

Methoden zur Beurteilung von Folien aus Polyethylen und Celluloseacetat auf ihre Eignung zum Einsiegeln von Archivalien

Teil 1: Methoden auf Grundlage mechanischer Untersuchungsverfahren

ARIBERT KALLMANN, WERNER GRIEBENOW und
BARBARA WERTHMANN

Für die Massenkonservierung stark geschädigter Objekte stellt das Einsiegeln in Folien quasi die „ultima ratio“ des Restaurators dar. Gegen das Verfahren bestehen allerdings Vorbehalte, weil sowohl die Methode als auch die verwendeten Materialien noch keine Gelegenheit hatten, ihre Zuverlässigkeit über archivarische Zeiträume zu belegen – die Einbettung von Dokumenten in thermoplastische Folien ist weniger als fünfzig Jahre alt. Daher hat es bereits eine Reihe von Untersuchungen zu diesem Thema gegeben. Sie sollten helfen, zu einem sachlichen Urteil über Eignung und Grenzen des Einsiegeln zu kommen. Über einen Teilaspekt dieses Themas werden derzeit – zurückgehend auf die Initiative und mit Unterstützung des Niedersächsischen Staatsarchivs Bückeburg und finanziell gefördert durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie – in der Bundesanstalt für Materialprüfung in Berlin Arbeiten durchgeführt, über deren vollständige Ergebnisse zu gegebener Zeit zu berichten sein wird.

An dieser Stelle soll vorab über Methoden informiert werden, die bei derartigen Arbeiten angewendet werden. Vom Thema des Tages her liegt zwar der Schwerpunkt bei den Folien als Untersuchungsobjekten; sie lassen sich aber auf keinen Fall isoliert von den Siegeleinheiten, den „Sandwiches“, sehen, die mit diesen Folien hergestellt werden.

Die Herstellung dieser Siegeleinheiten soll zunächst diskutiert werden.

1 Siegelprozeß

1.1 Prozeßparameter

Das einzusiegelnde Objekt wird zwischen zwei Folien gelegt und in einer beheizten Presse – Platten- oder Rollenkalender – mit diesen Folien verbunden.

In der Praxis werden gleich mehrere dieser Sandwiches zu einem Stapel vereinigt und gemeinsam gepreßt, um auf einen höheren Pressendurchsatz zu kommen. Trennschichten im Stapel verhindern das Zusammenkleben der einzelnen Sandwiches; Ausgleichsschichten sollen dafür sorgen, daß sich der Pressendruck auch bei Dickenunregelmäßigkeiten möglichst gleichmäßig über die gesamte Stapelfläche verteilt.

Der Siegelprozeß wird im wesentlichen von folgenden Parametern neben der Dicke der Stapelkomponenten und deren Wärmeleitfähigkeit beeinflusst:

1. Materialbezogene Komponenten
 - Papier (Saugfähigkeit, Oberfläche, Feuchtegehalt),
 - Folie (Erweichungstemperatur),
 - Hilfsmaterialien (Trenn-, Ausgleichsschichten);
2. Verfahrensbezogene Komponenten
 - Siegeltemperatur,
 - Siegeldruck,
 - Siegeldauer,
 - Stapelaufbau,
 - Stapelhöhe.

Die Qualität der Verbindung Folie/Papier wird mit den Verfahrensparametern Siegeltemperatur, -druck und -dauer gesteuert. Kann dabei die Folie nicht hinreichend erweichen, so kommt keine feste Verankerung in der obersten Lage der Fasern zustande; bei zu intensiver Erhitzung der Folie durchdringt sie andererseits den Papierfilz und das eingesiegelte Objekt wird (und bleibt) transparent.

Für die relativ leicht erweichende Polyethylen-(PE-)Folie sind Siegeltemperaturen zwischen 110°C und 145°C gebräuchlich. Das erst bei höheren Temperaturen erweichende Celluloseacetat (CA) wird zwischen 140°C und 175°C gesiegelt. Die für PE angewendeten Drücke liegen zwischen 4 und $35 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ($1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$; sie entsprechen somit rd. $4\text{--}35 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$). Die Werte für CA-Folien liegen auch hier etwas höher zwischen 20 und $145 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ (entsprechend rd. $20\text{--}145 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$).

Die Siegeldauer reicht von einer halben bis zu 30 Minuten; sie ist stark abhängig von Stapelzusammenstellung und Stapelhöhe.

Wir fanden bei eigenen Versuchen, daß es rd. $\frac{1}{2}$ Minute dauert, bis der mittlere von insgesamt drei „Sandwiches“ die Temperatur der Preßplatten von 120°C angenommen hat. Bei sieben Sandwiches steigt diese Zeit auf 2 Minuten, bei neun auf 3 Minuten.

Die in der Praxis angewendete Stapelhöhe reicht bis zu 25 Siegeleinheiten, die aus der zu konservierenden Archivalie und je einer Folie auf Vorder- und Rückseite aufgebaut sind. Häufig wird als Außenlage auf beide Seiten noch eine Lage Japanseidenpapier, dessen Flächengewicht etwa 10 g/m^2 beträgt, im gleichen Preßvorgang aufgesiegelt. Es soll der Oberfläche der Siegeleinheit ein mattes Aussehen verleihen, dem „Blocken“, d.h. Zusammenkleben, von Siegeleinheiten bei der Lagerung vorbeugen und daneben noch einen Beitrag zur Stabilität der Siegeleinheiten und zu deren Planlage bei längeren Lagerungsdauern liefern.

Die Oberfläche der Siegeleinheiten hängt ferner von den Trennschichten ab, die beim Aufbau des Stapels verwendet werden. Im Niedersächsischen Staatsarchiv Bückeburg wird monofiles Polyestergerewebe verwendet, sonst sind silikonharzbeschichtete Papiere ($\sim 80 \text{ g/m}^2$) üblich, um das Zusammenkleben verschiedener Siegeleinheiten zu verhindern. Daneben wird noch über den Einsatz von Transparentzeichenpapier oder Polytetrafluorethylenfolien, z. B. Teflonfolien, berichtet.

Zum Ausgleich von Dickenschwankungen enthalten die Stapel noch Lagen von Löschpapier oder Löschkarton.

1.2 Prozeßparameter und Material für die eigenen Versuche

Bei der Auswahl der Siegelbedingungen für unsere Versuche haben wir versucht, Bedingungen zu finden, unter denen

1. ein möglichst festes und
2. ein möglichst wenig transparentes Siegelprodukt entsteht und ferner
3. sämtliche Papiere, mit denen wir arbeiteten, gesiegelt werden konnten.

Wir siegeln

PE-Sandwiches 5 Minuten bei 140°C und $10 \cdot 10^5 \text{ Pa}$,

CA-Sandwiches 2,5 Minuten bei 155°C und $60 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

Alle Stapel enthalten sieben Siegeleinheiten, die – um eine Variable auszuschließen – lediglich aus den beiden Folien und dem Papier bestehen.

Die üblicherweise verwendeten Folien haben Dicken zwischen 10 und $40 \mu\text{m}$; wir verwenden *fünf* Folienarten in der verbreitetsten Dicke von $30 \mu\text{m}$, die einem Flächengewicht von rd. 30 g/m^2 für PE und rd. 35 g/m^2 für CA entspricht. Davon sind zwei handelsübliche CA-Folien verschiedener Hersteller und drei PE-Folien Sonderanfertigungen, von denen eine ohne Stabilisator gearbeitet war und die beiden anderen mit verschiedenen bewährten Stabilisatoren.

Als Versuchspapiere setzen wir drei Typen ein:

ein Hadernpapier aus 100% Hadern (Flächengewicht 100 g/m^2), das für die früheren Papiere aus Lumpen stehen soll;

ein reines Zellstoffpapier (80 g/m²) für derzeit übliche Schreib-, Schreibmaschinen-, Druck- und Kopierpapiere;
sowie ein Holzschliffpapier (52 g/m²) mit 20% Zellstoff für Zeitungs- und Konzeptpapier.

Als Hilfsmaterialien werden Löschkarton und Silikonpapier verwendet.

1.3 Eigenschaften von Laminaten

Generell sollte nun ein ideales Laminat

1. unbegrenzt haltbar sein,
2. das visuelle Bild des Originals nicht verändern und
3. dem Original in Dicke und Masse entsprechen.

Diese Maximalforderungen sind utopisch. Daher kommt noch eine weitere Forderung dazu:

4. Das Laminat soll die Rückgewinnung des unveränderten Originals zulassen.

Ein Urteil über die zur Laminierung vorgesehene Folienart sollte aussagen, wie weit sie sich eignet, diese Anforderungen zu erfüllen. Zur Abschätzung beginnen wir mit der letzten Forderung:

Die *Rückgewinnungsmöglichkeiten* sind durch das Folienmaterial verhältnismäßig klar vorgegeben: CA läßt sich in Aceton lösen und ist im Prinzip auf diesem Wege zu entfernen; PE löst sich z. B. in Trichlorbenzol und Tetrahydro-naphthalin, jedoch erst bei sehr hohen Temperaturen, so daß das Verfahren in der Praxis derzeit kaum angewendet wird.

Dicke und Masse der Siegelinheiten setzen sich in erster Näherung additiv aus den Komponenten zusammen. Die Dicke hängt zusätzlich noch von den Siegelbedingungen ab (wir fanden – bei voluminösem Papier – einen maximalen „Schwund“ von 15%). Das bedeutet z. B. bei einer Folie von 30 µm und einem Flächengewicht des Zeitungspapiers von 52 g/m², daß sich Dicke und Gewicht praktisch verdoppeln. Bei schwereren Papieren und dünneren Folien ist der Einfluß entsprechend geringer. Parallel zur Dickenzunahme läuft eine Erhöhung der Steifigkeit, die durchaus nicht unerwünscht sein muß. Die spezifische Biegesteifigkeit von Zeitungspapier steigt beim Einsiegeln mit PE-Folie auf den doppelten, mit CA-Folie auf den vierfachen Wert; für Zellstoffpapier ist die Abstufung flacher 1:1.4:2.3. Mit der Alterung ist in der Regel eine deutliche Steifigkeitszunahme (nach 81 Tagen bei 105°C bis zu 10%) verbunden.

Die *Veränderung des visuellen Bildes* des Originals hängt nicht von der Folie, sondern von den Siegelbedingungen ab. Es kann unerwünschter Glanz auftreten; eine wesentliche Vergilbung ist bei den kurzen Siegelzeiten nicht zu beobachten. Die Information, die das Original trägt, wird durch den Folien-

überzug kaum beeinträchtigt (das gleiche gilt – vorab erwähnt – auch für die gealterten Mustersiegeleinheiten).

Die *Haltbarkeit* der Siegeleinheiten ist der kritischste Punkt. Sie wird sich kaum in einem absoluten Maßstab beurteilen lassen – ein relatives Urteil muß genügen. Das Bezugsobjekt für unsere Lamine ist leicht zu finden: Wir besitzen es im ursprünglichen, nicht eingesiegelten Papier.

2 *Alterungsuntersuchungen*

Um die zu erwartende Haltbarkeit von Papier und Laminat vergleichen zu können, müssen sie beschleunigt gealtert werden. Dazu gibt es eine große Anzahl von Schnellalterungsmethoden. Sie erreichen den Zeitraffereffekt durch Zufuhr von Energie in Form von Wärme und/oder Strahlung: Die strukturellen und chemischen Prozesse, die insgesamt die „Alterung“ ausmachen, laufen dabei entsprechend beschleunigt ab. Meist führen sie zu einer stetigen Schwächung des Gefüges der Objekte, die sich messend verfolgen läßt. Um Analogieschlüsse auf das Verhalten bei natürlicher Alterung ziehen zu können, muß vorausgesetzt werden, daß bei beschleunigter Alterung die gleichen Veränderungen, nur eben schneller, ablaufen. Unsicherheiten über die Aussage werden immer zurückbleiben: So liegen zwar Arbeiten vor, die für Papier die Zulässigkeit verbreiteter Schnellalterungsverfahren durch Vergleich mit lang dauernder natürlicher Alterung belegten, doch gibt es entsprechende Untersuchungen für ein Verbundmaterial, wie es das Laminat darstellt, noch nicht.

Zur Schnellalterung von Papier wird in der Regel die Wärmealterung verwendet, d. h. die Objekte werden unter möglichst definierten Bedingungen bei erhöhter Temperatur gelagert. Üblich ist dabei zwangsläufige und intensive Umwälzung der Luft; andere Verfahren arbeiten mit Sauerstoff- bzw. Stickstoffalterung, auch hermetischer Abschluß in geschlossenen Rohren wurde angewendet, um den absoluten Feuchtegehalt der Atmosphäre bei der Alterung konstant zu halten. Die Feuchte stellt überhaupt einen vielfältig variierten Parameter bei Alterungsuntersuchungen dar.

Die angewendeten Temperaturen liegen etwa zwischen 60 und 125°C. Je niedriger die Temperatur, um so sicherer ist die Extrapolation der Ergebnisse auf Raumtemperatur möglich. Gravierender Nachteil ist jedoch, daß es für den praktischen Versuch untragbar lange Lagerdauern gibt, bis sicher faßbare Effekte auftreten. Diese Effekte stellen sich bei höheren Temperaturen erheblich schneller ein; die Gefahr steigt jedoch, daß Reaktionen ablaufen, die wesentlich vom Alterungsverhalten bei Raumtemperatur abweichen.

Für die eigenen Untersuchungen wurden die Alterungstemperaturen auf 50°–70°–90°–105°C für PE- und 50°–70°–90°–110°C für CA-Lamine festgelegt. Zur Abschätzung des Feuchteinflusses wird daneben jeweils eine Alterung bei 70°C und 75 % rel. Feuchte ausgeführt.

Der Ablauf der Alterungen läßt sich an chemischen Veränderungen der Materialien verfolgen, die sich jedoch nur separat – Folie und Papier für sich – untersuchen lassen. Die chemischen Effekte stehen zunächst nicht in quantifizierbarem Zusammenhang mit bestimmten Veränderungen der mechanischen Eigenschaften und des Erscheinungsbildes. Um hier eine Brücke zu schlagen und auch um das Alterungsverhalten des Verbundsystems Laminat charakterisieren zu können, ist es notwendig, neben den chemischen auch die mechanischen Eigenschaften der gealterten Proben zu untersuchen.

Im Idealfall korrespondieren die Ergebnisse beider Prüfungsarten; dann kann zur Einzeluntersuchung jeweils das geeignetere Verfahren herangezogen werden. An wertvollen älteren Stücken könnte so eine Prüfung auf chemischem Wege mit sehr geringem Materialaufwand ausgeführt werden; mechanische Prüfungen verlangen im allgemeinen einen hohen Materialeinsatz.

3 Mechanische Untersuchungsverfahren für gealterte Proben

Unsere mechanischen Prüfungen beschränken sich im wesentlichen auf die Siegeleinheiten und die Papiere. Die Eignung der Folien zum Siegeln ist daher in erster Linie indirekt am Verhalten der Siegeleinheiten im Vergleich zu Siegeleinheiten aus anderen Folien und – gemeinsam – mit dem nicht eingesiegelten Papier zu beurteilen.

Die wichtigsten von uns geprüften Eigenschaften sind:

- Falzwiderstand – Prüfung nach ASTM D 643 mit dem Schopperschen Falzapparat; Belastung: 9.81 N; je 20 Proben in Längsrichtung.
- Reißlänge (Dehnung) – Prüfung nach DIN 53112; verkürzte Einspannlänge 100 mm; je 10 Proben in Längs- und Querrichtung.
- Weiterreißwiderstand nach Brecht-Imset – Prüfung nach DIN 53115 an je 10 Proben in Längs- und Querrichtung.

Andere Autoren untersuchten daneben oder statt dessen noch z.B. den Einreißwiderstand nach Elmendorf oder den Berstdruck.

Das Funktionsprinzip der Prüfgeräte für Falz- bzw. Weiterreißwiderstand geht aus den Bildern 1 bzw. 2 hervor.

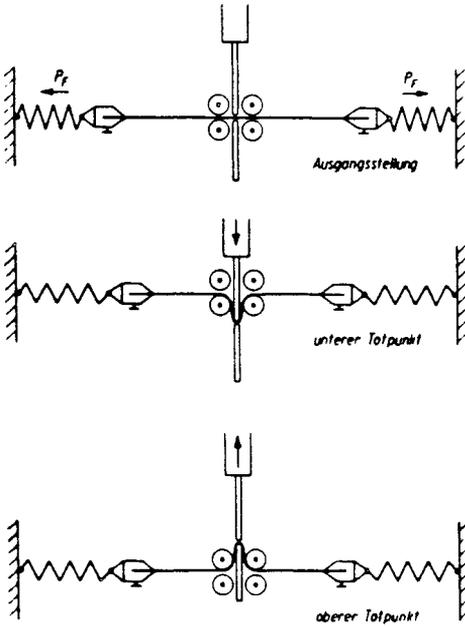
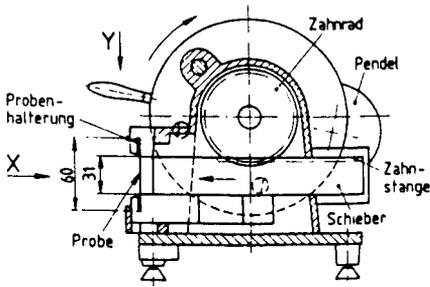
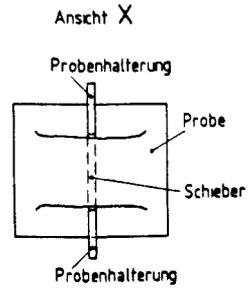


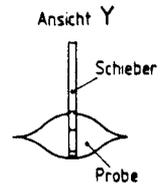
Abbildung 1: Falz widerstandsprüfung mit dem Schopper-Falzer



Skizze des Prüfgerätes



Ansicht X nach dem Einreißen der Probe



Ansicht Y nach dem Einreißen der Probe

Abbildung 2: Weiterreißprüfung nach Brecht – Imset

Die Eigenschaften mit den zugehörigen Prüfverfahren waren ausgewählt worden, entweder, weil sie sich für derartige Untersuchungen bewährt haben (Falzwiderstand, Reißlänge), oder weil sie sich aus praktischen Gründen anbieten (Weiterreißwiderstand). Sie sollen keinesfalls als typisch für die zu erwartenden Beanspruchungen gelten, denen die Archivalien beim Gebrauch ausgesetzt sein werden; sie lassen aber alle den Abfall der vollen Festigkeit des Ausgangsobjektes bis zum Punkt Null messend verfolgen und sollen so dazu dienen, Einblick in den Alterungsablauf zu erhalten.

4 Darstellung und Auswertung der Ergebnisse von mechanischen Prüfungen

4.1 Darstellung der Ergebnisse

Welche Ergebnisse lassen sich nun an unseren Objekten nach den beschriebenen Alterungsverfahren mit den genannten Prüfmethoden erzielen, und was sagen sie über die Beständigkeit und damit über die Eignung der Prüfobjekte aus?

Zunächst empfiehlt es sich, die Meßergebnisse übersichtlich in Diagrammform mit der Alterungsdauer als Abszisse und der geprüften Eigenschaft als Ordinate darzustellen. Häufig wird die verbliebene Festigkeit statt in absoluten Werten in Prozent vom Ausgangswert angegeben. Gebräuchlich ist auch, die Ordinate dabei logarithmisch zu teilen. Damit werden aus den oft vorkommenden exponentiellen Abklingkurven Geraden, an denen sich die verschiedenen Parameter gut vergleichen lassen. In besonderen Fällen verschafft auch die logarithmische Teilung der Abszisse eine bessere Übersicht.

Wenn es nicht gelingt, die Alterungskurven in Geraden zu verwandeln, können sie verschiedenen Typen angehören: Sie können konkav, konvex oder – mit Wendepunkt – S-förmig verlaufen. Bei allen ist die Neigung der Kurve ein Maß für die Geschwindigkeit, mit der die Anfangsfestigkeit verlorengeht.

Gelegentlich läßt sich zu Alterungsbeginn auch ein vorübergehendes Ansteigen über den Ausgangswert hinaus feststellen.

4.2 Auswertung der Ergebnisse

Die Beurteilung von Alterungsabläufen soll nun an einigen Beispielen aus den laufenden eigenen Untersuchungen demonstriert werden:

Den bei unseren Untersuchungen am häufigsten auftretenden Kurventyp zeigt Bild 3, das den Einfluß der Alterungsdauer auf den Weiterreißwiderstand eines mit der stabilisatorfreien PE-Folie eingesiegelten Zellstoffpapiers wieder gibt. Parameter im Diagramm sind die Alterungstemperaturen.

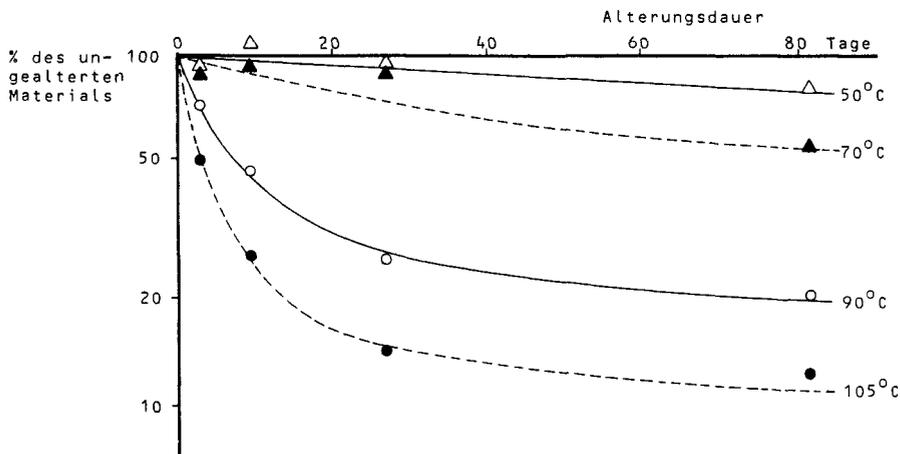


Abbildung 3: Einfluß der Alterungsdauer auf den Weiterreißwiderstand
 Prüfobjekte: Siegeleinheiten aus Zellstoffpapier und nicht stabilisierender PE-Folie
 Parameter: Alterungstemperaturen

Die Kurven der vorliegenden Kurvenschar sind einander ähnlich; die Extrapolationen in den Bereichen, wo Meßwerte fehlen oder offensichtlich Ausreißer vorliegen, sind durch das vorliegende umfangreiche Vergleichsmaterial abgesichert. Ausreißer kommen wegen der Inhomogenität der Materialien immer wieder vor.

Nach einem steilen Abfall zu Beginn der Alterung läßt die Geschwindigkeit des Festigkeitsrückganges erheblich nach. Damit werden dann auch bei höheren Temperaturen große Zeiträume erforderlich, um den weiteren Rückgang zu verfolgen.

Ein anderes Beispiel zeigt Bild 4 mit dem Verlauf der Falzwiderstandsabnahme bei der Alterung von Siegeleinheiten aus Holzschliffpapier und verschiedenen Folientypen bei 105°C. Zum Vergleich ist nichteingesiegeltes Papier mitgealtert worden. Offensichtlich verlieren die Siegeleinheiten mit der stabilisatorfreien PE-Folie 1 noch schneller ihre Festigkeit als das ungesiegelte Papier: Beide Kurven fallen – entsprechend verschieden – steil geradlinig ab. Die Siegeleinheiten mit den stabilisierten PE-Folien 2 und 3 sind dagegen deutlich haltbarer und die Kurven zeigen einen ähnlichen Verlauf wie in Bild 3.

Folie 3 ist durchweg – geringfügig – stabiler als Folie 2.

Die in Acetatfolien eingesiegelten Muster 4 und 5 wiederum sind deutlich stabiler als 2 und 3; dabei zeigen die Siegeleinheiten mit Folie 5 die im Verhältnis geringste Schädigung durch die Alterung.

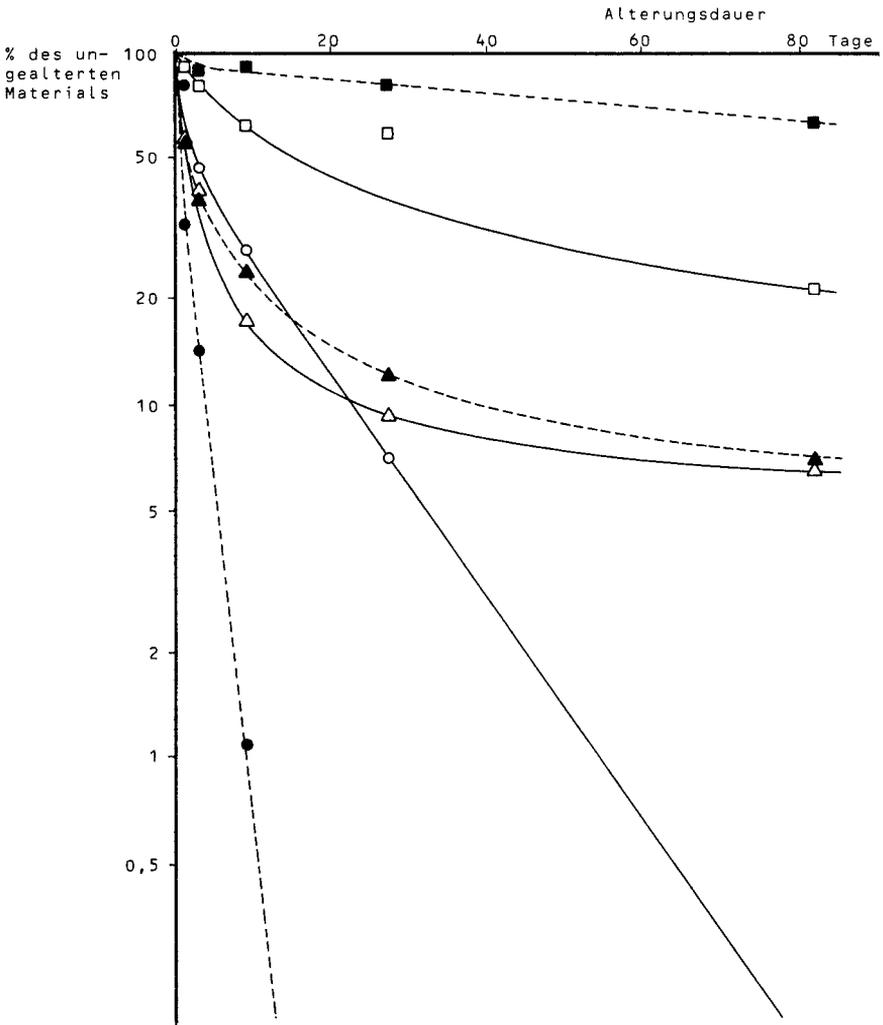


Abbildung 4: Einfluß der Alterungsdauer auf den Falz widerstand bei 105°C
 Prüfobjekte: Siegeleinheiten aus Holzschliffpapier
 Parameter: Zum Siegeln verwendete Folie

Analog sind die Bilder bei den anderen Prüfverfahren und Materialien.

Bild 5 zeigt den Weiterreißwiderstand von Hadernpapier, ebenfalls bei der 105°C-Alterung. Auch hier stellt sich am Ausgang der Untersuchungsperiode die gleiche Abstufung der Materialien ein. Wie in Bild 4 tritt eine zeitweilige

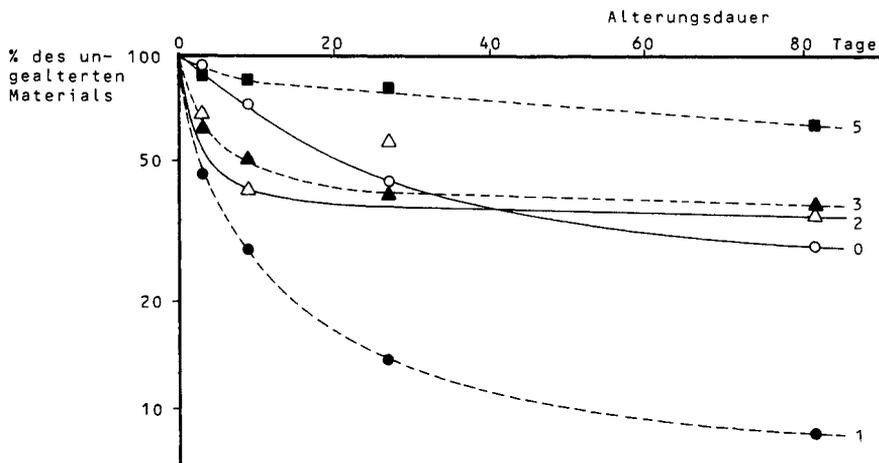


Abbildung 5: Einfluß der Alterungsdauer auf die Weiterreißfestigkeit bei 105°C
 Prüfobjekte: Siegeleinheiten aus Hadernpapier
 Parameter: Zum Siegeln verwendete Folie

- 0: Papier, ungesiegelt
- 1: PE-Folie, nicht stabilisiert
- 2: PE-Folie, Stabilisator I
- 3: PE-Folie, Stabilisator II
- 5: CA-Folie 2

Vertauschung der Rangfolge zwischen dem ungesiegelten Papier und den Kurven 2 und 3 auf.

Bild 6 schließlich gibt den Verlauf der Reißlängenänderung von Zellstoffpapiersiegeleinheiten bei der 105°C-Alterung wieder; Parameter sind auch hier die zum Siegeln verwendeten Folien. Das Verhältnis der drei PE-Folien zueinander ist wieder das gleiche wie bei Weiterreiß- und Falzwiderstand. Das ungesiegelte Papier ist hier jedoch alterungsempfindlicher (das wurde im übrigen bei der Reißlängenprüfung an den beiden anderen Papieren ebenfalls gefunden).

4.3 Zusammenfassung von Einzelergebnissen

Insgesamt kann die Auswertung der Kurven Tendenzen der Haltbarkeit sichtbar machen, die eine relative Bewertung der Objekte zulassen. Das gilt zunächst nur für die Untersuchungstemperaturen selbst und läßt sich mit zunehmender Sicherheit auf die Gebrauchstemperaturen extrapolieren, je geringer die Temperaturdifferenz zwischen beiden ist und je deutlicher die gemessenen Effekte sind.

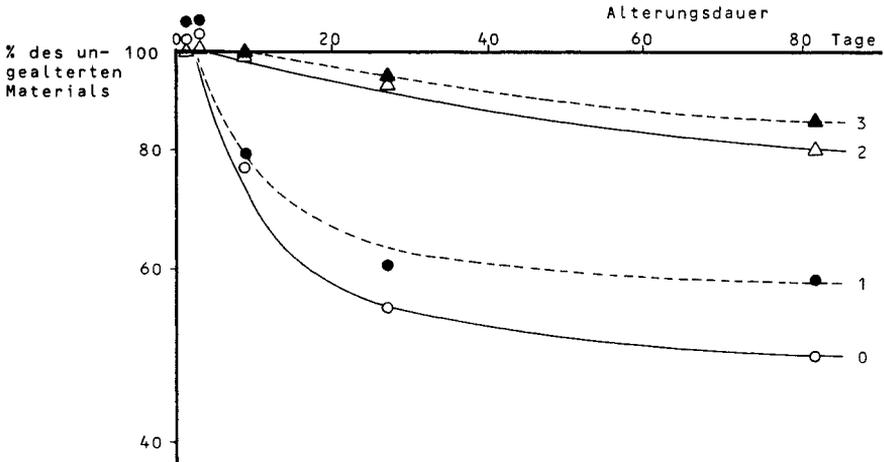


Abbildung 6: Einfluß der Alterungsdauer auf die Reißlänge bei 105°C
 Prüfobjekte: Siegeleinheiten aus Zellstoffpapier
 Parameter: Zum Siegeln verwendete Folie
 0: Papier, ungesiegelt
 1: PE-Folie, nicht stabilisiert
 2: PE-Folie, Stabilisator I
 3: PE-Folie, Stabilisator II

Unsere tiefste Untersuchungstemperatur liegt bei 50°C; hier sind die Effekte bei den angewandten Alterungsdauern meist noch sehr gering und liegen häufig in den Fehlergrenzen der Bestimmung des Ausgangswertes. Derzeit laufen daher noch Langzeitversuche, um eine bessere Beurteilungsbasis zu erreichen.

Bild 4 gab das Stabilitätsverhältnis von Acetat- zu PE-gesiegelten Papieren für die meisten bisher untersuchten Muster an. Aus einer umfassenderen Auswertung der bisher vorliegenden Ergebnisse scheint jedoch hervorzugehen, daß sich dieses Verhältnis mit sinkender Temperatur umkehrt und bei üblichen Lagertemperaturen PE-Siegeleinheiten aus den stabilisierten Folien haltbarer sind; eine endgültige Aussage über die untersuchten Folien ist noch nicht sicher möglich.

Es ist deutlich, daß unter unseren Alterungsbedingungen die Sandwiches sowohl mit CA als auch mit PE – allerdings nur in der stabilisierten Form – deutlich höhere Haltbarkeit besitzen, wenn man sie mit dem nicht eingesiegelten Papier vergleicht.

Das Verhalten der Folien in den Siegeleinheiten – und damit deren Eignung zum Einsiegeln –, wie aus den als Beispiel vorgestellten Untersuchungsergebnissen hervorgeht, bedarf nun noch der Bestätigung durch chemische Untersuchungen, die Thema der folgenden Arbeiten sind.