

1 Motivation und Zielstellung

Agrarfolien sind heute zu einem unverzichtbaren Hilfsmittel in der Landwirtschaft geworden. Sie ermöglichen zusätzliche Erträge durch eine Out-of-Season-Produktion, indem sie zum einen ein für das Pflanzenwachstum optimales Klima erzeugen und zum anderen einen wirksamen Schutz vor Pflanzenschädlingen und Austrocknung gewährleisten. So stieg in den letzten 20 Jahren der Verbrauch an Agrarfolien für Gewächshäuser und Mulchfolien* stetig an. Während 1980 weltweit ca. 90 000 Hektar Nutzfläche mit Agrarfolien bedeckt waren, waren es 1988 bereits 300 000 Hektar und heutzutage werden jährlich weltweit 300 000 Tonnen (220 000 Hektar) Agrarfolien für Gewächshäuser und 650 000 Tonnen (4 Mio. Hektar) in Form von Mulchfolien verbraucht^{[1], [2]}. Dieser enorme Zuwachs ist neben den geringen Herstellungskosten auf die einfache Handhabung, die hohe Flexibilität und die guten optischen Eigenschaften der Agrarfolien zurückzuführen. Als Eindeckmaterialien für Gewächshäuser werden neben Glas hauptsächlich PE-LD-, EVA- und PVC-Folien verwendet (siehe Abbildung 1.1), wobei PE-LD-Folien am häufigsten eingesetzt werden^[3].



Abbildung 1.1: Eindeckung eines Gewächshauses mit Kunststoffolie^[4]

* Die Pflanzen wachsen über der Mulchfolie, die den Boden bedeckt. Mulchfolien sorgen für gleichmäßige Bodenwärme und –feuchtigkeit und verhindern Unkrautwuchs.

An Agrarfolien für Gewächshäuser werden vier Hauptanforderungen gestellt:

- Transparenz (gute Transmissionseigenschaften im sichtbaren Bereich des Lichts),
- Haltbarkeit (gute Resistenz gegen Umwelteinflüsse),
- gute mechanische Eigenschaften und
- Gewährleistung der Wärmespeicherung durch reduzierte Transmission von IR-Strahlung im Bereich von $1450\text{-}730\text{ cm}^{-1}$.

Durch den Einsatz der Folien im Freiland sind diese den klimatischen Umweltbedingungen direkt ausgesetzt, wodurch es zur Alterung der Folien kommt. Je nach Einsatzregion (Südeuropa, Nordafrika) und Umweltbedingungen kann es im ungünstigsten Fall bereits nach einer Vegetationsperiode bzw. im günstigen Fall erst nach 2 bis 3 Jahren zu einem strukturellem Versagen, d.h. dem Reißen der Folien (siehe Abbildung 1.2), kommen^[2].



Abbildung 1.2: Versprödung des Polymermaterials führte zur Zerstörung einer Gewächshausfolie^[5]

Neben Pflanzenschäden und Ernteverlusten entstehen dadurch zusätzliche Kosten für den vollständigen Austausch der Folienbedachung sowie enorme Mengen an Abfallfolien, die entsorgt werden müssen. So landen z.B. in Almeria, einer Provinz in Südostspanien, die als Europas produktivster Gemüsegarten gilt, jährlich 35 000 Tonnen Polyethylenfolien auf dem Müll^[6]. Höchstens die Hälfte davon wird recycelt, der Rest wird verbrannt.

Ein Ziel der Folienhersteller ist es, basierend auf dem Wunsch der Nutzer, die Gebrauchsdauer der Agrarfolien auf bis zu drei Vegetationsperioden zu verlängern und so zur Einschränkung des Müllaufkommens beizutragen.

Beobachtungen aus der Praxis zeigen, dass die zur regelmäßigen Schädlingsbekämpfung eingesetzten schwefelhaltigen Agrochemikalien die Lebensdauer der Gewächshausfolien stark herabsetzen^{[7], [8], [9]}. Insbesondere das Abbrennen von elementarem Schwefel in den Gewächshäusern führt zur Schädigung des Folienmaterials, da sich die dabei entwickelnde Schwefelsäure an der Folieninnenseite niederschlägt. Gelegentlich hinzukommende saure Niederschläge aus der äußeren Umgebung schädigen das Folienmaterial auch von der Außenseite her. Obwohl Polyethylen vergleichsweise eine gute Säureresistenz besitzt^[10], wird im Praxiseinsatz bei gemeinsamer Einwirkung von saurem Niederschlag und Sonnenlicht ein schnellerer Festigkeitsverlust durch Polymerabbau beobachtet. Außerdem wurde beobachtet, dass die zum Schutz gegen die UV-Strahlung in die Polymer-Matrix der Folien eingearbeiteten Lichtschutzmittel durch Säureangriff nachhaltig geschädigt werden können^{[11], [12]}. Die Lichtschutzmittel müssen somit selbst eine ausreichende Resistenz gegenüber aggressiven Chemikalien besitzen.

Geeignete, d.h. säureresistentere, Lichtschutzmittel sollen die gewünschte höhere Lebensdauer unter den extremen Umweltbedingungen gewährleisten.

Zur Zeit steht den Entwicklern der Agrarfolien jedoch keine geeignete Prüfmethode zur Verfügung, da bestehende Prüfverfahren zum einen den Synergismus von UV-Strahlung und saurer Deposition nicht berücksichtigen und zum anderen unter Nutzung des Festigkeitsverlustes als Ausfallkriterium Prüfzeiten von mehreren tausend Stunden benötigen. Die Entwickler der Folien bzw. der Lichtstabilisatoren sind deshalb auf langwierige Freilandversuche angewiesen, die aus ökonomischer Sicht zu unzumutbaren Entwicklungszeiten führen. Die richtige Voraussage der Lebensdauer von Agrarfolien erfordert somit ein Prüfverfahren, das die gemeinsame Wirkung aller kritischen Beanspruchungen, insbesondere der sauren Niederschläge, in richtiger Weise berücksichtigt.

Ziel dieser Arbeit ist es, den Alterungsprozess von Gewächshausfolien unter Berücksichtigung saurer Niederschläge im Labor zu simulieren und zu charakterisieren, um die Gebrauchsdauer in Abhängigkeit verschiedener Lichtschutzmittel zuverlässig voraussagen zu können.

Zu diesem Zweck sollen die von verschiedenen Industriepartnern (Clariant, Constab) zur Verfügung gestellten PE-LD Folien einem in der BAM neu entwickelten *Acid Dew and Fog* –Bewitterungstest (ADF-Test) unterzogen werden. Durch eine gezielte Modifikation

des ADF-Tests hinsichtlich des Werkstoffes und Einsatzgebietes sowie durch eine systematische Variation der Lichtschutzmitteltypen und Konzentrationen soll der Alterungsprozess von Gewächshausfolien in Klimakammern simuliert werden.

Zur Charakterisierung der Alterungsprozesse sollen Analysemethoden wie Zugversuche, Infrarot-Spektroskopie und Chemilumineszenz herangezogen werden, wobei eine Früherkennung von chemikalien- und witterungsbedingten Schäden an den Folien gewährleistet sein sollte.

Angestrebt wird die Entwicklung einer der Freilandbewitterung gleichwertigen Laborprüfmethode, die den Alterungsprozess von Gewächshausfolien zeitraffend simuliert und damit maßgeblich zur Entwicklung säureresistenterer Lichtschutzmittel bzw. langlebigerer Gewächshausfolien beiträgt.