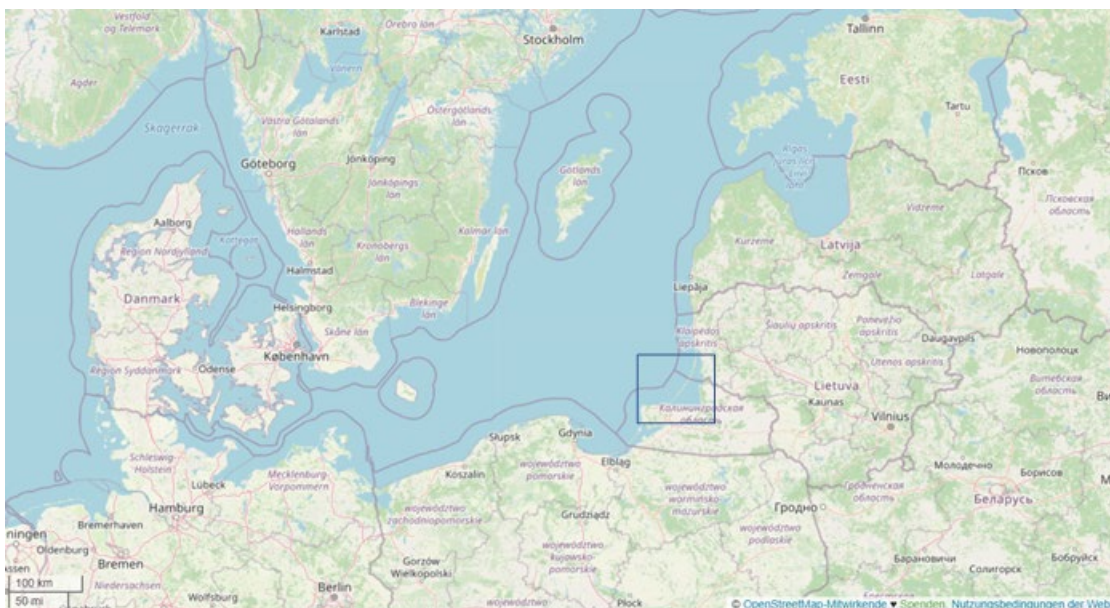


Abbildung 4. Beprobungsgebiet an der Ostseeküste im Gebiet Kaliningrad mit Halbinsel Samland und Kurischer Nehrung (Russland)

Gefunden wurden eine große Menge an Resten von geosynthetischen Materialien, die in Küstenschutzbauten verwendet werden [15]. Hinzu kommen Verunreinigungen durch andere Baumaterialien, z.B. Big-Bags, Reste von Fischernetzen, Seilen und Autoreifen. Es wurden 3485 Proben von den Stränden gesammelt, die ihrer Herkunft nach zu verschiedenen Arten von Materialien gehören: Geotextilien, Geozellen, Geogitter, Kunststoffbeschichtungen von Gabionen und Big-Bags aus Geotextilien. Das Auftreten von Geokunststoffresten ist entlang der gesamten Küste des Gebiets Kaliningrad sehr unterschiedlich (Nordufer der Halbinsel

Samland 66 %, Strände des Nationalparks Kurische Nehrung 31 %, Westufers der Halbinsel Samland und der Weichsel Nehrung 3%). Unter den gefundenen Geokunststoffresten waren am häufigsten Geflechte aus Gabionen (44 %) und Geocontainern (43 %), 12 % von Geotextilstücken und 1 % Reste von Geozellen und Geogittern zu finden.



a.



b.



c.



d.

Abbildung 5. Fotos von gesammelten Objekten während der Feldstudie, a. + b. gealterte Beschichtung von Gabionkäfigen, c. Rest von Geozellen, d. Abfälle von zerrissenen Big Bags.

- Ökotoxikologische Tests

An den geotextilen Materialien wurden dynamische Oberflächenauslaugtests (dynamic surface leaching test, DSLT) gemäß der Auslaugmethode CEN/TS 16637-2 durchgeführt. Der DSLT entspricht einem Tanktest zur Beurteilung der oberflächenabhängigen Freisetzung gefährlicher Stoffe und wurde ursprünglich für monolithische Bauprodukte entwickelt. Die Elution der Probekörper erfolgt mit demineralisiertem Wasser bei einem definierten Wasser/Oberflächen-Verhältnis (liquid/area L/A) und einem Wasserwechsel in mehreren festen Zeitintervallen (6 h, 1 d, 36 d). Das L/A-Verhältnis ist in CEN TS 16637-2 auf 80 L/m² festgelegt, kann aber für plattenförmige Produkte auf 25 L/m² reduziert werden. Getestet wurde bei 23 ± 2 °C, Raumfeuchte 50 ± 5 % im Dunkeln. Pro Beschichtungssystem wurden zwei Proben eluiert, um genügend Eluatvolumen für alle ökotoxikologischen Tests zu erhalten. Jede Probe wurde einzeln in einen Tank gegeben und die Eluate derselben Fraktion wurden vereinigt und gut gemischt, bevor sie für die ökotoxikologische Analyse aliquotiert wurden. Der Verlust von Additiven wie Weichmachern und Antioxidantien während der Alterung von Geotextilien kann möglicherweise die Schadstoffkonzentrationen im Wasser erhöhen. Dies wurde in einer Studie

aus Südkorea diskutiert, in der mehr als 200 verschiedene Chemikalien in Meeresmüll aus Plastik und entsprechenden neuen Produkten identifiziert wurden [16]. Ökotoxikologische Tests zeigten jedoch keine signifikante Toxizität von geotextilen Sickerwassern von ungealterten Proben für Wasserorganismen. Im Fall von Mikroalgen zeigten die Testproben sogar ernährungsphysiologische Eigenschaften, da eine Zunahme der Mikroalgenkonzentration während des 72-stündigen Tests beobachtet wurde. Bei den im Rahmen des EI-GEO Projekts durchgeführten Untersuchungen wurde keine bedenkliche ökotoxikologische Wirkung der Geotextilien beobachtet [17].

Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen

Die Lebensdauer von Geotextilien mit Stabilisierung nach Stand der Technik liegt bei weit über 100 Jahren, was in der vorliegenden Studie mit beschleunigter Alterung bei erhöhten Temperaturen und Sauerstoffdrücken gezeigt wurde. Unsachgemäße Verlegung der Geotextilien sowie mangelnder Service und Wartung nach extremen Wetterereignissen können zum Versagen der Ingenieurbauwerke und in der Folge zur Belastung der Umwelt durch Geokunststoffreste führen [18]. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der erfolgreiche Einsatz von Geotextilien im Küstenschutz durch Auswahl eines geeigneten ausreichend stabilisierten Materials und einer fachgerechten Installation und Wartung gewährleistet werden kann.

Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Gegenüber den ursprünglichen Planungen (Gesamtfinanzierungsplan vom 01.10.2018) ergaben sich geringe Verschiebungen durch die kostenneutrale Laufzeitverlängerung um 8 Monate. Wegen des Wechsels beim wissenschaftlichen Personal wurde das Projekt von ursprünglich 31.12.2020 bis zum 31.08.2021 verlängert.

Das Projektbudget wurde vor allem für wissenschaftliches Personal verauslagt (124.000 EUR). Für Verbrauchsmittel wurden 12.180 EUR ausgegeben, für Dienstreisen im In- und Ausland 2550 EUR.

Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des Verwertungsplans

Der globale Umsatz mit Geokunststoffen liegt bei 5 Milliarden Dollar mit jährlichem Wachstum von 3 – 5 % [1]. Die Anwendung von Geokunststoffen im Wasserbau ist ein Wachstumsbereich. Allerdings gibt es wegen der zunehmenden Wahrnehmung des Problems von Mikroplastik in den Ozeanen Bedenken, Geokunststoffe in marinen Anwendungen könnten zu diesem Problem beitragen oder aber Geokunststoffe (bzw. die darin enthaltenen Stabilisatoren) könnten Quelle von Schadstoffen in der marinen Umwelt sein. Im Rahmen des Projekts wurden genau diese möglichen Wirkungen beim Einsatz von Geokunststoffen untersucht. Das Ergebnis ist somit eine wissenschaftliche fundierte Bewertung des Risikos. Existiert die Möglichkeit der Freisetzung von Mikroplastik-Partikeln oder von Umweltschadstoffen, müssen die Hersteller ihre Produkte so modifizieren, also besser stabilisieren, dass dies für die Dauer der Anwendung (service life time) nicht eintritt. Wenn die Produkte diesbezüglich unbedenklich sind, können Bedenken von Zulassungsbehörden ausgeräumt werden und die Verwendung mit den weiter oben genannten Vorteilen nimmt zu.

Davon profitiert auch deutsche Herstellerfirmen, da es hier beachtliche Produktionskapazitäten für Geokunststoffe gibt (z.B. Fa. Naue GmbH, www.naue.com).

Die Ergebnisse des Projekts haben gezeigt, dass vom Einsatz von Geotextilien im Küstenschutz keine negative Beeinflussung der Umwelt ausgeht. Erstens liegt die Lebensdauer der untersuchten Geokunststoffprodukte deutlich über den üblichen geplanten Anwendungsdauern von 25 Jahren und zweitens konnten keine umweltschädlichen Emissionen in Gewässer beobachtet werden. In dieser Einschätzung ist sich die Fachwelt einig, wie zum Kommentare der Gutachter im peer-review Verfahren zur Veröffentlichung [17] des Projektteams zeigten und die Diskussionen mit dem Fachpublikum bei einer Veranstaltung des BWK [19]. Es war geplant die Ergebnisse auch bei Veranstaltung mit Industriebeteiligung in Russland zu präsentieren, was aber bisher durch die Covid-19-Pandemie nicht möglich gewesen ist. Dies soll aber nachgeholt werden.

Liste von Veröffentlichungen

Web-of-science Artikel:

Esiukova, E. E., Chubarenko, B., & Simon, F.-G. (2018). Debris of geosynthetic materials on the shore of the South-Eastern Baltic (Kaliningrad Oblast, the Russian Federation). *2018 IEEE/OES Baltic International Symposium (BALTIC)*, 1-6. doi:10.1109/BALTIC.2018.8634842

Scholz, P., Putna-Nimane, I., Barda, I., Liepina-Leimane, I., Strode, E., Kilesa, A., Esiukova, E., Chubarenko, B., Purina, I., & Simon, F.-G., Environmental Impact of Geosynthetics in Coastal Protection, *Materials* 14(3) (2021) 634. doi: 10.3390/ma14030634

Chubarenko, B., Kilesa, A., Esiukova, E., Pinchuk, V., and Simon, F.-G., Dataset on geosynthetic material debris contamination of the South-East Baltic shore, *Data in Brief* 40 (2022) 107778. doi: 10.1016/j.dib.2021.107778

Konferenzbeiträge:

Simon, F.-G., Chubarenko, B., & Purina, I. (2018, 12.-15.06.2018). *Approach for analysis of environmental impact of geosynthetics in aquatic systems by example of the Baltic Sea*. Paper presented at the 7th IEEE/OES Baltic Symposium, Clean and Safe Baltic Sea and Energy Security for the Baltic countries, Klaipeda, Litauen.

Simon, F. G., Barqawi, H., Chubarenko, B., Esiukova, E., Putna-Nimane, I., Barda, I., . . . Purina, I. (2020). EI-GEO Environmental Impact of Geosynthetics in aquatic systems. In S. Köppen & M. Reckermann (Eds.), *3rd Baltic Earth Conference, Earth system changes and Baltic Sea coasts* (pp. 151-152). Geesthacht: International Baltic Earth Secretariat Publications.

Simon, F.-G. (2021, 14.04.2021). *Beschleunigte Alterung von Geotextilien zur Ermittlung von Materialeigenschaften*. Paper presented at the 5. BWK-Webseminar, Geotextilien im

Wasserbau, Online Meeting.

Webseite

EI-GEO, Environmental impact of geosynthetics in aquatic systems, <http://ei-geo.com/>

Video

Interview des lettischen Fernsehens zu Mikroplastik mit den EI-GEO Wissenschaftlern Simon (BAM) und Putna-Nimane (LHEI)

<https://www.youtube.com/watch?v=gMeySEo-73c>

Projekt-Logo



Literatur

1. Müller WW, Saathoff F (2015) Geosynthetics in geoenvironmental engineering. Science and Technology of Advanced Materials 16:034605. doi: 10.1088/1468-6996/16/3/034605
2. Holmes LA, Turner A, Thompson RC (2014) Interactions between trace metals and plastic production pellets under estuarine conditions. Marine Chemistry 167:25-32.
3. Müller WW, Simon FG, Wöhlecke A (2019) 30 Jahre BAM-Zulassung in der Deponietechnik: Material- und prüftechnische Entwicklungen. Bautechnik 96:912-918. doi: 10.1002/bate.201900076
4. Bandow N, Will V, Wachtendorf V, Simon FG (2017) Contaminant release from aged microplastic. Environmental Chemistry 14:394-405. doi: 10.1071/EN17064
5. Wachtendorf V, Kalbe U, Krüger O, Bandow N (2017) Influence of weathering on the leaching behaviour of zinc and PAH from synthetic sports surfaces. Polymer Testing 63:621-631. doi: [10.1016/j.polymertesting.2017.09.021](https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2017.09.021)

6. Robertson D (2013) The Oxidative Resistance of Polymeric Geosynthetic Barriers (Gbr-P) Used for Road and Railway Tunnels. *Polymer Testing* 32:1594-1602. doi: 10.1016/j.polymertesting.2013.09.012
7. Verdu J (2012) *Oxidative ageing of polymers*. ISTE Ltd., London
8. Schröder HF, Munz M, Böhning M (2008) A New Method for Testing and Evaluating the Long-Time Resistance to Oxidation of Polyolefinic Products. *Polymers and Polymer Composites* 16:71-79. doi: 10.1177/096739110801600109
9. Hausmann S, Zanzinger H, Armani A (2020) Oxidative lifetime prediction of a polypropylene woven geotextile by applying high temperature and moderately increased oxygen pressure. *Geotextiles and Geomembranes* 48:479-490. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2020.02.006>
10. Tromans D (1998) Temperature and pressure dependent solubility of oxygen in water: a thermodynamic analysis. *Hydrometallurgy* 48:327-342. doi: [https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(98\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(98)00007-3)
11. Sander R (2015) Compilation of Henry's law constants (version 4.0) for water as solvent. *Atmospheric Chemistry and Physics* 15:4399–4981. doi: 10.5194/acp-15-4399-2015
12. Haseler M, Balciunas A, Hauk R, Sabaliauskaite V, Chubarenko I, Ershova A, Schernewski G (2020) Marine Litter Pollution in Baltic Sea Beaches – Application of the Sand Rake Method. *Frontiers in Environmental Science* 8:599978. doi: 10.3389/fenvs.2020.599978
13. Chubarenko I, Esiukova E, Khatmullina L, Lobchuk O, Grave A, Kileso A, Haseler M (2020) From macro to micro, from patchy to uniform: analyzing plastic contamination along and across a sandy tide-less coast. *Mar Pollut Bull* 156:111198. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111198
14. Esiukova EE, Chubarenko BV, Chubarenko IP, Kileso AV, Zhelezova EV, Grave AV, Cukanova ES, Sobaeva DA, Tanurkov AG, Yushmanova AV, Turko NA: Method of selection and accounting of fragments of geosynthetic materials and its testing at the beaches of the South-Eastern Baltic. In: XXVII International Shore Conference "Arctic Coast: The Path to Sustainability", Murmansk, Russia 2018. MAGU Publisher
15. Esiukova EE, Chubarenko B, Simon F-G (2018) Debris of geosynthetic materials on the shore of the South-Eastern Baltic (Kaliningrad Oblast, the Russian Federation). 2018 IEEE/OES Baltic International Symposium (BALTIC):1-6. doi: 10.1109/BALTIC.2018.8634842
16. Rani M, Shim WJ, Han GM, Jang M, Al-Odaini NA, Song YK, Hong SH (2015) Qualitative Analysis of Additives in Plastic Marine Debris and Its New Products. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 69:352-366. doi: 10.1007/s00244-015-0224-x
17. Scholz P, Putna-Nimane I, Barda I, Liepina-Leimane I, Strode E, Kileso A, Esiukova E, Chubarenko B, Purina I, Simon F-G (2021) Environmental Impact of Geosynthetics in Coastal Protection. *Materials* 14:634. doi: 10.3390/ma14030634
18. Esiukova EE, Chubarenko BV: Geosynthetic debris – new pollutant as a result of coastal protection. In: XX International Environmental Forum "Baltic Sea Day", St. Petersburg, Russia

2019, pp. 80-82

19. Simon F-G: Beschleunigte Alterung von Geotextilien zur Ermittlung von Materialeigenschaften. In: 5. BWK-Webseminar, Geotextilien im Wasserbau, Online Meeting, 14.04.2021 2021

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Einfluss von Geokunststoffen auf die aquatische Umwelt - EI-GEO; Teilvorhaben: BAM	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Simon, Franz-Georg Scholz, Philipp	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.08.2021
	6. Veröffentlichungsdatum 28.02.2022
	7. Form der Publikation Bericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung Unter den Eichen 87 12205 Berlin	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 01DJ18005
	11. Seitenzahl 1-14
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 19
	14. Tabellen 1
	15. Abbildungen 5
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) DLR Projektträger, Heinrich-Konen-Str. 1, 53227 Bonn	
18. Kurzfassung Im Rahmen des Projekts konnte gezeigt werden, dass Geokunststoffe bei ausreichender Stabilisierung Einsatzdauern von über 100 Jahren besitzen. Es werden keine Stoffe freigesetzt, die für Wasserorganismen schädlich sind. An den Ostseestränden im Gebiet Kaliningrad werden nennenswerte Mengen von Kunststoffresten gefunden, die zum Teil aus Küstenschutzbauwerken stammen. Ursache ist hier jedoch eine verfehlte Materialauswahl. Hauptsächlich stammen die Kunststoffreste am Strand jedoch aus unsachgemäße Abfallbehandlung.	
19. Schlagwörter Geokunststoffe; beschleunigte Alterung, Autoklaven, Küstenschutz	
20. Verlag -	21. Preis