

Abschlussbericht „ATOMIK“

Alternative Trennpuder für die Glasindustrie ohne Mikroplastik

Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) unter Az: 37311/01

Bewilligungsempfänger: KSL Staubtechnik GmbH
Westendstraße 11, 89415 Lauingen
Projektleiter: Dr. Rupert Stadler
Ansprechpartner: Dr. Stefan Grob
Telefon: +49 9072 950025
stefan.grob@ksl-staubtechnik.de

Projektpartner: TU Bergakademie Freiberg,
Harald Erler, Thomas Volland, Leipziger Str. 28, 09599 Freiberg

IfG Ingenieurbüro für Glastechnik,
Ralph Deeg, Brunnenbergstr. 19, 71334 Waiblingen

Fraunhofer Institut für Silicatforschung (ISC),
Mark Mirza, Neunerplatz 2, 97082 Würzburg

Linotech GmbH & Co. KG,
Cord Grashorn, Euloer Str. 242, 03149 Forst



INSTITUT FÜR
GLAS UND GLASTECHNOLOGIE



Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC



Projektlaufzeit: 28.05.2021 – 28.08.2022

Lauingen an der Donau, November 2022

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Einleitung	4
Hauptteil	7
3.1 Anforderungsprofil des zu entwickelnden Trennpuders	7
3.2 Herstellung eines Puders mit passender Partikelgrößenverteilung.....	8
3.3 Applikationstests	8
3.4 Transmissionsmessungen – Wechselwirkungen zwischen Puder und Glas	11
3.5 Glaskorrosion bei Verwendung des Trennpuders	12
3.6 Biodegradierbarkeit	15
Fazit.....	23

Bilderverzeichnis

Abbildung 1	Aufbau Laboranlage IfG.....	9
Abbildung 2	IfG Industrieanlage	10
Abbildung 3	Glasscheibe mit appliziertem ATOMIK-Pulver und Aufbau Falltest.....	10
Abbildung 4	Vergleich Referenz zu gealterter Referenz	11
Abbildung 5	Vergleich Transmissionsänderung durch Korrosion bei Einsatz von herkömmlichem Trennpuder ggü. ATOMIK-Pulver	13
Abbildung 6	Vergleichspulver ohne Adipinsäure.....	14
Abbildung 7	ATOMIK-Pulver ohne Adipinsäure.....	14
Abbildung 8	Vergleichspulver mit Adipinsäure	15
Abbildung 9	ATOMIK-Pulver mit Adipinsäure	15
Abbildung 10	Mischung ATOMIK-Pulver/Glaspulver	17
Abbildung 11	Wellplatten Insert in Versuchsbeutel/Erdabdeckung (aus Kompostierwerk)	18
Abbildung 12	Entnommene Proben (die bräunliche Verfärbung ganz rechts kommt von der Durchdringung der flüssigen Komponenten im Kompost).....	19
Abbildung 13	REM: reines ATOMIK-Pulver (oben), reines Glasschleifpulver (unten).....	20
Abbildung 14	REM-Aufnahme nach ca. 2 Monaten Kompostierung (24.3.22).....	21
Abbildung 15	REM-Aufnahme nach ca. 3 Monaten Kompostierung (29.4.22).....	21
Abbildung 16	REM-Aufnahme nach ca. 4 Monaten Kompostierung (30.5.22).....	21

Verzeichnis von Begriffen und Definitionen

PMMA – Polymethylmethacrylat

PE – Polyethylen

Zusammenfassung

Projektziel war die Substitution der bisherig verwendeten Kunststoffpartikel zur Trennung von Flachglas bei Lagerung und Transport durch biodegradierbare Polymerpartikel, welche durch natürliche, selbstablaufende Prozesse abgebaut werden können. Für die gesuchten Trennpuderpartikel wurde zunächst ein Anforderungs- und Eigenschaftsprofil erstellt, anhand dessen eine Auswahl möglicher biodegradierbarer Partikel stattfand.

Für den Einsatz als Trennpuder für Flachglas ist eine Partikelgröße zwischen ca. 50 und 200 μm optimal. Herkömmliche biologisch abbaubare Pulver sind produktionstechnisch allerdings feiner, während entsprechende Granulate zu grob sind. Eine Aufmahlung des Granulats in den gewünschten Größenbereich erwies sich als technisch sowie wirtschaftlich schwierig. Daher wurden die weitergehenden Versuche mit feinerem Pulver gestartet, dessen mittlerer Partikeldurchmesser bei ca. 25 μm liegt. Dieses feine Pulver lieferte bei Bepuderungsversuchen von IFG und KSL eine sehr gute Anhaftung auf der Glasscheibe. KSL entwickelte daher aus diesem Pulver angepasste Trennpuder unter Verwendung von Fließmitteln und Korrosionsschutzmitteln.

Am Fraunhofer ISC wurden anschließend Versuche zur Biodegradierbarkeit des biologisch abbaubaren Puders in der Vermengung mit Glasmehl im Rahmen von Kompostierungsversuchen durchgeführt. Diese zeigten innerhalb des Testzeitraums von 4 Monaten einen fast vollständigen, natürlichen Abbau des Puders.

An der TU Freiberg wurden Versuche hinsichtlich der Wechselwirkung der Pudergemische mit Standard-Glas durchgeführt und es zeigten sich im Vergleich zu handelsüblichen Kunststoffpulvern mindestens gleichwertige, teilweise sogar bessere (Anti-) Korrosionseigenschaften der untersuchten Puder.

Im Anschluss wurde gemeinsam nach einem Industriepartner für praktische Versuche gesucht und in der GMB Glasmanufaktur Brandenburg GmbH gefunden, wobei die Versuchsplanung noch andauert und Praxistests im großen Maßstab aufgrund der derzeitigen betrieblichen Auslastung erst nach Projektende durchgeführt werden können.

Mit den Erkenntnissen aus den Industrieversuchen soll dann das weitere Vorgehen entschieden werden. Denkbar ist eine Vermarktung durch die KSL.

Das Projekt wurde unter dem Aktenzeichen 37311/01 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördert.

Einleitung

Bei Lagerung und Transport von Gläsern kommt es bei Glas-Glas-Berührungen zu einer starken Adhäsion, der die spätere Trennung der planen Glasscheiben voneinander massiv erschwert. Insbesondere bei Flachglas ist deshalb auf Grund der benötigten hohen Oberflächengüte die Verwendung von Abstandshaltern unumgänglich. Stand der Technik ist der Einsatz von Trennpudern, deren Hauptbestandteil Kunststoffpartikel (z.B. PMMA, PE) sind, welche auf Grund ihrer Korngröße ($< 200 \mu\text{m}$) per Definition Mikroplastik darstellen. Dies stellt eine bislang nicht betrachtete Mikroplastik-Emissionsquelle in die Umwelt dar.

Ziel des Projekts war die Substitution der bisherig verwendeten, langlebigen Kunststoffpartikel durch biodegradierbare Polymerpartikel, welche durch natürliche, selbstständig ablaufende Prozesse abgebaut werden können. Damit werden zwei Probleme gelöst. Einerseits wird die Emission von Mikroplastik in das Abwasser des Glasverarbeiters verhindert und eine bislang nicht betrachtete Mikroplastikemissionsquelle in die Umwelt geschlossen. Dadurch könnten pro Jahr die Emission von circa 40 Tonnen Mikroplastik allein in Deutschland verhindert werden. Andererseits wird so der Glasschleifschlamm nicht mehr durch Mikroplastik verunreinigt und ein bislang wegen den Verunreinigungen nicht verwertbarer Reststoff könnte dem Recyclingprozess zugeführt werden.

Trennpuder werden während der Glasproduktion auf die Scheibenoberfläche appliziert und verbleiben während des ersten Grobschnitts, Abstapelns und Transports auf der Glasoberfläche haften. Erst bei weiteren Verarbeitungsschritten, z.B. beim Schliff, werden diese Puder abgewaschen. In manchen Fällen wird zwischen den Verarbeitungsschritten erneut bepudert. Diese Emissionsquelle von Mikroplastik wurde bislang nicht beachtet bzw. als solche nicht erkannt. Entsprechend finden sich in den Wasseraufbereitungsanlagen keine Rückhaltemaßnahmen für Kunststoffpartikel und die Trennpuderpartikel werden größtenteils mit dem Schleifschlamm abgesetzt.

Schleifschlamm aus der Glasverarbeitung besteht hauptsächlich aus feinem Glaspuder mit Resten abrasiven Materials (z.B. Korund), ggf. Flockungsmittel und einer messbaren Menge an organischem Material. Bei bisherigen Betrachtungen des Schleifschlammes für Recyclingversuche war unklar, woher diese Verunreinigungen stammen, da Flockungsmittel o. ä. eher mineralischer Natur sind. Mit der Betrachtung der Trennpuder und deren Immissionsort ergibt

sich aber, dass diese Verunreinigungen vom Trennpuder stammen. Aus Schätzungen der KSL und Messungen des organischen Anteils konnte abgeschätzt werden, dass circa 40 t Mikroplastik pro Jahr in Deutschland im Schleifschlamm landen. Diese Verunreinigungen erschweren das Recycling der Schleifschlämme, sodass große Mengen deponiert werden. Abschätzungen aus vorhergehenden Projekten am Institut für Glas und Glastechnologie (IGT) der TU Freiberg gehen von 40.000 t deponierten Schleifschlamm pro Jahr allein in Deutschland aus [Abschlussbericht ESF-Nachwuchsforscherprojekt CorreCon; 2014].

Ziel des Projekts war daher die Entwicklung eines Trennpuders, bei welchem die Emission von Mikroplastik in die Umwelt durch Biodegradierbarkeit des eingesetzten Polymers verhindert wird. Dieses Ziel wird durch einen Trennpuder auf Basis eines Kunststoffes erreicht, welcher sich nach dem Einsatz im gegebenen Milieu biologisch abbaut. Dabei wird ein geeigneter Kunststoff gewählt und so weit modifiziert, dass die Biodegradierbarkeit im erwünschten Zeitrahmen gegeben ist. Aus diesem Kunststoff werden Partikel hergestellt, die dem Anforderungsprofil bisheriger Trennpuder entsprechen sollen. Im Abwasserbereich soll der verwendete Kunststoff sich zeitnah zersetzen und weder das Abwasser noch den abgesetzten Schleifschlamm langfristig belasten. Vorteilhaft an diesem Ansatz gegenüber zum Beispiel einer besseren Abwasseranlage ist, dass der Verarbeiter keine Änderung an der Anlagentechnik durchführen muss. Zu Nutze gemacht wird sich auch der relativ begrenzte Emissionsort. In den Abwasseranlagen und beim Absetzen mit dem Schleifschlamm stellt sich durch Wechselwirkung der Glaspartikel mit Wasser eine Lösung definierter Zusammensetzung mit einem leicht basischen Charakter ein. Dadurch liegen definierte Auflösungsbedingungen vor.

Um diese Ziele zu erreichen, wurde am Anfang des Projekts eine Literaturrecherche zu alternativen Trennpudern und biologisch abbaubaren Kunststoffen durchgeführt. Aus den Erfahrungen von KSL und Linotech wurde ein Anforderungs- und Eigenschaftsprofil für die zu entwickelnden Trennpuder erstellt, aus denen sich die notwendigen Eigenschaften des abbaubaren Kunststoffes ergaben, wie Partikelgrößenverteilung, Kornfestigkeit, Stabilität der Kunststoffpartikel sowie dessen Abbaugeschwindigkeit. Als nächster Schritt erfolgte die Auswahl des Kunststoffes auf Basis des Anforderungsprofil und der Beschaffbarkeit. Erwartbar war, dass ein Puder, welches alle gewünschten Eigenschaften vereint, nicht bzw. noch nicht käuflich erwerbbar ist. Daher wurden auch Versuche zur Aufbereitung von

Granulaten eingeplant. Aus dem beschafften bzw. hergestellten Pulver sollten dann Testpuder produziert werden.

Im ersten Praxistest sollte mit diesen die Applikation auf die Glasoberfläche untersucht werden. Wichtig dabei ist eine für den vollautomatischen Auftrag ausreichende Fließfähigkeit der Puder bei einer gleichzeitig guten Haftung auf der Glasoberfläche. Durch die dabei gesammelten Erkenntnisse konnte eine Anpassung der Trennpudermischung durch Zugabe von Additiven erfolgen.

Mit dieser Pudermischung wurden anschließend Versuche zur Biodegradierbarkeit (im Milieu der Abwasseranlagen/Schleifschlamm) sowie Versuche zur Wechselwirkung/Korrosion mit der Glasoberfläche durchgeführt. Im Rahmen des Projekts bzw. in dessen Anschluss sollten dann Industrieversuche zur Verwendung stattfinden.

Die Zielstellung an das zu entwickelnde Trennpuder war damit:

- Erfüllung des erstellten Anforderungsprofils,
- Haftung und Trennwirkung auf der Glasoberfläche,
- Keinen (negativen) Einfluss auf die Glaskorrosion, bzw. keine Wechselwirkung oder Verschlechterung der Wirkung von Adipinsäure als Korrosionshemmer,
- Biodegradierbarkeit unter den Bedingungen in der Abwasseraufbereitung/im Schleifschlamm,
- Nutzbarkeit bereits vorhandener Bepuderungsanlagen/geringe Umbaumaßnahmen und
- Wirtschaftlichkeit.

Hauptteil

Am Anfang des Projekts erfolgte die Erstellung eines Anforderungs- und Eigenschaftsprofil des zu entwickelnden Trennpuders. Von KSL wurden durch Marktrecherchen und Erfahrungswerte Kriterien ermittelt, welche das gesuchte Trennpuder erfüllen muss.

3.1 Anforderungsprofil des zu entwickelnden Trennpuders

Folgende Parameter für die Suche nach biodegradierbaren Kunststoffpartikeln wurden zu Grunde gelegt:

- Die Biodegradierbarkeit sollte für den Anwendungsfall nachgewiesen werden können.
- Die Partikelgröße sollte sich an der aktuellen Marktsituation orientieren: Herkömmliche Trennpuder nutzen zwei Partikelgrößenbereiche. Es gibt gute Erfahrung mit feinerem Puder mit ca. 60 – 90 µm mittlerer Partikelgröße und etwas größerem Puder mit ca. 120 – 160 µm mittlerer Partikelgröße, je nach Anwendung.
- Die Partikelgrößenverteilung sollte einigermaßen eng sein, da zu grobe Partikel den Trenneffekt stören, während zu feine Partikel nicht zur Trennung der Scheiben beitragen.
- Eine Temperaturstabilität der Puder von > 80 °C sollte gegeben sein, da diese Temperaturen während des Prozesses auftreten können.
- Eine Stabilität gegenüber dem gängigen Korrosionsschutzmittel Adipinsäure sollte gegeben sein.
- Ein vollautomatisierter Puderauftrag muss möglich sein. Dafür muss der Puder ein ausreichendes Fließverhalten sowie eine gute Zerstäubbarkeit aufweisen.
- Die Partikel dürfen nicht zu hart sein, es darf keine Kratz- bzw. Scheuergefahr auf der Glasoberfläche bestehen.
- Die Partikel müssen zuverlässig auf der Scheibe haften und dürfen nicht beim Aufstellen der Scheiben abfallen.
- Der Puder muss abriebfest und rückstandslos entfernbar/abwaschbar sein.
- Eine chemische Wechselwirkung zwischen Glasoberfläche und Partikeln sollte ausgeschlossen werden.
- Der Preis für den Endkunden sollte nicht deutlich über dem für heutig gängige Trennpuder liegen.

3.2 Herstellung eines Puders mit passender Partikelgrößenverteilung

Der von den Projektpartnern als für besonders geeignet befundene biologisch abbaubare Kunststoff wird bislang nur als Pulver angeboten, welches an sich zu fein ist, um das erstellte Anforderungsprofil als Trennpuder zu erfüllen. Entsprechend wurde testweise das von Linotech bereitgestellte Ausgangsmaterial wieder granuliert, um es dann für Testversuche auf die gewünschte Partikelgröße zu mahlen. Diese Versuche wurden zunächst bei KSL unter Einsatz von Stiftmühlen durchgeführt. Nach deren Scheitern wurden die Versuche von der TU Freiberg zusammen mit Scholz Recycling fortgeführt. Hierbei wurde eine Schneidmühle des Typs SM200 der Firma Retsch mit einem 2 mm Rost als Zerkleinerungsstufe unter Verwendung von Stickstoffkühlung, also kryogener Versprödung, erprobt. Doch auch diese Versuche zeigten, dass eine Zerkleinerung der Kunststoffgranulate aufgrund des nicht-spröden und zähen Bruchverhaltens des Materials nicht im gewünschten Maß erreicht werden konnte. Das Material wurde selbst unter diesen Bedingungen bereits eher erwärmt als zerkleinert. Der Materialaustrag war bei diesen Versuchen bereits zu gering und eine längere Vermahlung war wegen der Gefahr des Aufschmelzens nicht möglich. Feinere Zerkleinerungsstufen wurden daher nicht weiter getestet.

Für ein entsprechendes Pulver mit gewünschter Partikelgröße müsste daher zunächst ein Produzent des Materials gefunden werden, der diesen Parameter bereits bei der Produktion einzustellen versucht. Dafür sind aber hohe und garantierte Abnahmemengen notwendig, welche zu Projektbeginn nicht gewährleistet werden konnten. Daher wurden die Grundlagentest zunächst mit dem feinen Ausgangsmaterial (in der Folge ATOMIK-Puder bzw. ATOMIK-Pulver genannt) gestartet.

3.3 Applikationstests

Die Puder-Applikationstests wurden bei IfG mit einer Laboranlage (Abbildung 1) durchgeführt. Hierzu wird ein Glas mit einer Größe von 300 x 400 mm auf einen Riemenförderer (im rechten Bereich) gelegt. Nach dem Start des Systems wird das Glas automatisch durch die mittig liegende Puderauftragskabine gefördert und der Puder aufgetragen. Danach bleibt die Scheibe auf dem linken Tisch liegen. Dieser Aufbau entspricht einer typischen Installation in der Glasindustrie, nur die Glasformate sind dort entsprechend größer (siehe Abbildung 2).

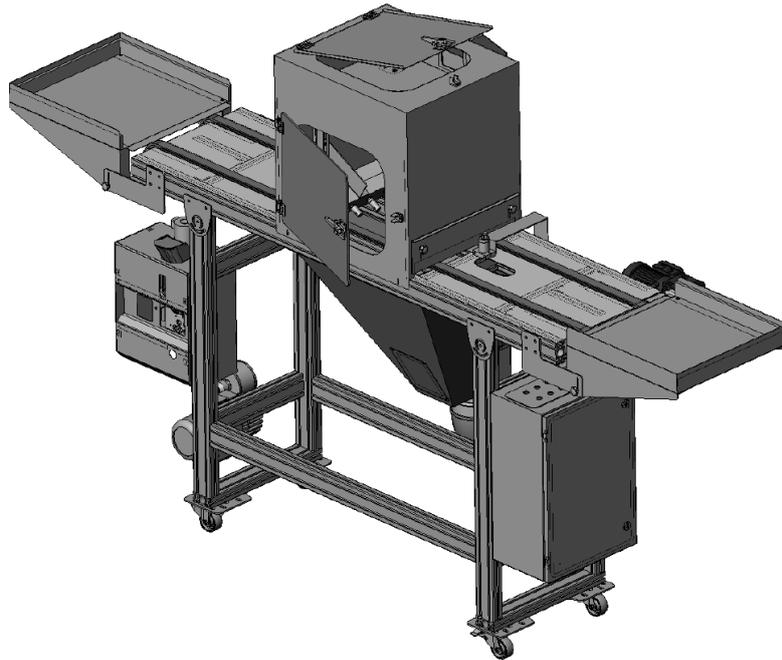


Abbildung 1 Aufbau Laboranlage IfG (Glasscheibe wird im Durchlauf mit Puder/Trennmittel versehen)

Bei den durchgeführten Applikationsversuchen mit dem ATOMIK-Puder zeigte sich eine schlechtere Fließfähigkeit des Materials im Vergleich zu herkömmlichen Glas-Trennpudern. Dies ist auf die höhere Feinheit des getesteten Puders zurückzuführen. Durch den Einsatz von fließverbessernden Additiven (KSL) sowie Anpassungen an der Applikationsanlage (IFG) konnte der Puder jedoch erfolgreich vollautomatisch auf die Glasscheiben aufgebracht werden. Der Puder zeigte dabei eine gewisse Neigung zur Bildung von größeren Agglomeraten. Dies könnte allerdings für die später benötigte Trennwirkung durchaus positive Auswirkungen haben, da dadurch die eigentlich etwas zu geringen Partikelgrößen ausgeglichen werden könnten.



Abbildung 2 IfG Pudersystem mittig auf einer Bühne, Vordergrund Düsenrohr in Einhausung integriert

Bei den Applikationstests zeigte sich zudem eine sehr gute Haftung der Puderpartikel auf der Glasoberfläche. Dafür wurden zusätzliche Versuche durchgeführt, wobei die bepuderten Glasscheiben aus einer definierten Höhe von ca. 10 cm vertikal auf eine ihrer Kanten fallengelassen wurden. Diese Tests simulieren Erschütterungen wie sie auch bei der Glasherstellung und Weiterverarbeitung bei Lagerungs- und Transportprozessen auftreten. Nahezu alle Puderkörner blieben bei diesen Tests auf der Glasoberfläche haften, so dass dieses Kriterium durch den ATOMIK-Puder voll erfüllt wird.



Abbildung 3 Links: Glasscheibe mit appliziertem ATOMIK-Puder; Rechts: Aufbau Falltest

3.4 Transmissionsmessungen – Wechselwirkungen zwischen Puder und Glas

Um Komplikationen bezüglich möglicher, unerwünschter Wechselwirkungen zwischen Polymer und Glasoberfläche auszuschließen, wurden Versuche an der TU Freiberg durchgeführt. Dazu wurden bepuderte Scheiben für 336 h bei 70 °C in 100 % Luftfeuchte gelagert und die Transmission jeweils vor und nach dem Wasserkorrosionstest gemessen. Änderungen der Transmission deuten dabei auf eine stattgefundene Korrosion hin. Je nach Wechselwirkung kann die Transmission in bestimmten Wellenlängenbereichen durch diese besser, mitunter schlechter werden. Abhängig ist dieser Effekt von der Korrosion der Glasoberfläche, die unterschiedlichste Veränderungen in der Glaschemie und in den Eigenschaften des Glases bewirkt. Zum einen Entstehen beim Angriff der Glasoberfläche nicht-lösliche Korrosionsprodukte, welche die Transmission behindern können, andererseits wirken die sich aufbauenden (Delaminations-) Schichten als eine Art Antireflexschicht. Dadurch wird die Reflektion an der Glasoberfläche gemindert und für die Transmission werden höhere Werte gemessen.

Abbildung 4 zeigt den beispielhaften Vergleich zwischen gealterten und nicht gealterten (ungepuderten) Proben, um diesen Sachverhalt zu verdeutlichen. Die gealterten Referenzen weisen eine deutliche Schädigung mit festen, nicht entfernbaren Korrosionsprodukten als Ablagerung nach der Korrosion auf.

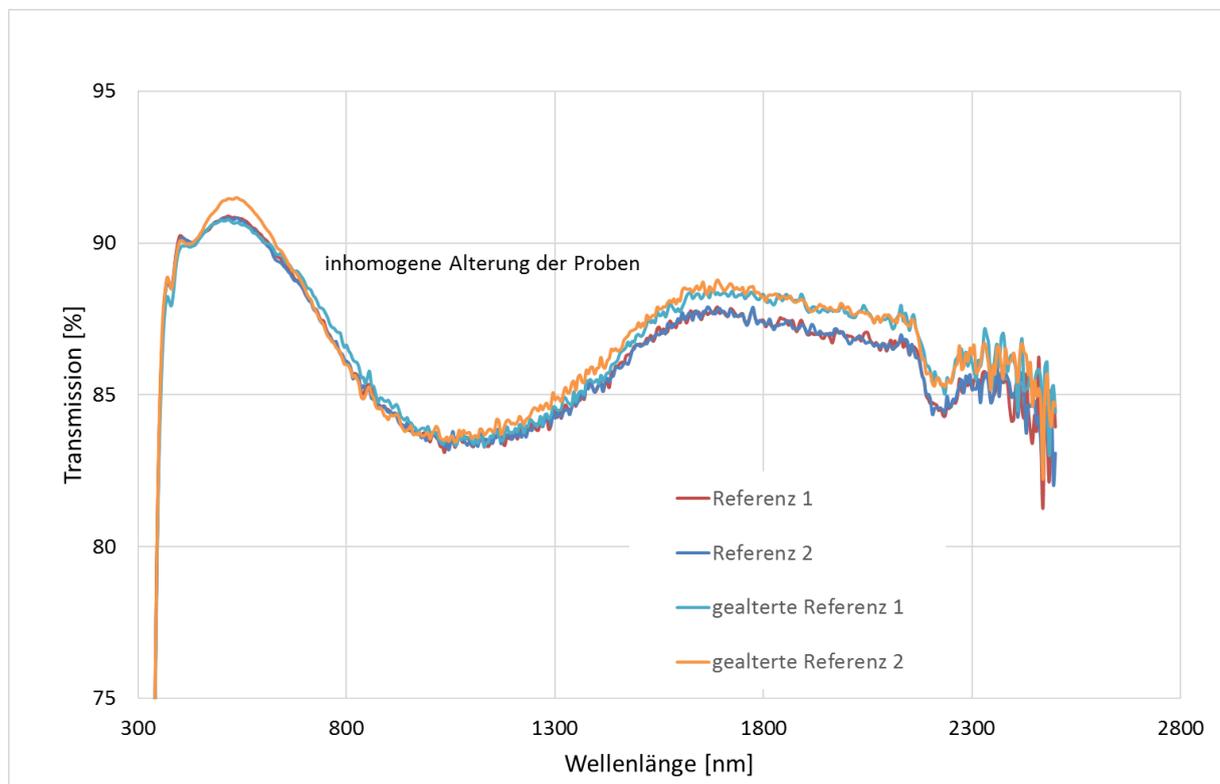


Abbildung 4 Vergleich Referenz zu gealterter Referenz

Die durchgeführten Transmissionsmessungen zeigten in den Vorversuchen eine signifikante Reduzierung der Glaskorrosion, wenn ATOMIK-Pulver als Trennpuder verwendet wurde, was zudem durch den Einsatz von angepassten Trennpudern unter Hinzugabe von korrosionshemmender Adipinsäure weiter verringert werden konnte. Daher einigte man sich darauf drei Trennpuder herzustellen: Ein reines ATOMIK-Trennpuder, ein ATOMIK-Puder mit Adipinsäure und ein ATOMIK-Puder mit Fließmittel und Adipinsäure. Diese wurden danach mit herkömmlichen Trennpudern verglichen.

3.5 Glaskorrosion bei Verwendung des Trennpuders

Es galt zu prüfen, ob der Einsatz des entwickelten Trennpuders eine geringere oder höhere Glaskorrosion verursacht im Vergleich zu herkömmlichen Mikroplastikpudern. Je nach Anwendung und Umweltbedingungen (v.a. Temperatur und Luftfeuchtigkeit) werden derzeit Trennpuder mit und ohne Korrosionsinhibitoren eingesetzt.

Folgender Versuchsaufbau wurde gewählt:

- 66*66 mm Scheiben, gereinigt, nach Zinnseite sortiert;
- Transmissionsmessung vor Alterung;
- Puder appliziert (über ein 100 µm - Sieb) und senkrecht leicht angetippt (um überschüssiges Material zu entfernen).
- Insgesamt 25 Scheiben:
 - o 5 Scheiben ohne Puder (Referenz),
 - o 5 Scheiben mit ATOMIK-Puder ohne Adipinsäure (AOA),
 - o 5 Scheiben mit ATOMIK-Puder mit Adipinsäure (AMA),
 - o 5 Scheiben mit Vergleichspuder (= PMMA) ohne Adipinsäure (VOA),
 - o 5 Scheiben mit Vergleichspuder mit Adipinsäure (VMA).
- Stapelung in Becherglas nach Bepuderung Opferscheibe-1-2-3-4-5-Opferscheibe,
- 100 ml dest. Wasser als Wassersumpf,
- 2 Wochen bei 70 °C,
- erneute Transmissionsmessung.

Beachtet werden muss, dass die Scheiben übereinander gelagert sind. Das heißt, bei den Referenzen liegen die Scheiben fast plan aufeinander, während bei denen mit Trennpudern eine Zwischenschicht existiert. Die Korrosion bei den Referenzen ist entsprechend leicht anders als bei den Scheiben mit aufgebrachtem Trennpuder zu erwarten. Erkennbar ist dies auch an den Transmissionskurven, die Bereiche erhöhter bzw. erniedrigter Transmission sind

unterschiedlich. Entsprechend ist der Vergleich der Scheiben mit den ungealterten Referenzwerten aussagekräftiger als der Vergleich mit gealterten Referenzen.

Abbildung 5 zeigt den Vergleich der Transmissionen. Erkennbar ist eine deutliche Veränderung der Transmission bei den herkömmlichen Vergleichspulvern ohne Adipinsäure, die Veränderungen der ATOMIK-Pulver ähneln dagegen den Werten des Vergleichspulvers mit Adipinsäure.

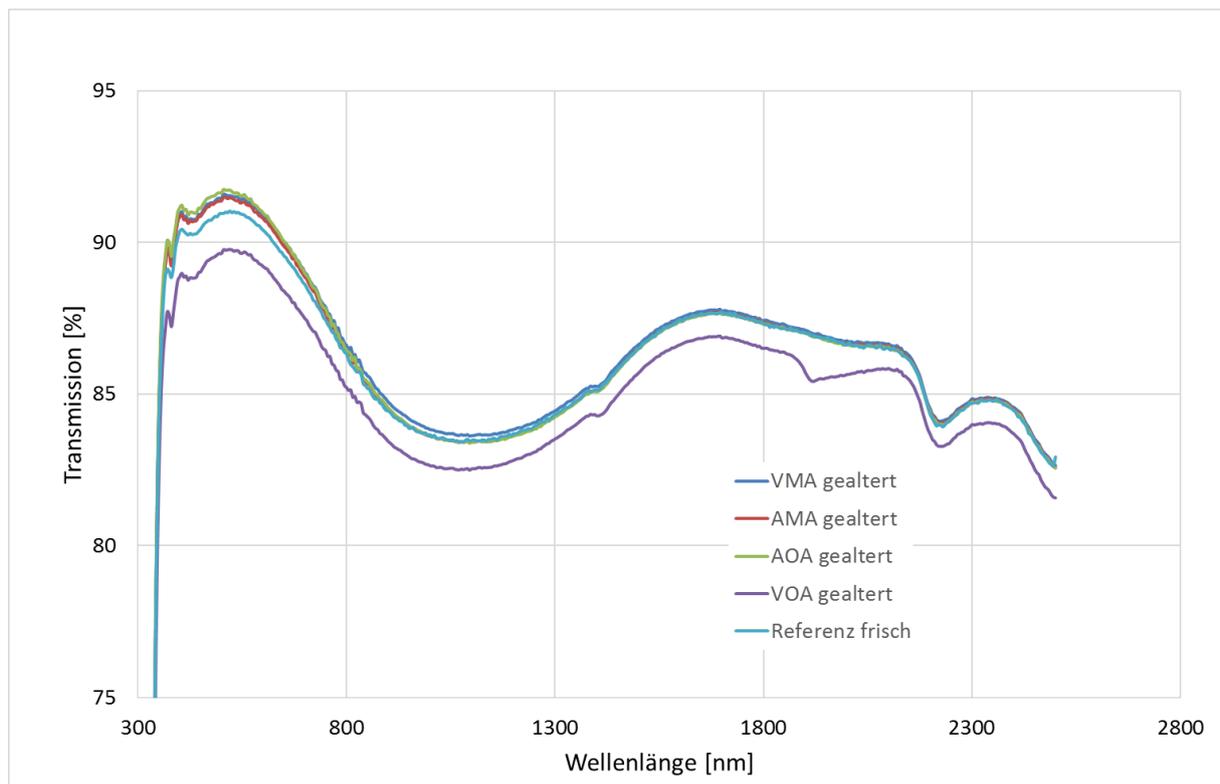


Abbildung 5 Vergleich der Transmissionsänderung durch Korrosion bei Einsatz von herkömmlichem Trennpuder gegenüber ATOMIK-Pulver

Aussagekräftiger ist der direkte Vergleich zwischen ATOMIK-Pulver und Vergleichspulver (also mit herkömmlichem Mikroplastik). Abbildung 6 (PMMA) und Abbildung 7 (ATOMIK) zeigen die Verläufe von frischen und gealterten Proben ohne Verwendung von Adipinsäure. Deutlich erkennbar ist die wesentlich geringere Veränderung der Transmission bei ATOMIK-Pulvern durch die Alterung. Wird dem Vergleichspulver Adipinsäure zugegeben, verringert sich die Transmissionsänderung deutlich (Abbildung 8). Auch bei ATOMIK-Pudern ist nochmals eine leichte Verbesserung zu beobachten, wobei die Ausgangsbeständigkeit mit dem Trennpuder bereits deutlich besser war (Abbildung 9)

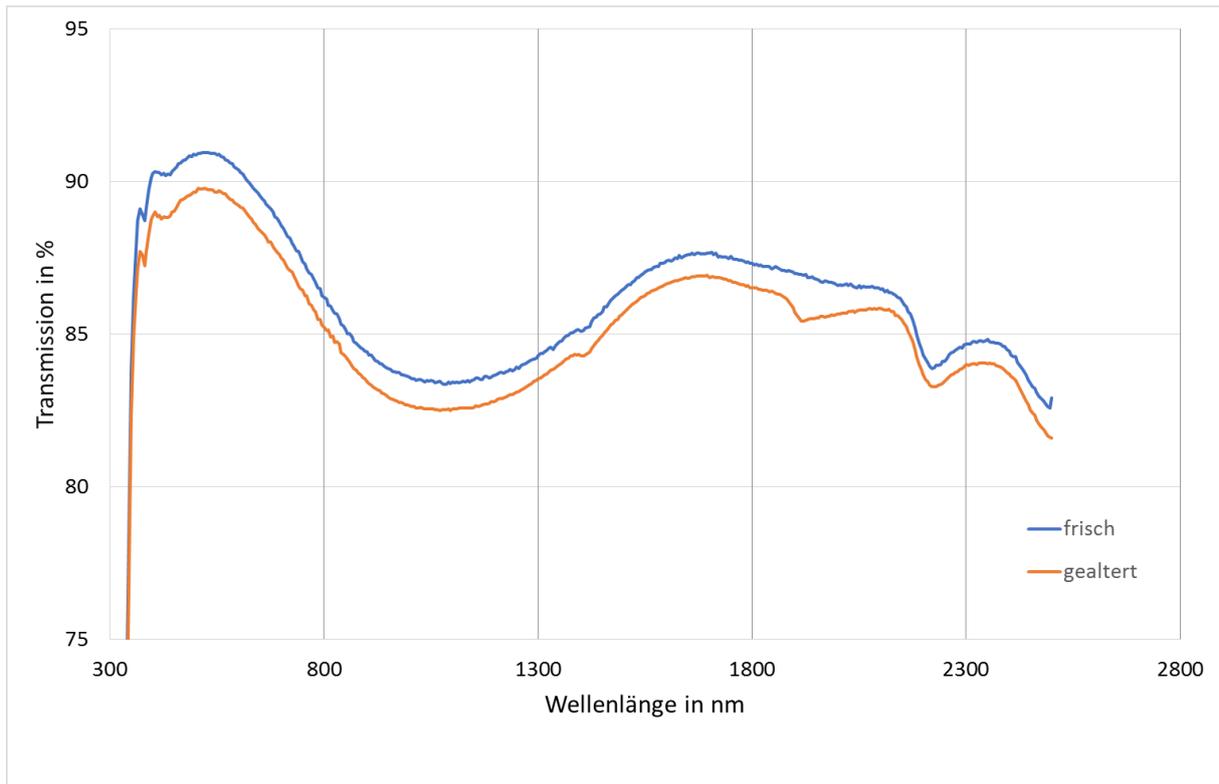


Abbildung 6 Vergleichspulver ohne Adipinsäure (VOA)

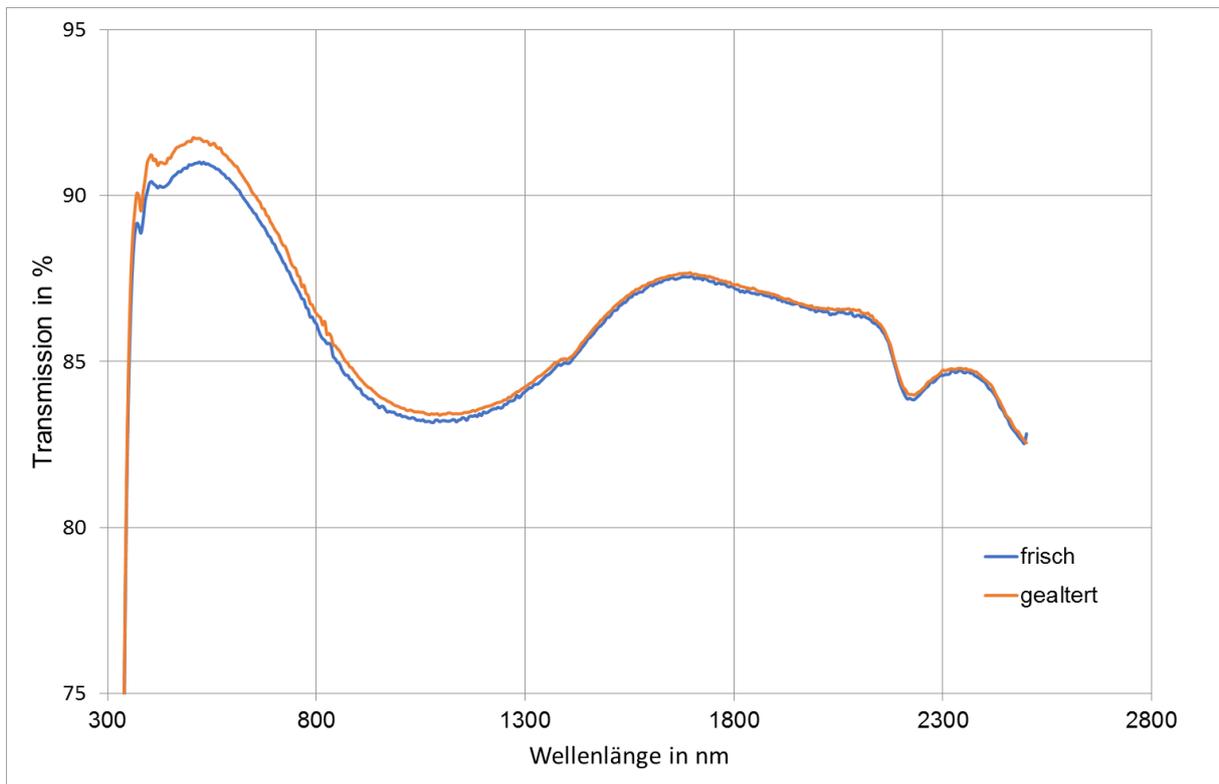


Abbildung 7 ATOMIK-Pulver ohne Adipinsäure (AOA)

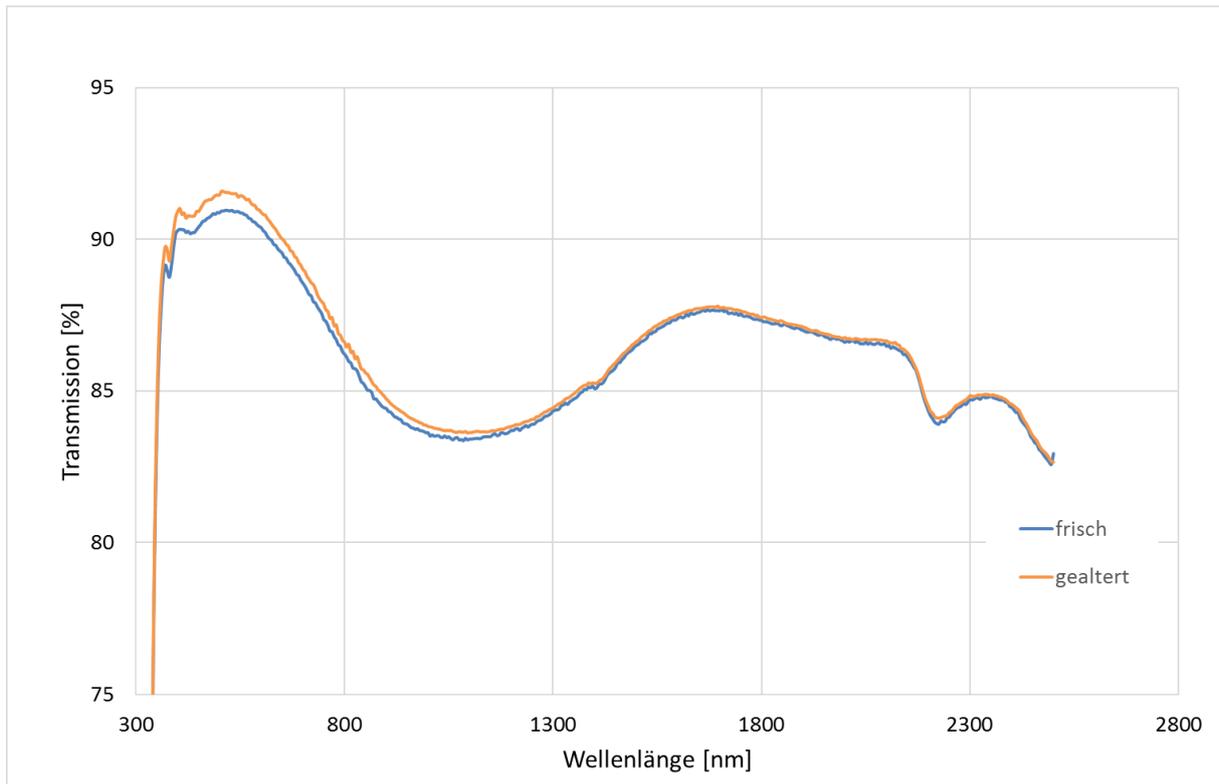


Abbildung 8 Vergleichspulver mit Adipinsäure (VMA)

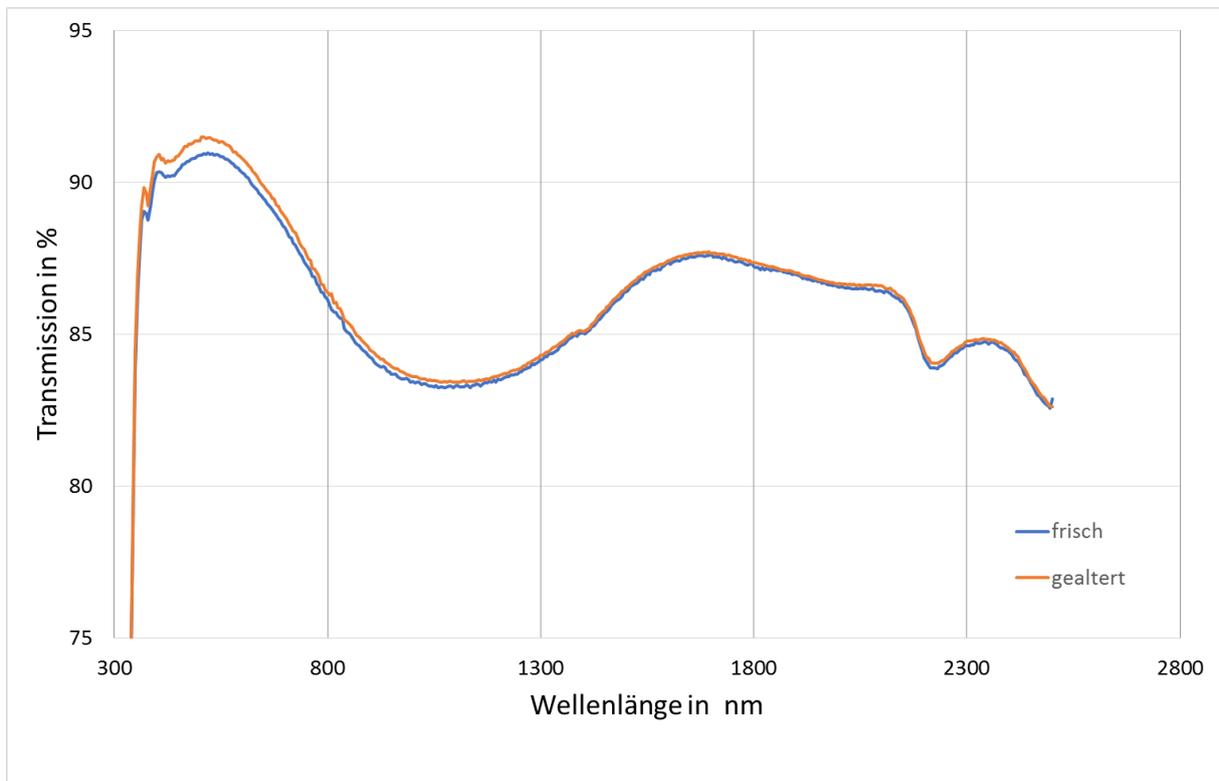


Abbildung 9 ATOMIK-Pulver mit Adipinsäure (AMA)

Es gilt weiterhin anzumerken, dass bei manchen Referenzen die Scheiben direkt aneinander klebten, weshalb einige Proben davon nicht ausgewertet werden konnten. Auf den

Referenzglasscheiben und den Scheiben, die mit Vergleichspulvern ohne Adipinsäure (VOA) getrennt wurden, waren zudem direkte Ablagerungen von Korrosionsprodukten sichtbar. Dies wurde bei mit ATOMIK-Pudern getrennten Scheiben nicht beobachtet. Die Ergebnisse der Tests versprechen daher bei der Verwendung von ATOMIK-Trennpudern eine geringere Glaskorrosion.

Der positive Effekt, dass im direkten Vergleich das ATOMIK-Pulver bereits ohne Adipinsäure besser abschneidet als herkömmliches Trennpuder, lässt sich allerdings womöglich nicht direkt auf das verwendete Material zurückführen, da dieses im Korrosionsprozess neutral sein sollte. Denkbar ist ein günstigeres Abstandsprofil zwischen den Scheiben dank veränderter Partikelgrößen des Trennpuders. Trotzdem könnte damit der Einsatz von Adipinsäure erst bei schlechteren Lagerbedingungen notwendig werden.

3.6 Biodegradierbarkeit

Die Abbaubarkeit im Milieu des Abwassers bzw. im Schleifschlamm ist die wichtigste Neuerung im Vergleich zu herkömmlichen Trennpulvern. Um dies möglichst praxisnah zu demonstrieren, entschied man sich, das ATOMIK-Pulver mit Glasschleifschlamm zu mischen und den Abbauprozess zu beobachten. Schleifschlämme fallen bei Glasverarbeitern in unterschiedlichen Mengen an, jedoch gibt es in Deutschland kein einheitliches Abwasserreinigungskonzept für Schleifereien. Größere Hersteller verfügen in der Regel über ein Filtrationsverfahren zur Abtrennung des feinen Pulvers, bei dem große Brocken eines ausgepressten Filterkuchens anfallen, während kleinere Betriebe den anfallenden Schlamm meist einfach in einem Absetzbecken abtrennen. Allen gemeinsam ist eine basische Umgebung, in der sich der größte Teil des Trennpulvers befindet. Für den Test wurde beschlossen, flockungsmittelfreies Glaspulver zu verwenden, da der Großteil des Glaspulvers ohne Flockungsmittel anfällt. Abbildung 10 zeigt die Mischung der beiden Pulver, wobei das Polymer in größeren Mengen (verglichen mit tatsächlichen Mischverhältnissen) zugesetzt wurde, um Veränderungen besser erkennen zu können. Das Gemisch bestand aus einem Verhältnis von 4,6 g ATOMIK-Pulver zu 10,2 g Glaspulver.



Abbildung 10 Mischung ATOMIK-Pulver/Glaspulver

Zunächst wurde nach einem Behälter gesucht, der die folgenden Anforderungen erfüllt:

- Kein Austreten des Pulvers in den Kompost,
- Kein Eindringen des Komposts in das Pulver,
- Bakterien und Wasser können in das Pulver eindringen,
- Durchdringung von zersetztem Polymer möglich.

Erste Versuche mit feinmaschigen Beuteln (Plastik-Teebeutel) zeigten, dass das Pulver dafür zu fein war. Daher wurde ein Wellplatten-Insert (kleine Kunststoffbehälter mit 0,4 µm Membran an der Unterseite) verwendet, der dann mit Kompost im Kunststoffteebeutel abgedeckt wurde (so dass das Kompostmaterial nicht von oben eindringen konnte), und es fand keine Vermischung mit dem Boden statt, siehe Abbildung 11.



Abbildung 11 Wellplatten Insert in Versuchsbeutel/Erdabdeckung (aus Kompostierwerk)

Der Kompostierversuch startete am 19.01.2022, eine erste Entnahme erfolgte am 24.03.2022, eine zweite am 29.04.2022 und die letzte am 30.05.2022. Abbildung 12 zeigt die entnommenen Proben.



Abbildung 12 Entnommene Proben (die bräunliche Verfärbung ganz rechts kommt von der Durchdringung der flüssigen Komponenten im Kompost)

Die entnommenen Proben wurden anschließend mit einem Rasterelektronen-Mikroskop (REM) analysiert. Abbildung 13 zeigt zunächst die REM-Aufnahmen der Ausgangsmaterialien (ATOMIK-Pulver und Glasschleifstaub) vor Beginn des Kompostierversuchs.

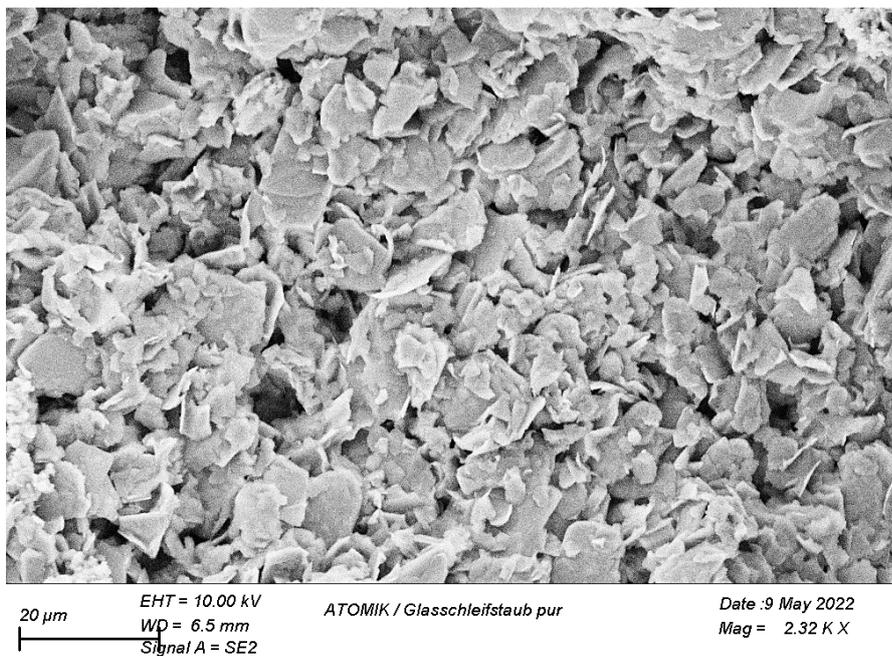
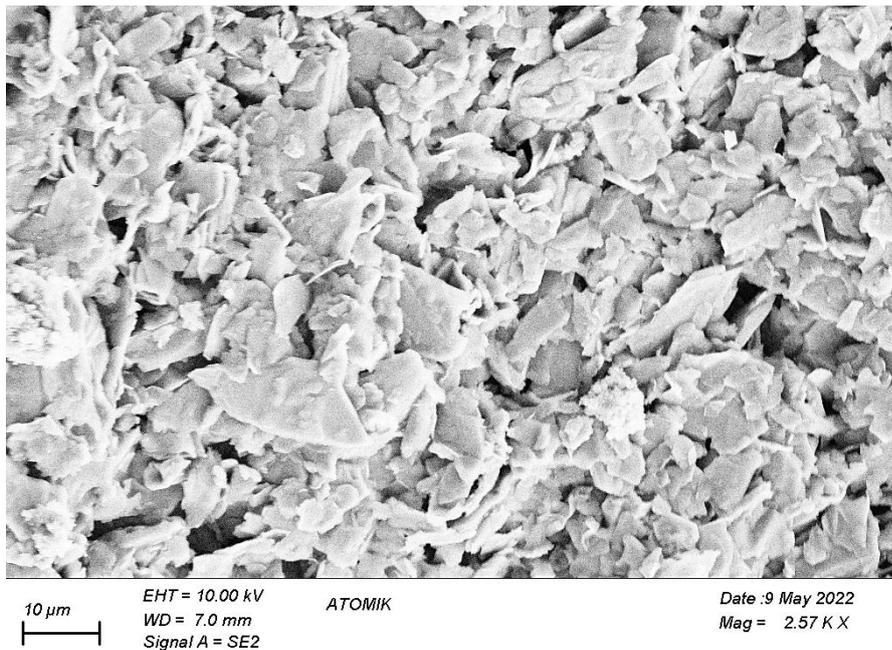


Abbildung 13 REM: reines ATOMIK-Pulver (oben), reines Glasschleifpulver (unten)

In beiden Abbildungen ist jeweils eine „plättchenförmige“ Struktur der beiden Materialien erkennbar. Im Originalzustand lässt sich im Gemisch, aufgrund ihrer Ähnlichkeit, daher kaum unterscheiden, ob es sich um Glaspulver oder ATOMIK-Pulver handelt.

In Abbildung 12 ist eine deutliche Abnahme des Materials über die Kompostierdauer von 2 Monaten zu erkennen, welche sich auch in den nachfolgenden REM-Aufnahmen widerspiegelt. Ab diesem Zeitraum erkennt man im Materialgemisch (ATOMIK-Pulver und

Glaspulver) auch die unterschiedlichen Materialien. Zu erkennen ist eine Verkleinerung und eine Formveränderung der Trennpulverpartikel (Partikel werden runder und kleiner, siehe Abbildung 14, ganz rechts) sowie ein Verbleiben der Glaspartikel. (Abbildung 14 ganz links und in der Mitte).

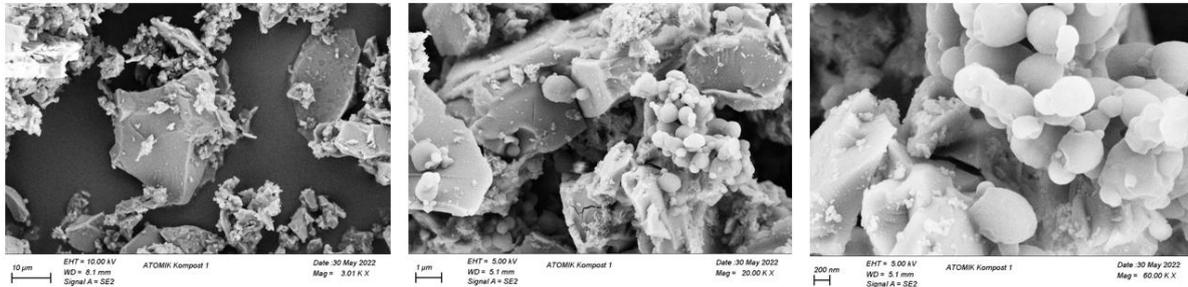


Abbildung 14 REM-Aufnahme nach ca. 2 Monaten Kompostierung (24.3.22)

In Abbildung 15 zeigt sich dass, nach einem weiteren Monat der Kompostierung, die Partikeldurchmesser des ATOMIK-Pulvers weiter abgenommen haben und der Glasscheifstaub inzwischen dominiert.

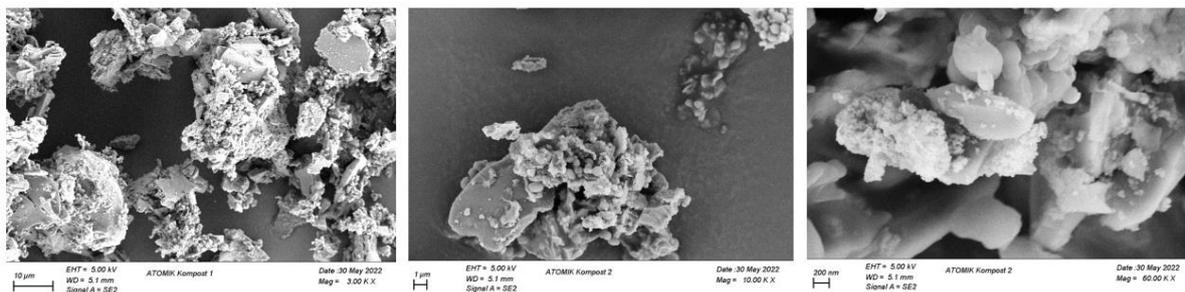


Abbildung 15 REM-Aufnahme nach ca. 3 Monaten Kompostierung (29.4.22)

Die letzte REM-Aufnahme in Abbildung 16 zeigt nach etwa 4 Monaten Kompostierung, dass die Partikeldurchmesser des ATOMIK-Pulvers mittlerweile kleiner als der Membran Durchlass sind.

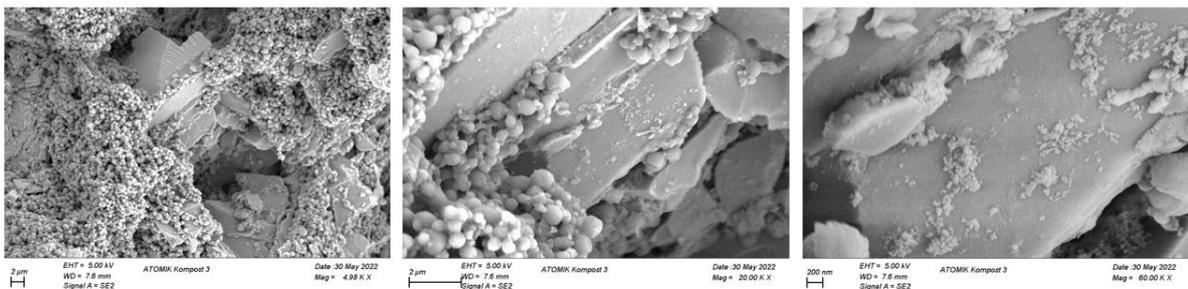


Abbildung 16 REM-Aufnahme nach ca. 4 Monaten Kompostierung (30.5.22)

Zusammenfassend kann man sagen, dass sich die Masse des Materialgemisches signifikant verringert. Das wird nicht nur in Abbildung 12 deutlich, sondern bestätigt sich auch nochmals in den REM-Untersuchungen (Abbildung 13 bis Abbildung 16). Damit ist der gewünschte Nachweis der Abbaubarkeit im Milieu erbracht.

Momentan wird der Glasschleifschlamm, sei es vom Absetzbecken oder von den Filteranlagen, deponiert. Aus dem Vorprojekt „Correcon“ am IGT ist bekannt, dass Firmen, in denen größere Mengen Schleifschlamm anfallen, diesen meist längerfristig sammeln und gesondert bis zur Entsorgung zwischenlagern. Es ist zu erwarten, dass in der Regel diese Zeit bis zur tatsächlichen Entsorgung dafür ausreicht, dass sich ein Großteil der Partikel zersetzt hat. Dies wird in Zukunft einen wertvollen Beitrag zur Nachhaltigkeit darstellen.

Fazit

Im Rahmen des Projekts konnte gezeigt werden, dass es möglich ist einen Trennpuder herzustellen, welcher Glasscheiben für Lagerung und Transport trennt und am Emissionsort abgebaut werden kann. Ein Trennpuder auf Basis eines biologisch abbaubaren Polymers wurde entwickelt, seine Applikation, die Abbaubarkeit und sein Einfluss auf die Glaskorrosion getestet.

Es stellte sich heraus, dass aktuell kein biologisch abbaubares Polymerpulver erhältlich ist, welches die aktuell eingesetzten Partikelgrößen von herkömmlichen Trennpudern aufweist. Es wurde geprüft, ob ein Granulieren mit anschließender Vermahlung von biologisch abbaubaren ATOMIK-Pudern im kleinen Maßstab technisch realisierbar ist. Es zeigte sich jedoch, dass dieses Vorgehen weder wirtschaftlich noch technisch in erforderlichen Durchsatzmengen möglich ist.

Dementsprechend wurden die weiterführenden Versuche mit potenziell zu feinem Pulver durchgeführt. Es zeigte sich, dass mit den erhältlichen Partikelgrößen ein Puderauftrag möglich und eine gute Haftung auf der Glasoberfläche gegeben ist. Sollte eine Produktentwicklung angestrebt werden und ein Bedarf an größerem ATOMIK-Pulver bestehen, sollte hierzu mit Produzenten des biodegradierbaren Kunststoffes besprochen werden, ob eine passende Siebstufe bzw. Mahlfeinheit bereits im Herstellungsprozess ermöglicht werden kann.

Versuche zur Abbaubarkeit des entwickelten Trennpuders konnten zeigen, dass sich der Puder in Mischung mit Glasschleifschlamm unter wässriger Umgebung auflöst. Die Untersuchungen am Fraunhofer ISC zeigten, dass sich von der Eingangsmenge nach 4 Monaten Kompostierung das meiste Kunststoffmaterial biologisch zersetzt hatte. Da Schleifschlamm meist getrennt entsorgt wird, sollte geprüft werden, ob eine Impfung der Container notwendig ist, da eine Erdaabdeckung wie in den Versuchen zur Kompostierung erst in der Deponierung geschieht. Letzteres wäre bei reiner Entsorgung kein Problem, aber ein Ziel sollte es sein, Glasschleifschlamm, vor allem da er in so hohen Mengen anfällt, wieder zu recyceln. Ein Vorteil bei der Verwendung von abbaubaren Trennpudern wäre die Minimierung von Verunreinigungen des Schleifschlammes. Hierzu müssten bei Verwendung solcher Trennpuder

geprüft werden, inwiefern sich die Recyclbarkeit verbessert. Da bislang alle Vorkommen der Schleifschlämme verunreinigt sind, kann dazu noch keine Auskunft getroffen werden, was allerdings auch nicht Bestandteil dieses Projekts war. Das IGT wird dazu weitere Untersuchungen tätigen.

Untersuchungen zur Glaskorrosion konnten zeigen, dass der Trennpuder keinen negativen Einfluss auf die Glasoberfläche bei Wasserangriff hat und in Kombination mit Adipinsäure genutzt werden kann, um die Korrosion weiter zu reduzieren. Ein Vergleich zu herkömmlichem Trennpuder zeigte dahingehend, dass bei Einsatz von ATOMIK-Trennpuder geringere Transmissionsänderungen auftraten, heißt die Glasscheiben weniger angegriffen wurden. Dieser positive Effekt lässt sich jedoch vermutlich nicht direkt auf den Einsatz von biodegradierbaren Partikeln zurückführen, wahrscheinlich ist eine bessere Trennwirkung oder Veränderung des Wasserangriffs durch die anderen Partikelgrößen ausschlaggebend.

Eine Durchführung von Industrierversuchen ist geplant. Nach deren Auswertung wird über das weitere Vorgehen entschieden wird.