



Forschungsbericht:

Bewertung der Rezyklierbarkeit:
Wiederverarbeitbarkeit von
aluminiumbeschichteten
Polypropylen-Folien

Roman Wurz, BSc, und Dr. Christoph Burgstaller

Transfercenter für Kunststofftechnik GmbH

Dezember 2021

Einleitung

Kunststofffolien werden in unterschiedlichsten Anwendungen eingesetzt, etwa in Verpackungen, im Baubereich oder in Elektronikanwendungen. Oft werden diese Folien bei Anwendung in Etiketten modifiziert, etwa durch Beschichtungen oder Bedrucken, um diesen zusätzliche Funktionalität zu verleihen. Hier stellt sich aber die Frage, ob solche Folien dann recycelt werden können, also ob diese als post-industrial-Material (sprich als Produktionsabfall wie etwa Randbeschnitte) wieder so aufbereitet werden können, dass diese Folien wieder zu einem Rezyklat bzw. zu Folien mit ausreichender Qualität aufbereitet werden können.

Daher war es das Ziel dieser Arbeit, die Wiederverarbeitbarkeit von aluminiumbeschichteten und mit Topcoat beschichteten Polypropylen-Folien zu untersuchen. Um dies zu untersuchen wurde ein solches Material wieder aufbereitet und zu Folien extrudiert und es wurden die Eigenschaften dieser Folien untersucht. Die zusammengefassten Ergebnisse finden sich auf den folgenden Seiten.

Diese Arbeit wurde am TCKT von Roman Wurz im Rahmen eines Masterarbeitsprojekts im Zeitraum von Oktober bis Dezember 2021 durchgeführt und wurde von HUECK FOLIEN GmbH finanziell und durch die Beistellung der Folien unterstützt.

Experimentelles

Für die Überprüfung der Wiederverarbeitbarkeit wurden von HUECK FOLIEN GmbH drei unterschiedliche Folienvarianten zur Verfügung gestellt. Diese waren eine unbeschichtete PP-Folie, eine mit Aluminium beschichtete und eine, bei der die Aluminiumbeschichtung noch zusätzlich mit einem bedruckbaren Topcoat versehen war.

Diese Folien wurden zuerst mittels Shredder (langsamlaufende Schneidmühle) auf etwa 5 mm große Flakes zerkleinert. Im Anschluss wurden diese Flakes mittels Laborcompounder (gleichlaufender Doppelschneckenextruder) in einem Temperaturbereich von etwa 215 °C zu Granulaten verarbeitet. In einem weiteren Schritt wurden dann bei einem Teil der Materialien, welche Aluminium enthalten, ein Stabilisator (Metalldeaktivator) zugesetzt, um eine allfällige Beschleunigung des Abbaus des Polymers durch das Aluminium in der später folgenden Wärmelagerung zu unterbinden.

Aus den so hergestellten Granulaten (PP, PP mit Aluminium und PP mit Aluminium und Topcoat, die letzten beiden zusätzlich auch mit Metalldeaktivator MD) wurden mittels Flachfolienanlage bei etwa 240 °C Folien mit einer Dicke von ca. 70 µm extrudiert.

Aus diesen Folien wurden Streifen geschnitten, und mittels Folienzugversuch (ISO 527-3) und Weiterreißversuch vor und nach der Alterung charakterisiert (je 5 Prüfkörper). Ebenso wurden die Folien optisch beurteilt, bzw. wurde die Farbänderung mittels Farbmessgerät (Lab-Farbraum) gemessen.

Die Folien wurden unterschiedliche lange bei 100°C im Umluftwärmeschrank gealtert. Die gewählten Zeiten (0, 7, 21 und 35 d) entsprechen mehr als 10 Jahren Lagerung bei Raumtemperatur (abgeschätzt mittels Arrhenius-Ansatz aus der Temperaturdifferenz

zwischen Raum- und Lagertemperatur), um hier auch allfällige Effekte auf die Langlebigkeit solcher Folien abschätzen zu können.

Ergebnisse

Im Folgenden sind ausgewählte Ergebnisse aus den Untersuchungen der wiederverarbeiteten Folien kompakt dargestellt. In Abbildung 1 sind die Ergebnisse der mechanischen Charakterisierung dargestellt. Anhand der Werte der ungelagerten Folien (0 d) ist zu sehen, dass das Vorhandensein von Aluminium bzw. von Aluminium und einem Topcoat auf den Folien keinen signifikanten Einfluss auf die Streckgrenze der Folien aufweist. Dies liegt wahrscheinlich auch an der geringen Menge an Aluminium, welches vor der Verarbeitung auf der Folie vorhanden ist – die Beschichtung weist etwa 40 nm Aluminium auf einer etwa 50 µm dicken PP-Folie auf.

Durch die Lagerung erhöht sich die Streckgrenze anfänglich (nach 7 d) und bleibt dann auf einem Niveau. Die Erhöhung ist aufgrund unserer Erfahrung wahrscheinlich durch die Nachkristallisation bedingt. Der Zusatz eines Stabilisators war in diesem Fall nicht notwendig, da die Anwesenheit von Aluminium keinen Einfluss auf das Alterungsverhalten der unterschiedlichen Folien zeigt. Die Abweichungen liegen alle im Bereich der Streubreite der Prüfungen.

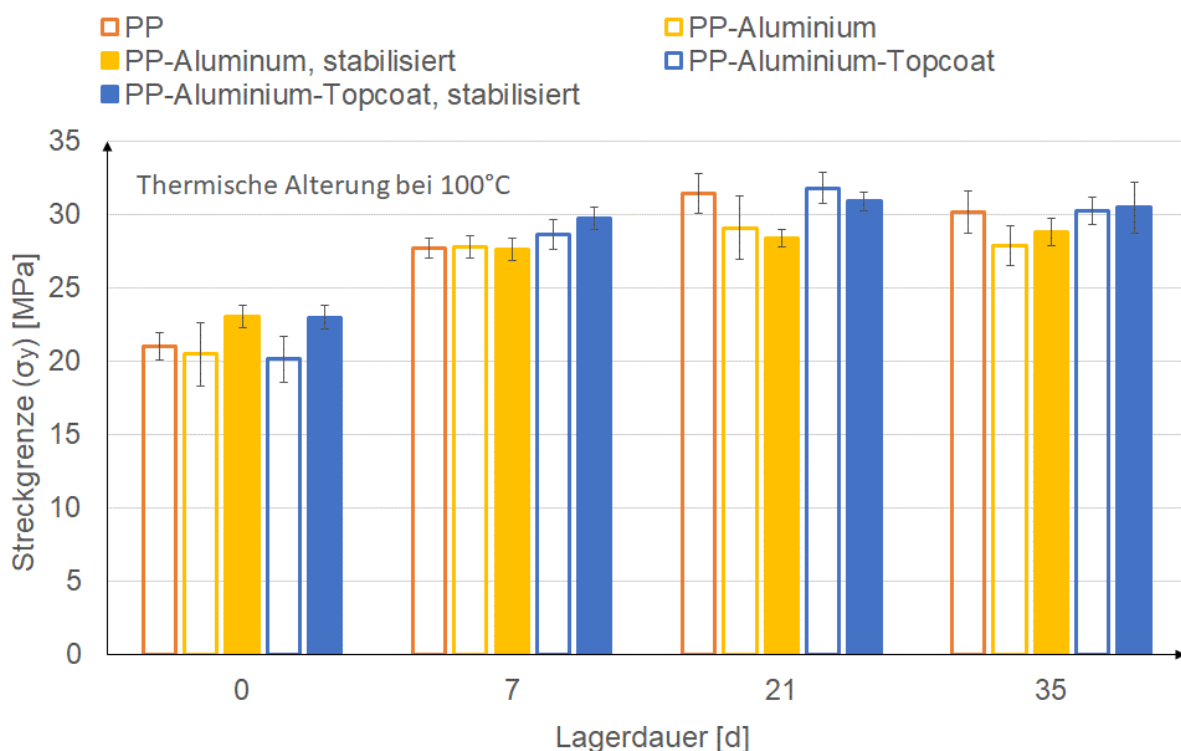


Abbildung 1: Streckgrenze der unterschiedlichen Folienrezepturen im Ausgangszustand (0 d) und nach unterschiedlichen Lagerdauern im Umluftofen bei 100°C

Für die Streckdehnung (Abbildung 2) sind vergleichbare Effekte zu beobachten. Der Unterschied zwischen den Folien ist gering, und nach einer anfänglichen Erhöhung der Dehnung während der Lagerung bleiben die Werte etwa auf dem Niveau. Was hier auffällt ist, dass die Ergebnisse im Vergleich zur Streckgrenze wesentlich größere Streubreiten

aufweisen. Dies ist höchstwahrscheinlich auf die im Material vorhandenen Stippen (Abbildung 3) zurückzuführen, da diese während der Prüfung Schwachstellen darstellen und an diesen Punkten dann die Dehnung durch diese Schwachstellen limitiert ist.

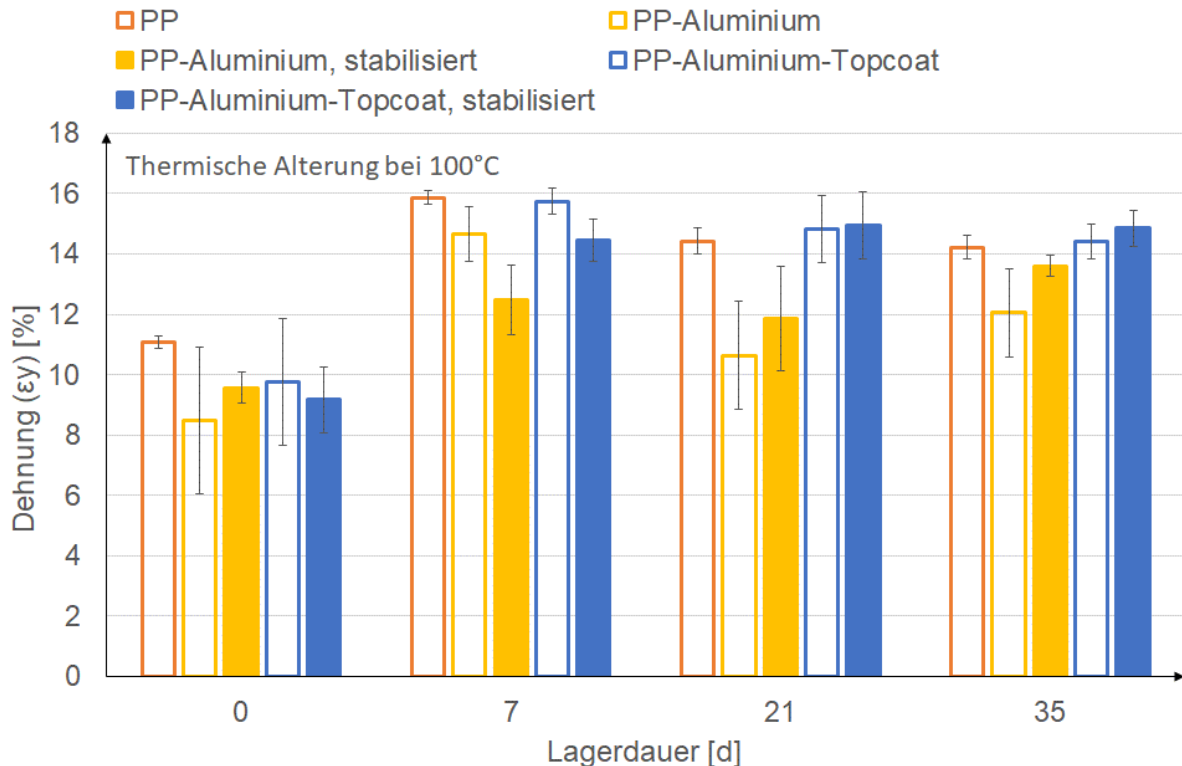


Abbildung 2: Streckdehnung der unterschiedlichen Folienrezepturen im Ausgangszustand (0 d) und nach unterschiedlichen Lagerdauern im Umluftofen bei 100°C

Die optische Qualität der Folien ist in Abbildung 3 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Anwesenheit von Aluminium hier für ein Auftreten von größeren Stippen sorgt. Diese sind höchstwahrscheinlich durch den in diesen Untersuchungen angewandten Prozess bedingt, da durch die geringe Schüttdichte die Dosierung der Folien in den Doppelschneckenextruder schwierig ist, und daher das Verhältnis zwischen Materialzufuhr und Scherung nicht optimal ist. Es wurde in diesem Prozess auch kein Schmelzefilter eingesetzt, welcher sicherlich eine Verbesserung der Qualität – zumindest in einem gewissen Ausmaß – bedingt hätte, allerdings wurde das Setup so einfach als möglich gewählt, um allfällige Einflüsse der Aluminiumbeschichtung auf das Recycling zu ermitteln.

Die Stippen in den Folien, welche Aluminium enthalten, sind alle in der Größe (bis max. 0,7 mm) und der Anzahl in etwa gleich, d.h. die Anwesenheit eines Topcoats oder der Zusatz des Stabilisators beeinflusst die Stippenbildung hier nicht.



Abbildung 3: Optische Erscheinung der unterschiedlichen Folienrezepturen im Ausgangszustand (Durchlichtaufnahmen am Leuchttisch)

Ein weiterer mechanischer Kennwert für die Qualität von Folien ist die Weiterreißfestigkeit. Diese ist in Abbildung 4 dargestellt und zeigt im Ausgangszustand, dass jene Folien, welche Aluminium enthalten, etwas geringere Werte aufweisen als jene für die Folie ohne Aluminium. Allerdings ist hier zu berücksichtigen, dass die Werte bei dieser Prüfung naturgemäß eine höhere Streuung aufweisen, weswegen immer die Bruchbilder ebenso bewertet werden müssen. Diese (Abbildung 5) zeigen keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Materialien bei der jeweils gleichen Lagerdauer. Zu Beginn ist der Riss wellig, was auf eine höhere Energieaufnahme schließen lässt, die auch in den Zahlenwerten so gesehen wird. Durch die Lagerung (und den eintretenden Kristallisationseffekt) wird der Riß glatter, wodurch die Werte geringer werden, aber auch die Unterschiede zwischen der verschiedenen Rezepturen verschwinden.

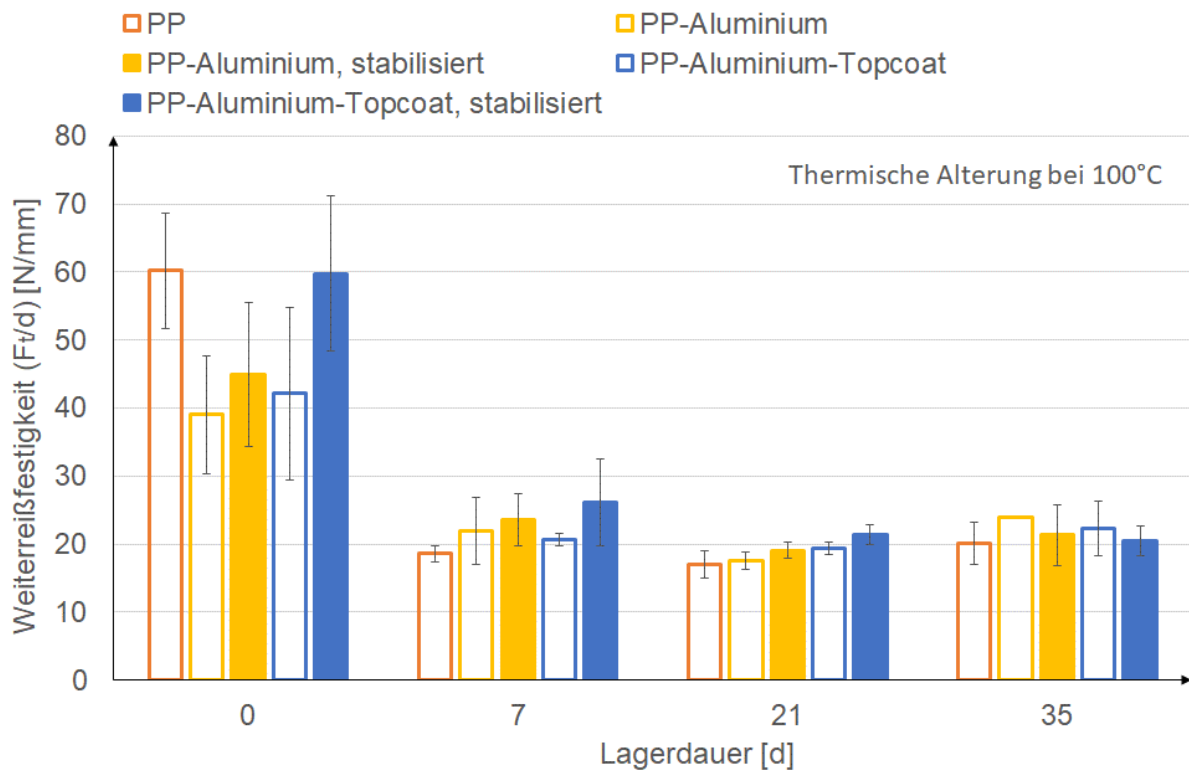


Abbildung 4: Weiterreißfestigkeit der unterschiedlichen Folienrezepturen im Ausgangszustand (0 d) und nach unterschiedlichen Lagerdauern im Umluftofen bei 100°C

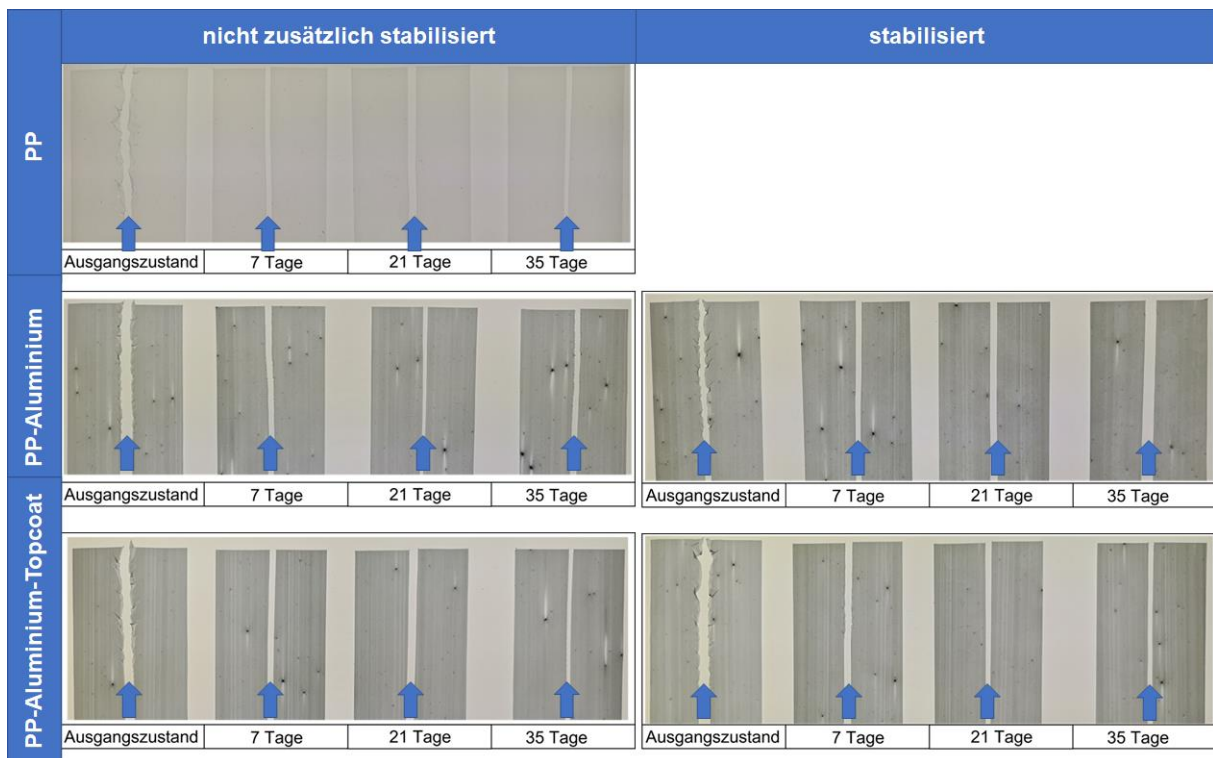


Abbildung 5: Proben nach der Weiterreißfestigkeitsprüfung der unterschiedlichen Folienrezepturen im Ausgangszustand (0 d) und nach unterschiedlichen Lagerdauern im Umluftofen bei 100°C (Pfeil markiert Beginn & Richtung des Risses)

Zusätzlich wurden auch die Änderungen in der optischen Erscheinung der Proben mittels Farbmessung (Lab-Farbraum) untersucht. Es zeigte sich in den Farbwerten de facto kein Unterschied über die Lagerdauer, etwa im b-Wert (Farbachse blau-gelb, kann vereinfacht als Maß für die Vergilbung herangezogen werden) ist die Änderung kleiner 1. Der Unterschied, welcher am größten zu Tage tritt ist jener in der Opazität (das Gegenteil der Transparenz, Abbildung 6), welche bei den Folien ohne Aluminium wesentlich geringer ist als bei jenen mit Aluminiumbeschichtung. Über die Lagerdauer sind die Änderungen allerdings wiederum vernachlässigbar.

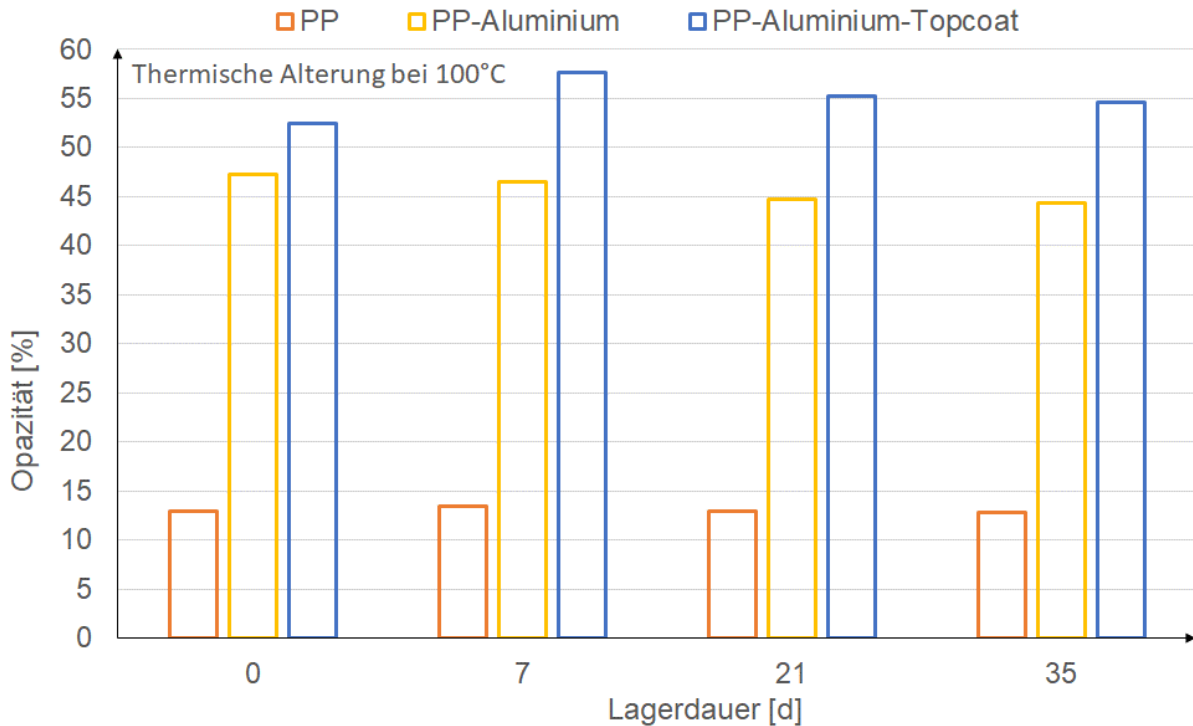


Abbildung 6: Opazität der unterschiedlichen Folienrezepturen ohne Stabilisatoren im Ausgangszustand (0 d) und nach unterschiedlichen Lagerdauern im Umluftofen bei 100°C

Eine mögliche Abhilfe für die Verfärbung wäre das Oxidieren des Aluminiums an der Oberfläche, etwa mit Natriumhypochlorit. Wird dies auf die Folie aufgebracht, dann wird das Aluminium oxidiert, womit auch die metallische Farbe verschwindet, wie in Abbildung 7 anhand eines Eintauchversuchs mit den Folien im Anlieferungszustand dargestellt ist.

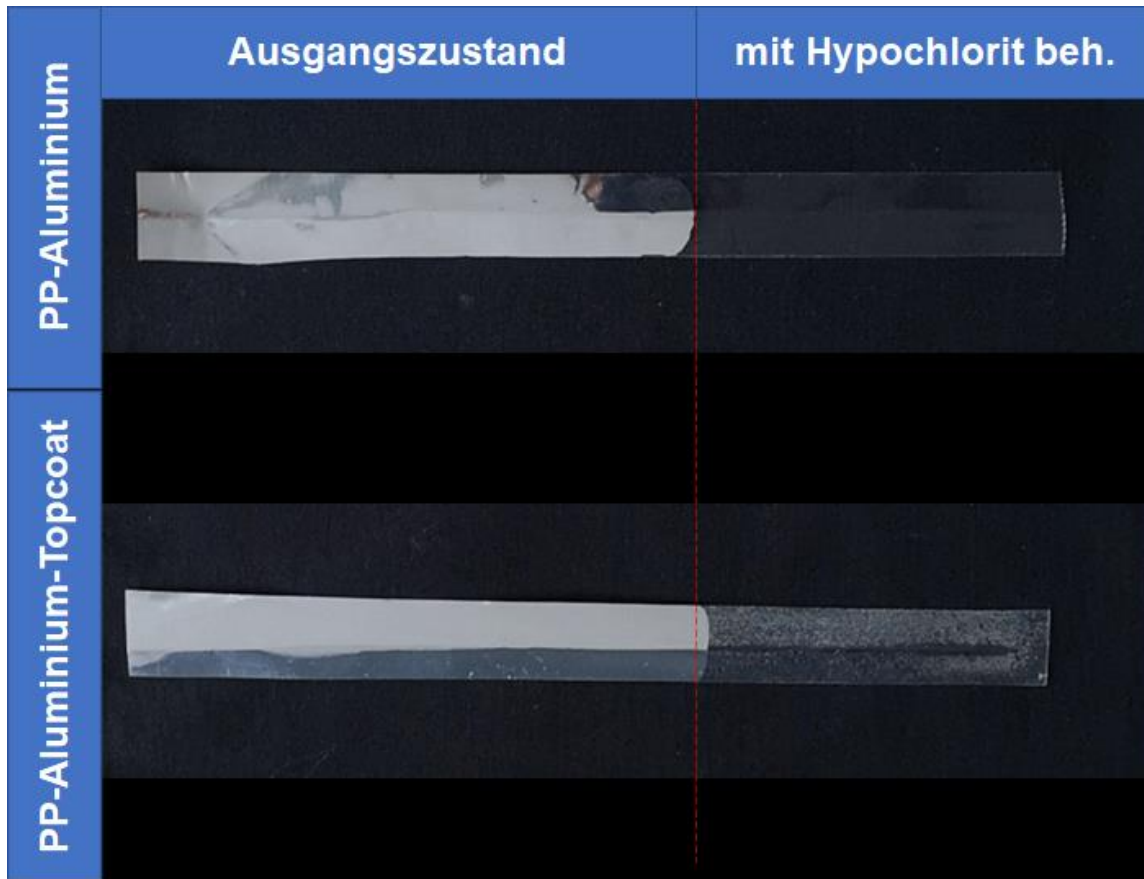


Abbildung 7: Aluminiumbeschichtete Folien (im Anlieferungszustand) nach dem Oxidieren durch Eintauchen in Natriumhypochloritlösung bei Raumtemperatur

Schlussfolgerung

Diese Arbeit hat sich mit der Fragestellung beschäftigt, ob aluminiumbeschichtete und mit Drucklack versehene Folien durch ein Aufschmelzen und Regranulieren werkstofflich recycelt werden können. Die hier vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass solche Folien recycelt werden können, da sich bei den Prüfungen der mechanischen Eigenschaften im Vergleich mit unbeschichteten PP-Folien keine negativen Einflüsse gezeigt haben. Ebenso hat eine Thermolagerung zur Bewertung der Langzeitstabilität hier keine signifikanten Unterschiede gezeigt. Als problematisch erweist sich lediglich die Stippenbildung, welche im Rahmen dieser Studie sicherlich auch durch den eingesetzten Prozess begünstigt wurde. Hier ist davon auszugehen, dass durch ein geeignetes Folienzuführaggregat und eine Schmelzefiltration die Stippenanzahl und -größe wesentlich reduziert werden kann.

Zusätzlich zeigte ein Vorversuch ebenso, dass mit der Anwendung eines Oxidationsmittels als Vorbehandlung das Aluminium oxidiert wird, und so die Verfärbung der Folien im Rezyklierprozess verhindert werden kann. Eine Skalierbarkeit solcher Prozesse muss aber vor einer Anwendung im Detail untersucht werden.