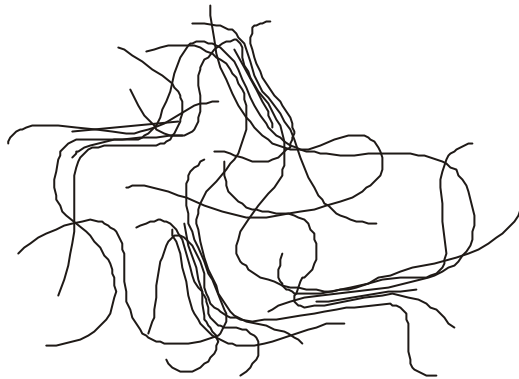


## 4.2 Farbmessungen

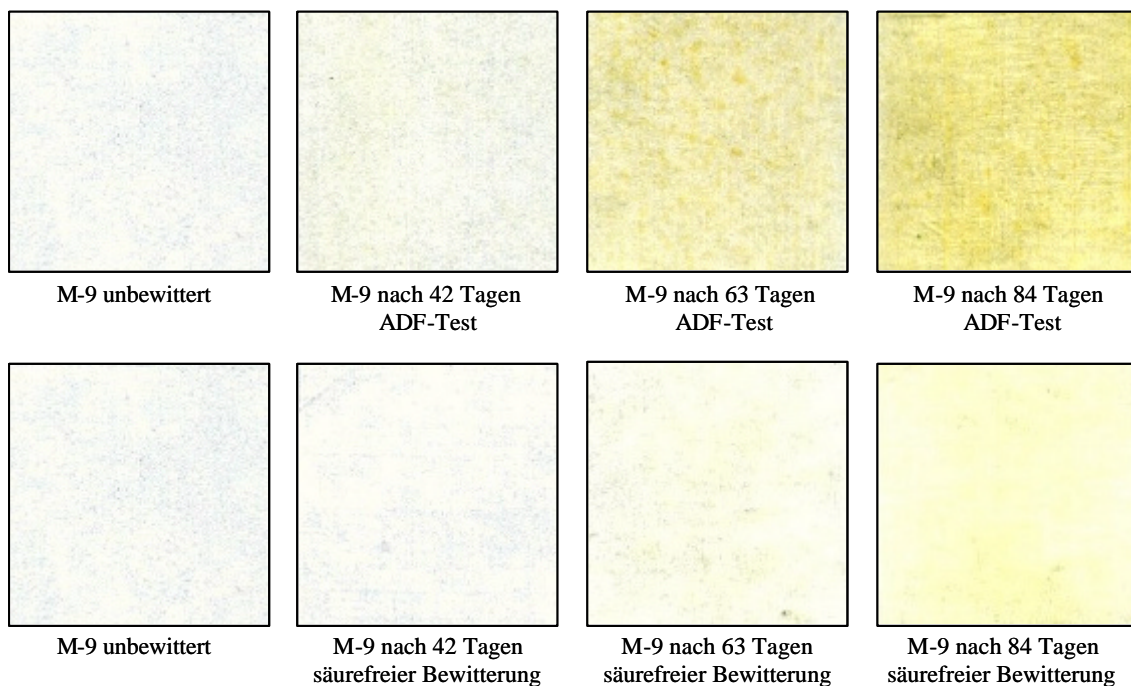
### 4.2.1 Grundlagen

Polyethylenfolien erscheinen je nach Kristallisationsgrad transparent bis opak. Dieser Effekt entsteht durch die Lichtbeugung an der teilkristallinen Struktur des Polyethylens, dessen Makromoleküle teilweise gebündelt, teilweise als flexible Schlaufen vorliegen (siehe Abb. 4.12).



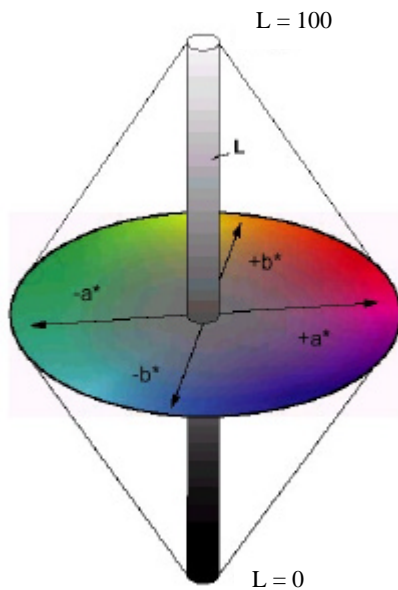
**Abbildung 4.12:** schematische Darstellung der teilkristallinen Polyethylenstruktur

Sowohl im Freiland als auch bei der künstlichen Bewitterung mit UV-emittierenden Lichtquellen in Klimageräten kommt es durch Einwirkung von UV-Strahlung zu einer allmählichen Vergilbung des Folienmaterials, d.h. die Folie bekommt einen „Gelbstich“ (vgl. Abb. 4.13).



**Abbildung 4.13:** Vergilbung der Polyethylenfolie M-9 im Verlauf des ADF-Tests bzw. der säurefreien Bewitterung

Die Vergilbung ist auf eine zunehmende Absorption durch Oxidationsprodukte zurückzuführen, die mit zunehmender Bewitterungsdauer vom UV in den sichtbaren Bereich hineinwächst. Die Vergilbung kann mit Hilfe von Farbmessungen <sup>[81], [82]</sup>



quantitativ erfasst werden. Das CIE-Lab System (CIE = Internationale Beleuchtungskommission) mit dem  $L^*a^*b^*$ -Farbenraum (siehe Abb. 4.14) ist ein dem subjektiven Farbempfinden angepasstes Farbsystem, bei dem zur vollständigen Beschreibung einer Farbe Maßzahlen für die Helligkeit, den Farbton und die Sättigung einer Farbe verwendet werden.

Die  $L^*$ -Achse gibt die Helligkeit einer Farbe an, die  $a^*$ -Achse den Rot-Grün-Anteil und die  $b^*$ -Achse den Gelb-Blau-Anteil. Farbdifferenzen werden durch  $\Delta$ -Werte quantifiziert.

**Abbildung. 4.14 :**  $L^*a^*b^*$ -Farbenraum

Eine besondere Bedeutung haben im praktischen Gebrauch die  $\Delta E$ -Werte, die den gesamten Farbabstand nach Helligkeit, Sättigung und Farbton bewerten. Farbdifferenzen unter  $\Delta E_{ab}^* = 1$  sind für das menschliche Auge praktisch unsichtbar, während Abweichungen von  $\Delta E_{ab}^* = 3$  und größer deutlich zu erkennen sind.

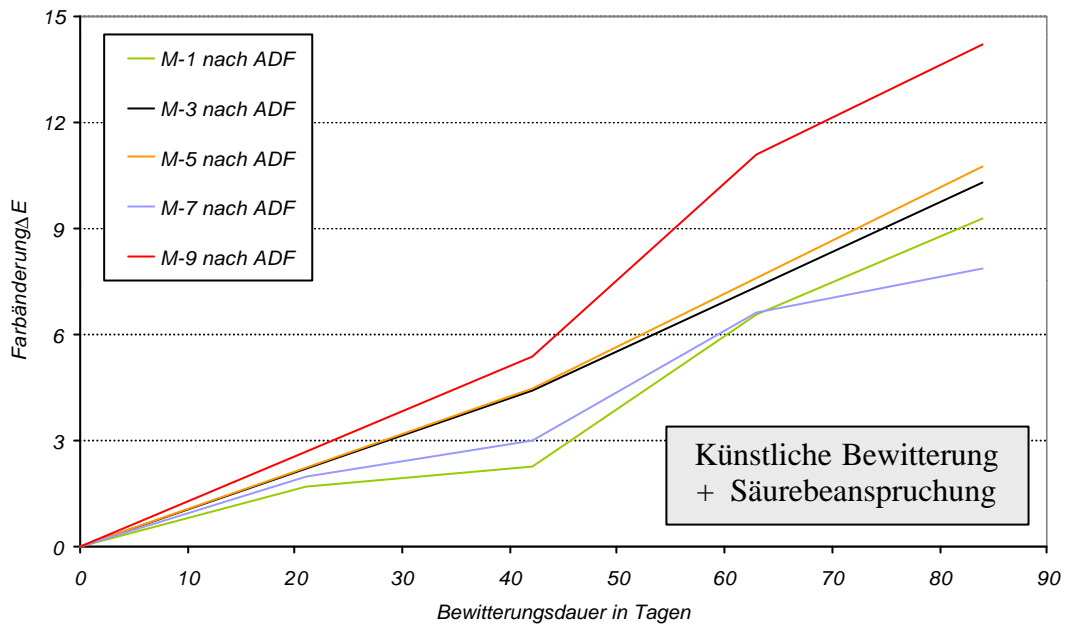
Der Farbabstand  $\Delta E_{ab}^*$  wird nach Gleichung (1) berechnet und kann als Maß für den Vergilbungsgrad der bewitterten Folien herangezogen werden, wobei sich der Vergilbungsgrad mit zunehmenden  $\Delta E_{ab}^*$ -Wert erhöht.

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (1)$$

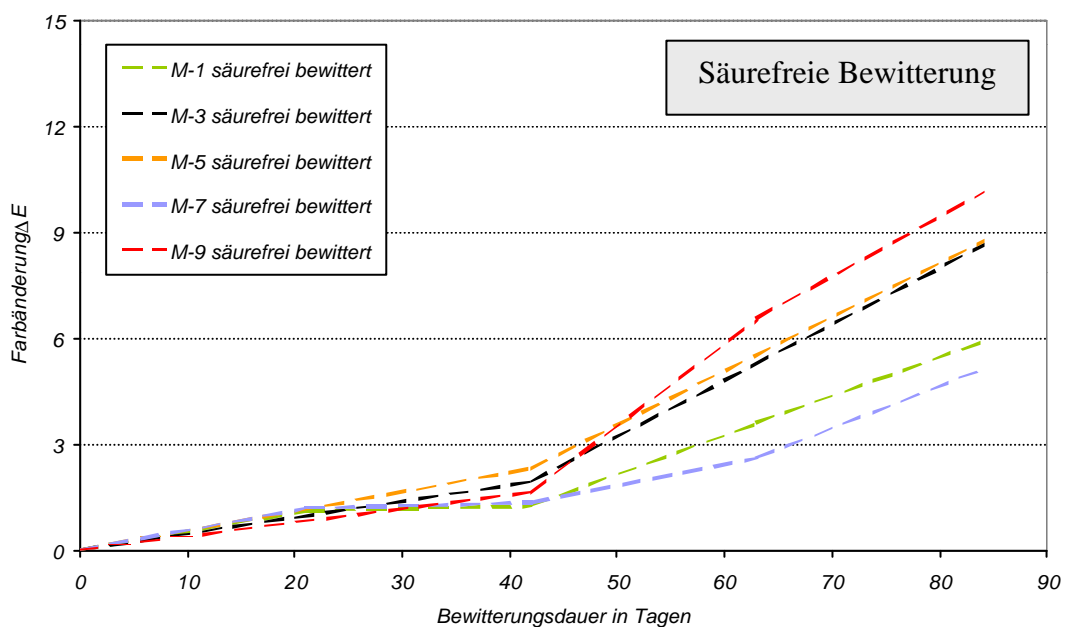
### 4.2.2 Farbmessungen an Modellfolien

Mit Hilfe eines Remissions-Farbmessgerätes wurden farbliche Veränderungen an den Modellfolien während der künstlichen Bewitterung quantitativ bestimmt. Hierfür wurde in einem Zeitraum von 84 Tagen alle 3 Wochen die Farbänderung  $\Delta E_{ab}^*$  der Folien M-1 bis M-9 sowohl nach ADF-Test als auch nach säurefreier Bewitterung gemessen.

Die Folien, die der Säurebeanspruchung des ADF-Tests ausgesetzt waren, weisen höhere  $\Delta E_{ab}^*$ -Werte auf und sind damit stärker vergilbt als die säurefrei bewitterten Folien (vgl. Abb. 4.15 und 4.16).



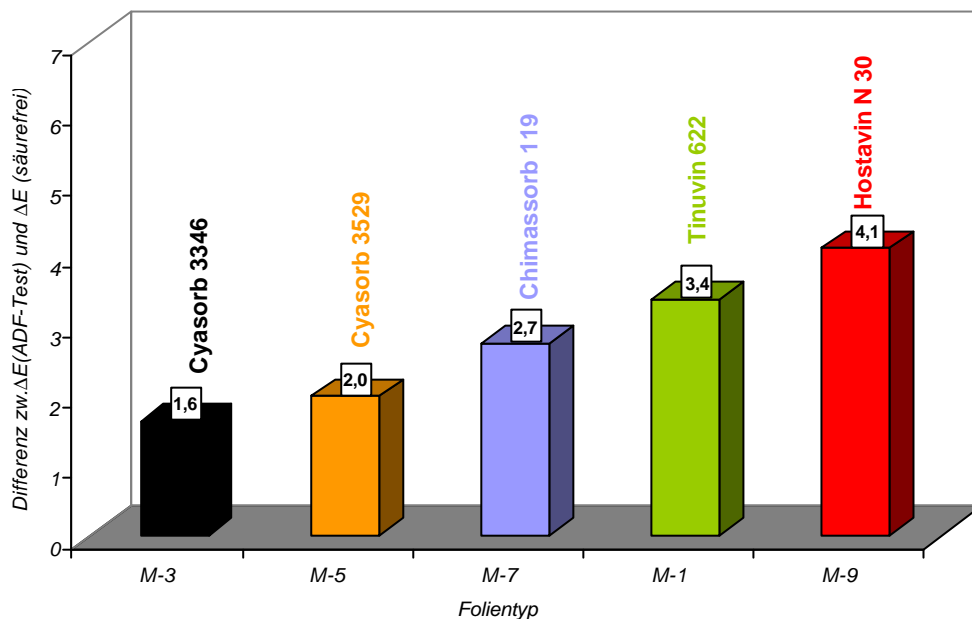
**Abbildung 4.15:** Farbänderung  $\Delta E$  im Verlauf des ADF-Tests am Beispiel der mit 0,2 % HALS stabilisierten Folien M-1 bis M-9



**Abbildung 4.16:** Farbänderung  $\Delta E$  im Verlauf der säurefreien Bewitterung am Beispiel der mit 0,2 % HALS stabilisierten Folien M-1 bis M-9

Für beide Bewitterungsarten ergibt sich nach 84 Bewitterungstagen die gleiche Rangfolge der Folien bezüglich des Vergilbungsgrades mit  $\Delta E (M-9) > \Delta E (M-5) > \Delta E (M-3) > \Delta E (M-1) > \Delta E (M-7)$ .

Um den durch Säureeinfluss verursachten Vergilbungsanteil vom Gesamtvergilbungsgrad der Folien zu separieren, wurde für jede Folie jeweils die Differenz aus den durch ADF-Test und säurefreier Bewitterung erhaltenen  $\Delta E_{ab}^*$ -Werten des 84. Bewitterungstages gebildet. In Abbildung 4.17 sind die durch Säureeinfluss verursachten Farbänderungen in Form eines Balkendiagramms dargestellt.



**Abbildung 4.17:** Durch Säureeinfluss verursachte Vergilbung nach 84 Tagen künstlicher Bewitterung am Beispiel der Folien M-1 bis M-9

Alle untersuchten Folien zeigen eine durch Säureeinfluss verursachte Farbänderung bzw. Vergilbung der Folien, die mit Werten von 1,6 (für Cyasorb UV 3346) bis 4,1 (für Hostavin N 30) für das menschliche Auge sichtbar sind. Der Schutz vor Vergilbung durch Säureeinwirkung ist durch den HALS Cyasorb UV 3346 am effektivsten gewährleistet.

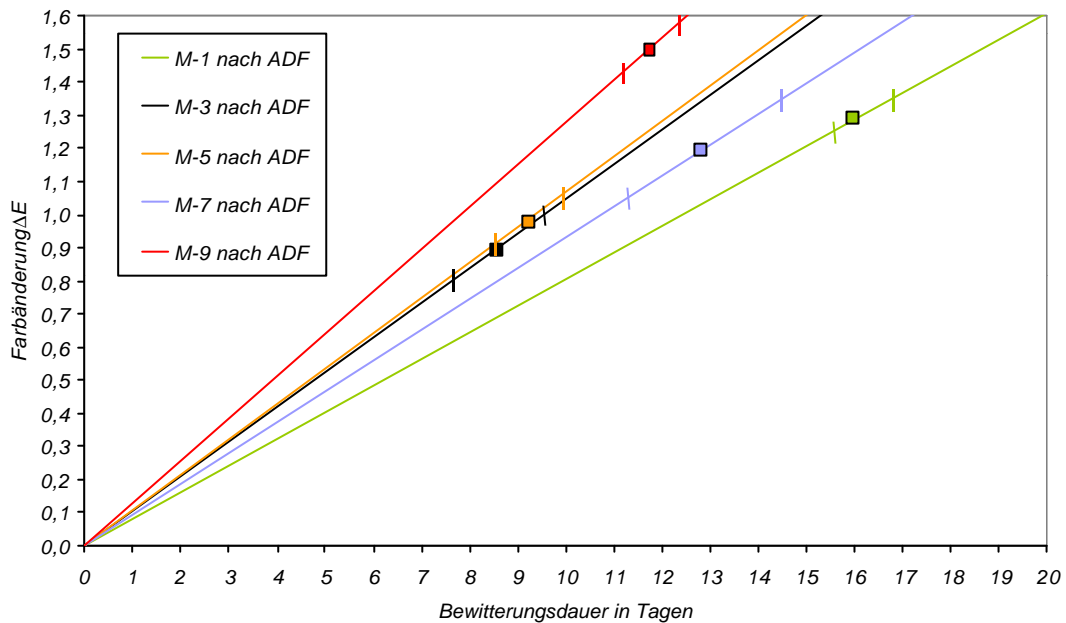
### Farbmessungen an freibewitterten Modellfolien

Parallel zu den künstlich bewitterten Folien wurden auch Farbmessungen an den in Jacksonville freibewitterten Modellfolien M-1 bis M-9 durchgeführt. Tabelle 4-1 fasst die gemessenen  $\Delta E_{ab}^*$ -Werte zusammen.

Foliennummer	$\Delta E_{ab}^*$
M-1	$1,31 \pm 0,03$
M-3	$0,89 \pm 0,09$
M-5	$0,98 \pm 0,08$
M-7	$1,20 \pm 0,15$
M-9	$1,51 \pm 0,07$

**Tabelle 4-1:** Farbänderungswerte  $\Delta E_{ab}^*$  der in Jacksonville freibewitterten Modellfolien M-1 bis M-9

Um eine zeitliche Relation zwischen ADF-Test und Freibewitterung in Jacksonville herzustellen, wurden die gemessenen  $\Delta E_{ab}^*$ -Werte aus Tabelle 4-1 mit ihren Fehlerbreiten in einen vergrößerten Ausschnitt des Diagramms aus Abbildung 4.15 eingetragen (siehe Abb. 4.18).



**Abbildung 4.18:** Farbänderungswerte  $\Delta E_{ab}^*$  der in Jacksonville freibewitterten Modellfolien M-1 bis M-9 ( ) mit ihren Fehlerbreiten ( $\leftrightarrow$ ), Relation zu den durch ADF-Test erhaltenen Farbänderungswerten

Unter der Annahme einer annähernd linearen Farbänderung  $\Delta E_{ab}^*$  in den ersten 21 Tagen der künstlichen Bewitterung ergeben sich für die Modellfolien M1 bis M9 folgende zeitliche Relationen zwischen ADF-Test und Freibewitterung in Jacksonville bezüglich der Farbänderung bzw. der Vergilbung (siehe Tab. 4-2):

Foliennummer	zeitliche Relation	Beschleunigungsfaktor
M-1	98 d JAX 15-17 d ADF-Test	6 bis 7
M-3	98 d JAX 8-10 d ADF-Test	10 bis 12
M-5	98 d JAX 9-10 d ADF-Test	10 bis 11
M-7	98 d JAX 11-14 d ADF-Test	7 bis 9
M-9	98 d JAX 11-13 d ADF-Test	7 bis 9

**Tabelle 4-2:** Zeitliche Relation zwischen ADF-Test und Freilandbewitterung in Jacksonville 2002,  
(d = Tage und JAX = Jacksonville)

Der in Tabelle 4-2 angegebene Beschleunigungsfaktor errechnet sich jeweils aus dem Verhältnis der Bewitterungsdauer im Freiland zur Bewitterungsdauer im ADF-Test. Für Folie M-1 ergibt sich somit z.B. ein Beschleunigungsfaktor von  $(98/17) = 5.8$  bis  $(98/15) = 6.5$ , wobei die Werte für den Beschleunigungsfaktor auf ganze Zahlen gerundet wurden.

Der Beschleunigungsfaktor gibt an, wie viel mal schneller die gleiche Farbänderung  $\Delta E_{ab}^*$  bzw. Vergilbung durch die künstliche saure Bewitterung im Vergleich zur Freilandbewitterung erzielt wird.

Die durch Messung von Farbveränderungen  $\Delta E_{ab}^*$  gefundene Korrelation zwischen dem ADF-Test und der Freilandbewitterung in Jacksonville (im Jahr 2002) für die Modellfolien M-1 bis M-9 muss anhand von weiteren Folieneigenschaften, wie z.B. der mechanischen Festigkeit, weiter untersucht und untermauert werden.