

Wasserbasierte Nassklebstoffe

Kurzgefasstes Skriptum mit einem Glossar und ausgewählten Rezepturen



zusammengestellt von
Gerhard Banik

in Zusammenarbeit mit

Michael Kühner

KLUG CONSERVATION Immenstadt

Ulrike Hähner

HAWK Fakultät
Bauen und Erhalten | Hildesheim

Martin Strebel, Atelier Strebel AG, Hunzenschwil
Barbara Hassel, Restauratorin, Frankfurt/Main

Vorbemerkung

Diese kurze Zusammenstellung mit Schwerpunkt »Klebstoffe für Papier und Pappe in wässrigen Systemen« entstand zunächst bei der Vorbereitung einer internen Fortbildungsveranstaltung bei KLUG-CONSERVATION in Immenstadt im Frühjahr 2016. Die Veranstaltung wurde im Anschluss daran mehrfach wiederholt, u.a. im Wintersemester 2016/17 an der Universität für angewandte Kunst Wien und im Sommersemester 2017 am Studiengang Konservierung und Restaurierung von Schriftgut, Buch und Grafik an der HAWK in Hildesheim. Für jede dieser Veranstaltungen, vor allem aber danach, wurde das Dokument aufgrund zahlreicher Hinweise aus dem Kreis der TeilnehmerInnen überarbeitet und ergänzt.

Bei der Zusammenstellung und Aufbereitung der Inhalte, stellte sich heraus, dass für die RestauratorInnen-Community im deutschsprachigen Raum auf dem Gebiet »Klebstoffe und Klebetechnik« so gut wie keine zusammenfassende schriftliche Information oder gar ein Lehrmaterial auf solider materialwissenschaftlicher Basis existiert. Das gilt leider auch für die Exaktheit von Beschreibungen zahlreich kursierender Herstellungsvarianten von Naturstoffklebern, für die Darstellungen ihrer Stoffeigenschaften und ihrer Anwendungsbreite. Vielmehr erwiesen sich Rezepturen in der Mehrzahl als wenig präzise, daher nicht nachzuarbeiten; häufig waren darin enthaltene Angaben auch nicht korrekt.

Diese Fakten sind bedenklich – ein Rückfall – wenn man heute auf einschlägige Lehrbücher verweisen muss, die 30 und mehr Jahre alt sind, wie z.B. Schramm und Hering (1984) oder Sandner et al. (1990) – beide übrigens in der ehemaligen DDR publiziert. Zum Armutszeugnis für die deutschsprachige Szene wird es dann, wenn man die Bemühungen, gesichertes Wissen für die Berufsgruppe zur Verfügung zu stellen, im fremdsprachigen Ausland zum Vergleich heranzieht, etwa in den USA, wo dies online durch AIC-WIKI »a collaborative knowledge resource« erfolgt, oder in Kanada, Italien, Spanien, Polen und anderen mehr – noch klassisch – mittels gedruckter Lehrbücher oder einschlägiger Veröffentlichungen. Inwieweit diese Quellen heute als die Grundlage im deutschsprachigen Raum herangezogen werden (sollen), soll hier nicht diskutiert werden.

Festzustellen ist allerdings, dass der Umgang mit Klebstoffen hierzulande individuell erfolgt und nach festgelegten Rezepturen selbst hergestellte Klebstoffpräparationen mitunter vor ihrer Verwendung unkontrolliert verändert werden. Dabei müssen an Klebstoffe und Konsolidierungsmittel sehr hohe Anforderungen gestellt werden. Stabilisierungstechniken in der Restaurierung, für die Klebstoffe eingesetzt werden, dürfen eine Wiederbehandlung der Objekte nicht einschränken, im Extremfall müssen diese sogar »entrestauriert« werden können. Daher erfordert jeder Klebstoffeinsatz in der Restaurierung präzise Kenntnisse materialwissenschaftlicher Grundlagen und deren professionelle Vermittlung.

Die gegenwärtige Situation ist auch deshalb wenig nachvollziehbar, weil im deutschsprachigen Raum seit mehreren Jahrzehnten an der Weiterentwicklung (material-)wissenschaftlicher Grundlagen für die Erhaltung von Kulturgut in der akademischen Ausbildung aber auch in Berufsverbänden gearbeitet wurde. Schließlich haben Repräsentanten der deutschsprachigen Szene den Begriff Konservierungswissenschaft kreiert und für sich in Anspruch genommen. Wissenschaft auch in dieser Kombination wäre aber als ein Wissensgebiet anzusehen, das unter anderem nach folgenden Prinzipien erschlossen werden muss:

1. *Wissenschaft hinterfragt und überprüft die eigenen Forschungs- und Auswertungsmethoden auf Zweckmäßigkeit.*
2. *[...]*
3. *Es besteht eine einheitliche Nomenklatur.*
4. *Es besteht ein allgemein anerkannter Grundschatz an Wissen, der in Form eines oder mehrerer Lehrbücher vorliegt.*
5. *Es gibt einen Katalog an fachtypischen Wissensvermittlungsmethoden.*
6. *[...]*
7. *Es besteht ein reger Wissensaustausch [...].*

Mit Ausnahme des Punktes 1. dieser Auflistung – und dieser liegt im Wesentlichen derzeit im Verantwortungsbereich (material-)wissenschaftlicher Kooperationspartner, – sind die genannten Prinzipien in der deutschsprachigen Konservierungswissenschaft leider bisher nicht – oder nur unzureichend erfüllt.

Die vorliegende kleine Zusammenstellung von Materialeigenschaften einer Auswahl von Klebstoffen, die sich zur Verklebung von Papier und Pappe eignen, erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie hatte nicht das Ziel, die oben angesprochenen Defizite ausgleichen, sondern sollte als unterstützender und dauerhafter Wissensspeicher für Teilnehmer an Lehr- und Fortbildungsveranstaltungen dienen. Indem wir die Inhalte online der Allgemeinheit zugänglich machen, wollen wir anregen, das bis jetzt erarbeitete Material zu nutzen, es zu ergänzen und/oder zu korrigieren, auf diese Weise den Wissensaustausch anzuregen und so kooperativ den notwendigen »allgemein anerkannten Grundschatz an Wissen« zu schaffen.

Gerhard Banik,

Wien, im Oktober 2019

Inhalt

Vorbemerkung	3
Wasserbasierte Nassklebstoffe – Einführung	6
Leime auf Proteinbasis	
Gelatine / Haut- Glutinleime	7
Casein	12
Kleister auf Kohlenhydratbasis	
Celluloseether – Tylose®, Methocel®	13
Stärke	16
Dextrine	19
Stärkeether	20
Synthetischer Klebstoff in wässriger Lösung	
Polyvinylalkohol (PVAL)	21
Synthetischer Klebstoff Poly(2-ethyl-2-oxazolin) – Aquazol®, wasser- und lösemittellöslich	23
Synthetische Dispersionsklebstoffe auf Basis PVAc und EVAc	24
PVAc	25
EVAc	27
Glossar	28
Literatur	45
Abbildungsnachweis	48
Anhang – Ausgewählte Rezepturen	51
Weizenstärkekleister I – IV	51
Reisstärkekleister I & II	56
Stärkeether (Kallotex® 1250)	58
Methylcellulose (Methocel® A)	59
Hydroxypropylcellulose, HPC – Klucel®	61
Funori	63
JunFunori®(Lascaux)	64
Gelatine	65
Hautleim (Perlleim)	66
Hausenblase/Störleim I	67
Hausenblase/Störleim II (in Folie gegossen)	68
Pergamentleim	69
Caseinleim	70
Polyvinylalkohol (PVAL)	71
Aquazol®	72
Lascaux Konsolidierungsmedium	73
Heiss-Siegel- (Schmelz-)Kleber (nichtwässrig)	74
BEVA 371 (Lascaux)	75
BEVA 371 (TALAS)	76
Festigung und Ergänzungsmöglichkeiten von fraßgeschädigtem Holz	77

Wasserbasierte Nassklebstoffe – Einführung

Die Gruppe der wasserbasierten Nassklebstoffe umfasst vier Untergruppen:

1. Klebstoffe auf Basis tierischer Proteine, dazu gehören Gelatine und Glutin- sowie Caseinleime,
2. Klebstoffe auf Basis pflanzlicher Naturprodukte – Stärke, Stärkeether, Dextrine und pflanzliche Leime,
3. Celluloseether,
4. Klebstoffe auf synthetischer Basis, dazu zählen der wasserlösliche Polyvinylalkohol (PVAL), sowie das nicht wasserlösliche, daher in der Regel als wässrige Dispersion eingesetzte Polyvinylacetat (PVAc) sowie verschiedene Copolymere des Vinylacetats, wie z. B. Ethylvinylacetat (EVAc).

Die Ausbildung einer Klebschicht erfolgt bei den wasserbasierten Nassklebstoffen durch Verdunstung bzw. Aufnahme des Wassers durch die Füge­teile. Um diesen Prozess zu beschleunigen und Verwerfungen der Füge­teile zu vermeiden, erfolgt die Trocknung in der Papierrestaurierung meist mit Hilfe Wasserdampfdurchlässiger und/oder wasserabsorbierender Vliesmaterialien und Hilfsmitteln zum Beschweren oder leichtem Anpressen. Bei der Verarbeitung wasserbasierter Nassklebstoffe fügt man den nassen Klebstofffilm.

Viele der wasserbasierten Klebstoffe bestehen aus Naturstoffen oder modifizierten Naturstoffen, also solchen, die bereits einer chemischen Behandlung unterzogen worden sind. Der Nachteil aller Naturstoffkleber auf Basis von Proteinen oder Kohlenhydraten ist darin zu sehen, dass sie keine chemisch einheitliche Zusammensetzung aufweisen und empfindlich gegen den Befall durch Mikroorganismen sind, die diese Materialien mit Hilfe von Enzymen vollständig abbauen können. Andererseits wird einer ihrer Vorteile aber gerade darin gesehen, dass sie selbst im Fall vorhandener Zusatzstoffe, die ihre Wasserquellbarkeit oder Wasserlöslichkeit einschränken oder gar unterbinden, mit Hilfe von Enzympräparationen abgebaut und entfernt werden können, ohne dass dabei Cellulose bzw. Cellulosefasern in Mitleidenschaft gezogen werden.

Leime auf Proteinbasis (Glutinleime)

Knochen- und Hautleime, Gelatine

Als Glutinleime bezeichnet man Leime, die mittels wässriger Heißextraktion bei 60 bis 65°C aus dem Kollagen tierischer Bindegewebe, u. a. aus Haut und Lederresten, Knorpeln, Rinderspalt sowie Knochen gewonnen werden. Sie stellen im Wesentlichen wässrige Lösungen von hydrolysiertem Kollagen, dem Gerüsteiweiß des Bindegewebes, dar. Reinstes Glutin ist Gelatine. In zeitgenössischen Quellen des 18. Jh. wird Gelatine als reines, hellbernsteingelbes Material beschrieben. Weniger reine, meist dunkel gefärbte Leimqualitäten, wurden und werden als »Tierischer Leim«, »Hautleim« oder »Knochenleim« bezeichnet. Diese gelten neben Naturharzen als die ältesten Klebstoffe.

Durch die Hydrolyse des Kollagens besitzen Glutinleime eine relativ breite Molekülmassenverteilung von niedermolekularen bis zu hochmolekularen – gerade noch kolloidal löslichen Peptiden. Je nach Hydrolysegrad schwankt die mittlere Molekülmasse nach Schrieber und Gareis (2007) zwischen 10 000 und 400 000 g/mol (Tabelle 1). Diese Werte, sind abhängig vom Ausgangsmaterial. Als Molekülmasse (der heute veraltete Term wäre Molekulargewicht) bezeichnet man die Summe der relativen Atommassen aller Atome in einem Molekül bezogen auf ein Mol der Verbindung. Die Einheit der Molekülmasse ist g/mol. Aus der Größenordnung, z. B. 60 000 g/mol für Fischleim in Tabelle 1, lässt sich in guter Näherung auf die mittlere molekulare Größe der Proteinsubstanz schließen. Die Kraft, die das Materialgefüge eines Klebstoffs im abgebundenen Zustand zusammenhält, wird vornehmlich durch dessen Molekülhauptkette bestimmt. Somit ist die innere Festigkeit – die Kohäsion einer Klebschicht – von der Größe der Moleküle des Klebstoffs abhängig und steigt mit zunehmender Molekülgröße, d. h. der Molekülmasse, an.

Andererseits nimmt das Haftvermögen eines Klebstoffs an einem Füge teil – also seine Adhäsion am Füge teil – mit wachsender Molekülmasse ab. Die Molekülmasse ist deshalb in der Klebetechnik eine wichtige Kenngröße, weil für jeden Klebstoff ein Optimum seiner Molekülgröße existiert, mit der sich ein Maximum der Klebfestigkeit aus Adhäsion und Kohäsion erzielen lässt.

Verglichen mit anderen Klebstoffen sind die mittleren Molekülmassen der Glutinklebstoffe hoch. Sie resultieren aus der spiralförmigen Molekülstruktur (Tripelhelix) der Gewebeweisse, die in deren Hydrolyseprodukten noch erhalten ist. Diese Grundstruktur ist die guten Elastizitäts- und Festigkeitseigenschaften von deren Klebschichten verantwortlich (Zeppenfeld und Grunwald 2005).

Glutinklebstoffe, die meist in Perlform oder Tafeln vorliegen, bilden beim Erwärmen mit Wasser eine »ideale kolloidale Lösung«, die auch als Sol bezeichnet werden. Es handelt sich um Hydrokolloide. Aufgrund ihrer physikalischen Struktur sind sie in der Lage, beim Abkühlen, auch in hoher Verdünnung, in feste, gallert- oder pastenförmige Gele überzugehen (Abb. 1). Der Übergang der Glutinklebstoffe vom Sol- in den Gelzustand beim Abkühlen verursacht auch das relativ schnelle Abbinden der Klebstoffe. Dieser temperaturabhängige Sol-Gel-Übergang ist umkehrbar, weshalb Leimfugen aus Glutinklebstoffen bei höherer Temperatur in Gegenwart von ausreichend Wasser wieder gelöst werden können (Hahn 2008).

Tierische Leime wurden in der Vergangenheit auch in Papiermühlen aus Gerbereiabfällen, also Hautresten, Bindegewebe oder Knochen von Hasen, Schafen, Rindern und Ziegen, für die Oberflächenleimung von Papieren erzeugt.

Leim auf Kollagenbasis	Molekülmasse (g/mol)
Knochenleim	je nach Hydrolysegrad 10 000 bis 400 000*
Hautleim	hoch
Gelatine	11 000 – 168 000
Hausenblase/Störleim	150 000 – 300 000
Fischleim (flüssig)	60 000

Tabelle 1:
Molekulare Masse von Leimstoffen
auf Kollagenbasis,
Quelle: J. L. Down: *Adhesive compendium
for conservation*.
Ottawa: Canadian Conservation Institute
(CCI), 2015: S. 39
*) nach Schrieber und Gareis (2007)

Glutinleime bestehen überwiegend aus Kollagen, einem makromolekularen, wasserunlöslichen Gerüstprotein, aus dem der Leim nach vorheriger Aufbereitung und Reinigung durch Hydrolyse gewonnen wird. Die industrielle Herstellung von Gelatine begann bereits Ende des 18. Jh. Erst mit der Verbreitung der Fotografie nach 1880 wurde sehr reine Gelatine benötigt, die dann in der erforderlichen Qualität auch industriell erzeugt wurde. Heute versteht man unter Gelatine ein farb- und geruchloses Industrieprodukt, das sich aus einem Gemisch von Produkten der Kollagenhydrolyse und verschiedenen Additiven zusammensetzt und breite Anwendung in der Herstellung von Lebensmitteln sowie kosmetischen und pharmazeutischen Produkten findet.

Die historische Herstellungstechnik von Proteinleimen war das Leimsieden, eine einfache Extraktion der Hydrolyseprodukte des Kollagens aus aufbereiteten Gerbereiabfällen in warmen, wässrigen Aufschlämmungen der Rohmaterialien ohne Chemikalienzusätze. Ein erstes Patent für die Gelatineherstellung wurde in England bereits 1754 erteilt, die Produktion in Manufakturen setzte gegen Ende des 18. Jh. ein. Die industrielle Produktionstechnik änderte sich im 19. Jh. dahingehend, dass Rohstoffe aus Qualitätsgründen einer intensiven Vorreinigung unterzogen und dabei fetthaltige Substanzen und andere extrahierbare Komponenten entfernt wurden (Skåns 1991, Tabelle. 2).

Der Preis größerer Reinheit und einer gleich bleibenden Qualität waren weniger elastische Endprodukte durch den Entzug natürlicher Weichmacherkomponenten, vor allem von Fetten. Deshalb müssen heute industriell erzeugter Gelatine Weichmacher als Additive künstlich zugesetzt werden.

Einige ausgewählte Kenngrößen von Proteinklebstoffen auf Kollagenbasis insbesondere auch von Gelatine sind am Ende dieses Abschnitts in Tabelle 3 zusammengestellt.

Typ Proteinleim	pH	Fettgehalt (% w/w)
Historische Glutinleime (Skåns 1991)	7,6–8,4	20–30
Moderner Hautleim (Skåns 1991)	6,5–7,5	0,3–1,0
Moderner Knochenleim (Skåns 1991)	5,0–6,5	0,4–4,0
Gelatine Typ A (Lebensmittelqualität)	2,0–4,0	n. E.
Gelatine Typ B (Lebensmittelqualität)	5,0–7,0	n. E.

Tabelle 2: Proteinleime, deren pH in wässriger Lösung und Fettgehalte nach Literaturangaben.

Mögliche Zusatzstoffe:

Bei Glutinleimen: Wasserlösliche Weichmacher (Feuchthaltmittel, z. B. Glycerol (Glycerin), Sorbitol (Hexanol = ein Zuckeralkohol) sowie sulfonierte Öle für die erhöhte Flexibilität der Filme;
bei Gelatine: Wasserlösliche Weichmacher, z. B. Glycerol, Sorbitol.

In der zeitgenössischen Gelatineherstellung wird Kollagen im alkalischen oder sauren Milieu hydrolysiert. Die löslichen Hydrolyseprodukte werden extrahiert und die Prozesschemikalien anschließend vollständig aus dem Extrakt entfernt. Entsprechend der Herstellungstechnik weist Gelatine einen pH zwischen 2 und 4 auf, wenn das Produkt durch saure Hydrolyse aufgeschlossen wurde (Typ A), und pH 5 bis pH 7, wenn dies alkalisch erfolgte (Typ B). Die Technik, nach der Kollagen aufgeschlossen wird, richtet sich nach dem Vernetzungsgrad des Kollagens in den eingesetzten Rohmaterialien, das sind heute meist Schweineschwarten oder Rinderspalt. Das Kollagen von Schweineschwarten ist nur schwach vernetzt und lässt sich deshalb sauer aufschließen, während das von Rinderspalt stärker vernetzt ist und alkalisch durch mehrmonatige Behandlung in Calciumhydroxid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) aufgeschlossen wird. Der pH der Behandlungslösung liegt bei ca. 12,4.

Die durch mehrstufige Extraktion gewonnene Gelatine durchläuft eine Reinigung. Reste von Fetten sowie noch verbliebene Kollagenfasern aus den Rohstoffen werden abgetrennt, noch enthaltene Salzreste werden über Ionenaustauscher – je nach Produktspezifikation – nahezu vollständig zumindest aber teilweise entfernt.

Das Kollagen, die Grundsubstanz der Gelatine, ist ein lineares Faserprotein, das aus Aminosäuren aufgebaut ist. Das Kollagenmolekül enthält ebenso wie sein Hydrolysat eine Reihe funktioneller Gruppen, darunter Amino- und

Peptid- sowie Hydroxylgruppen. Diese funktionellen Gruppen sind polar und steuern das Verhalten von Proteinen gegenüber Wasser. Das besondere strukturelle Merkmal des Kollagens ist seine helikale, d. h. »spiralförmige« Struktur, die aus drei miteinander durch Wasserstoffbrückenbindungen stabilisierten Peptidketten, einer sogenannten Tripelhelix, aufgebaut ist. Bei der Herstellung von Gelatine werden Hydrolysate des Kollagens in wässriger Lösung bei einer Temperatur zwischen 60 und 65°C extrahiert. Bei dieser Temperatur entfaltet sich die Tripelhelix, weil die deren Struktur stabilisierenden Wasserstoffbrückenbindungen ihre Funktion verlieren.

Die Lösung bildet dann ein Sol, d. h. eine kolloidale Lösung hochmolekularer, weitgehend linearer Proteinmoleküle. Wird die Lösung abgekühlt, so verfestigt sie sich wieder zu einem Gel. Es handelt sich um ein thermisch reversibles Gel (Abb. 1). Bei der Gelbildung erlangen die Proteinmoleküle ihre helikale Struktur teilweise wieder zurück, verdichten sich und schließen Wassermoleküle in das molekulare Netzwerk mit ein. Es bilden sich auch quasikristalline, sehr dichte Molekülanordnungen, die durch Wasserstoffbrückenbindungen stabilisiert werden.

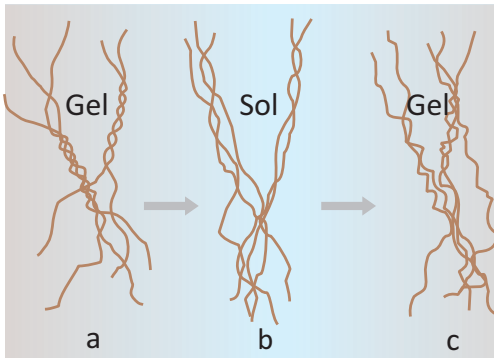


Abb. 1: Gel – Sol – Gel Transformation von Gelatine.
Bei Raumtemperatur dringt Wasser in die Molekülaggregate (Gel) der Gelatine (a) ein, verursacht Quellung;
bei Erwärmung auf ca. 60°C → Trennung der Moleküle → Bildung einer kolloidalen Lösung (Sol) (b);
bei Abkühlung → Bildung eines pastosen Gels durch Rückbildung helikaler Molekülaggregate (c).
Quelle: G. Banik und I. Brückle: *Papier und Wasser*. München, Siegl, 2015, Abb. 6.6.

Klebstoffe auf Proteinbasis sind nicht temperaturstabil. Sie werden durch Hitze denaturiert. Gelatine denaturiert bereits bei einer Temperatureinwirkung oberhalb von 70°C. Unter Denaturierung versteht man eine Veränderung der räumlichen Struktur von Proteinen. Bei Hitzeeinwirkung werden physikalische und chemische Bindungen aufgebrochen, das Molekül koaguliert (Abb. 2). Damit ist der Prozess unumkehrbar.

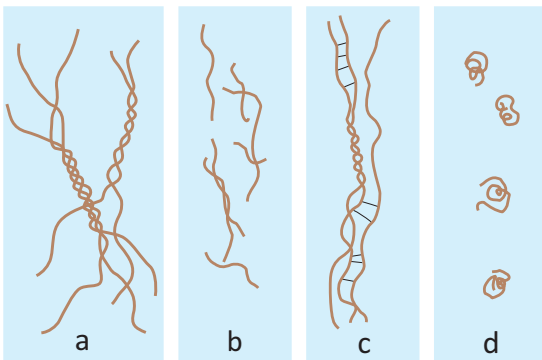


Abb. 2: Auswirkung molekularer Veränderungen auf die Klebeeigenschaften von Gelatine:
(a) Ausgangszustand
(b) Hydolyse
→ Depolymerisation der Polypeptide, die Molekülmasse sinkt,
→ die Festigkeit der Klebschicht (Kohäsion) wird kleiner,
→ die Haftung an Fügeparten (Adhäsion) steigt.
(c) Härtung
→ Al^{3+} , Fe^{3+} , Formaldehyd, Tannine u. a. m. wirken als »Härter«, sie verursachen eine molekulare Vernetzung der Proteinmoleküle,
→ die molekulare Dichte steigt, das Wasseraufnahmevermögen sinkt mit zunehmendem Vernetzungsgrad,
→ damit wird die Substanz schlechter löslich, ist kaum mehr als Klebstoff einsetzbar,
→ vorhandene Klebschichten werden zunehmend schwerer ablösbar.
(d) Erwärmung auf über 75°C
→ Proteine denaturieren unumkehrbar,
→ die Moleküle koagulieren
→ das Wasseraufnahmevermögen reduziert sich nahezu auf null,
→ die Substanz wird unlöslich und ist nicht mehr als Klebstoff einsetzbar.

Quelle: G. Banik und I. Brückle: *Papier und Wasser*. München, Siegl, 2015, Abb. 6.12.

Gelatine ist ein Hydrokolloid und hygroskopisch. Wie bei Cellulose wird Wasser auch in das molekulare Netzwerk von Gelatine im Gleichgewicht mit dem Wasserdampfpartialdruck der Umgebung aufgenommen und dort gehalten, allerdings verglichen mit Cellulose in erheblich größerem Ausmaß. Gelatine nimmt bereits bei 10% rF ca. 6% (w/w) Wasser auf, bei 50% rF liegt der Wassergehalt schon bei 12–16% (w/w) und erreicht 30% (w/w) bei 80% rF. Im trockenen Zustand ist Gelatine glasartig steif und spröde. Ihre Glasumwandlungstemperatur (T_g) liegt dann bei $T_g = 220^\circ\text{C}$. Absorbiertes Wasser wirkt als Weichmacher, d. h. durch Absorption von Wasser quillt Gelatine, wird zunehmend flexibler (T_g bei 50% rF = ca. 45°C) und geht bei einer Umgebungsfeuchte von ca. 84% rF in einen weichen, gallertartigen Zustand über.

Damit Gelatine sich in Wasser kolloidal lösen und ein Sol bilden kann, ist eine Wassertemperatur von ca. 60°C erforderlich. Bei dieser Temperatur werden die zahlreichen, die Gelstruktur stabilisierenden Wasserstoffbrückenbindungen getrennt. Kühlt die wässrige Gelatinelösung wieder auf Zimmertemperatur ab, so erstarrt sie und wird wieder in den Gelzustand zurückgeführt (siehe Abb.1). Der Übergang von Sol zu Gel findet auch bei der Verklebung von Papier statt, natürlich auch bei dessen Oberflächenleimung, weil nach Auftragen einer warmen Gelatinelösung auf eine Papieroberfläche die Lösung abkühlt, sich die Proteinmoleküle restrukturieren, gleichzeitig Wasser entzogen wird, wodurch ein sich zunehmend versteifender Film entsteht.

Reaktionen mit anderen Substanzen

Gelatine bzw. Glutinleime können durch Zusatzstoffe modifiziert und spezifischen Anforderungen angepasst werden:

- Zu den wichtigen Reaktionen zählt deren Härtung, die durch vernetzende Substanzen, z. B. trivalente Ionen, darunter Al^{3+} , Cr^{3+} , Fe^{3+} , sowie durch Aldehyde und Tannine eintritt, etwa durch Gallotannin, das Bestandteil von Eisengallustinten ist. Der Zusatz dieser Substanzen verursacht eine (mit Ausnahme von Al^{3+}) dauerhafte Vernetzung reaktionsfähiger Seitenketten der Proteinstrukturen, wodurch Gelatine bzw. Glutinleime schwer quellbar und unlöslich werden. Dies wird als »Gerbung« oder »permanent cross-linking« bezeichnet. Darauf beruht auch die Verfestigung fotografischer Emulsionsschichten (Abb. 2c).
- Bestimmte Chemikalien, z. B. Säuren und Basen, Salze, Ethanol u. a. m., verursachen Veränderungen der Molekülstruktur, d. h. sie denaturieren die Proteinsubstanz in vielen Fällen nicht umkehrbar und verändern deren spezifische Materialeigenschaften (Abb. 2d).
- Säuren führen zur Depolymerisation des Proteins durch saure Hydrolyse. Es entstehen kaltwasserlösliche Reaktionsprodukte (Abb. 2b).
- Als Weichmacher finden hygroskopische Substanzen Verwendung (Feuchthaltemittel, z. B. Polyalkohole wie Glycerol (Glycerin) oder Sorbitol (Zuckeralkohol, wird u. a. als Lebensmittelzusatzstoff E420 industriell eingesetzt). Sie geben Gelatinefilmen höhere Flexibilität, da sie über ein erhöhtes Wasserbindevermögen verfügen. Die Gelatine wird damit dem nativen Kollagen ähnlicher in Bezug auf dessen Wasseraufnahmevermögen im Gleichgewicht mit der herrschenden Umgebungsfeuchte.
- Für Anwendungen in der Restaurierung werden hohe Ansprüche an die Reinheit technisch hergestellter Gelatinen gestellt. In Frage kommen z. B.: Speisegelatinen, die nach der Herstellung der Rohgelatine verschnitten werden, um den Produkten die jeweils gewünschten Eigenschaften zu verleihen. Das bedeutet, je nach Charge kann sich die strukturelle, d. h. molekulare, Zusammensetzung der Gelatine, auch die Größe der Moleküle verändern, damit für die Verarbeitung wichtige physikalische Eigenschaften, wie die Gelfestigkeit oder Viskosität, weitestgehend einheitlich bleiben (siehe Tabelle 1).

Für die meisten Anwendungen in der Lebensmittelindustrie sind diese Schwankungen von geringer Bedeutung. Inwieweit diese, wenn auch mäßigen, Qualitätsunterschiede bei einem Einsatz in der Restaurierung wichtig sein können, ist derzeit nicht geklärt. Die Firmen DGF Stoess und PB Gelatins geben zur Zusammensetzung ihrer Produkte an, dass Lebensmittelgelatine zu 80 – 90% (w/w) aus Protein, zu 8–12% (w/w) aus Wasser und zu 2–4% (w/w) aus Mineralsalzen bestehen. Lebensmittelgelatine wird nicht standardmäßig entsalzt, enthält aber weder Fette noch Konservierungsmittel.

Für die Herstellung von Fotogelatine existieren keine allgemein gültigen Normen. Sie wird überwiegend alkalisch aufgeschlossen und voll entsalzt. Die Produkte müssen eine hohe Reinheit und ausgezeichnete Transparenz aufweisen. Das schließt ein, dass keine den fotografischen Prozess störenden Beimengungen, wie Schwermetalle oder Schwefelverbindungen enthalten sein dürfen.

Mechanismus der Verfestigung	Klebstofftyp	Wasseraufnahme (% w/w)	Brechungsindex
Wasserverdunstung	makromolekularer Naturstoffkleber	bis zum 8-fachen des Eigengewichts	1,516–1,534 (Gelatine)
Glasübergangstemp. (T°C)	Viskosität (mPa·s)		pH
Gelatine 220° (wasserfrei) 45° (bei 50% rF) 22° (bei 80% rF)	Knochenleim Hautleim Gelatine Fischleim Hausenblase/Störleim Fischleim Einflussfaktoren	klein bis mittel klein bis mittel mittel bis hoch mittel bis hoch sehr hoch 4000–6000 (flüssig) molekulare Masse u. deren Verteilung Konzentration Temperatur intermolekulare Wechselwirkungen Aufschluss bei Gelatine (A oder B) Denaturierung	5–7 6,5–7,4 je nach Typ 2–7 3,5–5,0 6,0–7,5 4,0–6,0

Tabelle 3: Typische Materialeigenschaften von Gelatine und anderen Proteinklebstoffen auf Kollagenbasis.
Quelle: J. L. Down: *Adhesive compendium for conservation*.
Ottawa: Canadian Conservation Institute (CCI), 2015: S. 36.

Casein

Casein ist die Bezeichnung für die wichtigsten Proteinbestandteile in Milch – der Caseingehalt in frischer Milch liegt bei etwas über 3% (w/w). Das Casein selbst ist wiederum eine Mischung mehrerer Proteine, insgesamt sind es vier, deren molekulare Masse in der Größenordnung von 20 000 bis 25 000 g/mol liegt. Casein ist nicht in Wasser löslich, wenn der pH im sauren Bereich zwischen 3,5 und 5,0 liegt. Daher flockt es beim Stehen von Milch durch bakteriell gebildete Milchsäure aus. Im alkalischen pH-Milieu wird Casein hingegen wasserlöslich und lässt sich deshalb durch Aufschluss in alkalischen Lösungen lösen.

Im Gegensatz zu den vielen anderen Eiweißstoffen, wie z. B. Kollagenhydrolysate (Glutinleime, Gelatine) ist Casein ziemlich hitzebeständig. Technisch gewonnen wird Casein durch säurefreie Fällung mit sogenannten Labfermenten. Das ausgefallene, koagulierte Produkt wird abfiltriert, gewaschen, getrocknet und pulverisiert. Es muss ausreichend entfettet sein, damit die Leime eine gute Haftfestigkeit entwickeln können. Lösungen von Caseinleimen sind ziemlich wärmestabil und weisen bei Konzentrationen von über 15% (w/w) eine hohe Viskosität auf. Caseinleime, die mit verdünnten Natrium- oder Kaliumhydroxid (NaOH oder KOH) aufgeschlossen wurden, bleiben in warmem Wasser löslich, wogegen mit Ammoniak aufgeschlossenes Casein zu unlöslichen Filmen aufrocknet. Calcium und andere divalente (2+) Erdalkaliionen verursachen die chemische Vernetzung der Proteine und bilden einen unlöslichen Klebstoff-Film. Von den technisch angewandten Caseinleimen war und ist das wasserfeste, das heißt wasserunlösliche Calciumcaseinat die gebräuchlichste Klebstoffvariante. Alkalisch aufgeschlossene Caseinleime reagieren basisch und sind daher mit alkaliempfindlichen Farbmitteln nicht kompatibel. Filme aus Caseinleimen trocknen spröde auf. Ihre Elastizität kann durch Zusätze von Glycerol (Glycerin) verbessert werden.

Caseinleime werden sehr leicht durch Mikroorganismen abgebaut. Sie werden deshalb häufig durch Zusatz von Konservierungsmitteln gegen biologischen Befall geschützt.

Kleister auf Kohlenhydratbasis

Celluloseether Tylose[®], Methocel[®]

Celluloseether sind modifizierte Naturstoffe. Zu ihrer Herstellung (Abb. 3) wird Cellulose, bzw. werden Zellstoffe, zunächst gemahlen und anschließend mit Natronlauge im Konzentrationsbereich von 18% bis zu 50% (w/w) »aktiviert« und dabei in Alkalicellulose überführt. Die Behandlung mit konzentrierter Natronlauge verursacht eine starke Quellung der kristallinen Struktur in den geordneten Bereichen der Cellulose. Die gewonnene Alkalicellulose kann mit verschiedenen Veretherungsmitteln, z. B. mit Monochlormethan (Methylchlorid, CH₃Cl), Epoxiden, z. B. Ethylenoxid (1,2-Epoxyethan C₂H₄O*) oder Propylenoxid (1,2-Epoxypropan C₃H₈O*) zu wasserlöslichen Celluloseethern umgesetzt werden. Der Polymerisationsgrad von Celluloseethern lässt sich über den ausgewählten Rohstoff, bzw. durch teilweise oxidativen Abbau steuern. Zu den technisch wichtigen Produkten gehört Methylcellulose (MC) (Tapetenkleister, 1953 von Henkel unter der Marke Methylan[®] eingeführt). MC wird häufig auch als Mischether als Methylhydroxyethylcellulose (MHEC) oder Methylhydroxypropylcellulose (MHPC) erzeugt. Dabei werden für die Synthese neben der Umsetzung der Alkalicellulose mit Methylchlorid noch Propylenoxid (Alkylenoxide oder -epoxide) zugesetzt.

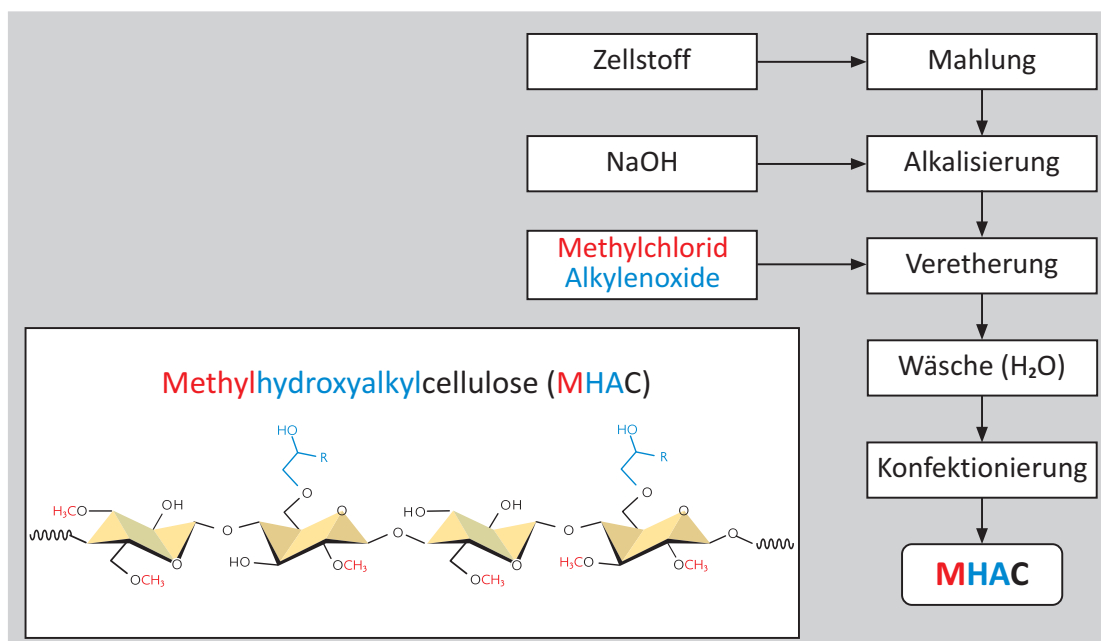


Abb. 3: Syntheseprozess von Methylhydroxyalkylcellulose (MHAC). R=H oder CH₃

Quelle: H. Sixta: *Vorlesung – Celluloseprodukte*, Wien: BOKU, 2004.

*) zu Struktur und Eigenschaften von Ethylenoxid

siehe z.B. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Ethylene-oxide>

Celluloseether sind hygroskopisch. Sie absorbieren Wasser im Feuchtgleichgewicht mit der Umgebungsluft, allerdings in unterschiedlichem Ausmaß. Bei 50% relativer Feuchte (rF) in der Umgebungsluft liegt die Menge des von Carboxymethylcellulose (CMC, oder SCMC = Natrium- [i.e. Na-] carboxy-methylcellulose) absorbierten Wassers im Gleichgewicht bei ca. 14% (w/w), im Fall von Methylcellulose (MC) hingegen nur bei etwa 7% (w/w). Wasser wirkt als nichtpermanenter Weichmacher. Mit zunehmender Absorption von Wasser, verändern sich die mechanischen Eigenschaften dieser Klebstoffe. Bei hohen Feuchtigkeitsgehalten werden Filme aus Celluloseethern weich und klebrig.

Mit Ausnahme von Ethylcellulose (EC) sind Celluloseether in kaltem Wasser löslich. Sie bilden mit zunehmendem Polymerisationsgrad (DP) viskose und thixotrope Lösungen. In wässriger Lösung verhalten sich die verschiedenen Typen der Celluloseether bei Erwärmung unterschiedlich. Methylcellulose (MC) geliert bei Temperaturen zwischen 50°C und 90°C, Ethylhydroxyethylcellulose (EHEC) fällt bei Temperaturen über 45°C aus.

Einzig Hydroxyethylcellulose (HEC) bleibt auch bei hohen Temperaturen gelöst. Die wichtigsten Kenndaten einiger Produkte sind in Tabelle 4 zusammengestellt, zu deren technischen Anwendungen und ihren Eigenschaften finden sich Hinweise in Tabelle 5.

Bisherige Untersuchungen zur Alterungsstabilität von Celluloseethern sind widersprüchlich. Die Arbeiten von Feller und Wilt (1990) zeigten, dass Ethylcellulose und die Alkoxyderivate gegenüber der Einwirkung von Wärme und Licht verhältnismäßig wenig stabil sind, was sich in ihrer Verfärbung und Oxidation manifestiert. Demgegenüber wurden Methylcellulose (MC), Methylhydroxypropylcellulose (MHPC) und Carboxymethylcellulose (CMC/SCMC) als Materialien mit hoher Stabilität charakterisiert. Allerdings wurden bei Untersuchungen erhebliche Unterschiede im Alterungsverhalten kommerzieller Produkte beobachtet, die überwiegend auf Verunreinigungen aus dem Herstellungsprozess zurückzuführen sind. Daher sollten für restauratorische Anwendungen nur gereinigte Produkte (Lebensmittelqualität / food-grade [F]) eingesetzt werden.

Die Alkylether, Methylcellulose (MC), Methylhydroxyethylcellulose (Tylose®MH, MHEC), bzw. Ethylhydroxyethylcellulose (EHEC) sind gegenüber biologischem Befall stabil. Das gilt nur eingeschränkt für Hydroxypropylcellulose (Klucel®, HPC), daher müssen deren wässrige Lösungen kühl, unter sterilen Bedingungen verwahrt werden und sollen nicht länger als maximal drei Tage im Kühlschrank gelagert werden.

Nichtionische Celluloseether, wie z.B. Methylcellulose (MC), bilden keine unlöslichen Komplexverbindungen mit Metallionen, können aber durch hohe Salzkonzentrationen ausgefällt werden. Im Gegensatz dazu bildet Carboxymethylcellulose (CMC/SCMC) ein festes Gel mit divalenten (2+) Ionen, wie z.B. Calcium (Ca²⁺). CMC reagiert auch mit Eisen (Fe²⁺ / Fe³⁺) und anderen mehrvalenten Ionen unter Vernetzung. In Gegenwart dieser Ionen wird CMC dauerhaft an die Cellulose adsorbiert und dort fixiert.

Alle Celluloseether sind empfindlich gegenüber hydrolytischen Abbaureaktionen sowohl im sauren als auch im alkalischen Milieu, denn als Derivate der Cellulose unterliegen Sie sehr ähnlichen chemischen Prozessen wie die Cellulose selbst. Wenn möglich, soll daher ein Material, z. B. ein Papierträger, vor bzw. nach einer Behandlung mit einem Celluloseether auf einen nahezu neutralen pH – etwa im Bereich von pH 5,5–8 – eingestellt werden (Feller und Wilt 1990, S. 23–24).

Der initiale pH einiger Celluloseether bei Herstellung einer wässrigen Lösung ist nachfolgen aus Literaturdaten zusammengestellt (Feller und Wilt (1990), Down (2015) und Sicherheitsdatenblätter):

Methylcellulose (MC, Culminal®)	pH 5,0 – 5,7
Ethylhydroxyethylcellulose (EHEC, wasserlöslich)	pH 5,8 – 6,0
Hydroxypropylcellulose (1% w/w bei 25°C) (HPC, Klucel®)	im Bereich von pH 5,0 – 5,9
Methylhydroxyethylcellulose (1% w/w bei 25°C) (Tylose® MH 300, MHEC),	im Bereich von pH 6,0 – 8,0
Carboxymethylcellulose (CMC, 2% w/w, DS 0,7)	pH 7,0
Carboxymethylcellulose (SCMC als Na-Salz)	pH 8,25 – 8,5

Mechanismus der Verfestigung	Klebstofftyp	Wasseraufnahme (% w/w)	Brechungsindex
Wasserverdunstung	Modifizierter Naturstoff	18% CMC** 4% HPC (Klucel®)** Film bei 25°C und 50% rF	1,50–1,53
Glasübergangstemperatur (T°C)	Viskosität (mPa·s)	pH	
MC 187-197 HPC 105 sinkt mit steigendem DS**	20–100 000 (1–2% H ₂ O-löslich*) abhängig vom DP	MC 5,0-5,7 1% HPC (Klucel®) 5,0–5,9 CMC 7,0 (2% w/w gelöst) DS 0,7**)	

Tabelle 4: Typische Materialeigenschaften von Celluloseethern.

Quelle: J. L. Down: *Adhesive compendium for conservation*.
Ottawa: Canadian Conservation Institute (CCI), 2015: S. 52.

* Prozentangaben in (w/w)

** nach Feller und Wilt (1993), Table 2.6

Typ	Anwendungen als Klebstoff und andere Anwendungen	Eigenschaften
MC	Tapeten Leder Kontaktlinsen	geruchlos bei niedrigem DS** klare Filme resistent gegen organische LM und Öle gute Klebrigkeit im nassen Zustand feste, spannungsfreie Filme nicht anfällig für biologischen Befall
CMC	Tapeten Schmutzträger in Waschmitteln	ähnlich wie MC anfälliger für biologischen Befall als MC
EC	Papier Gummi Leder Textilien	gute Lichtstabilität beständig gegenüber Wasser, Alkalien und Salze schwache Hitzebeständigkeit sehr gute Beständigkeit bei tiefer Temperatur schwer entflammbar nicht anfällig für biologischen Befall
HEC	Papier Leder Gewebe und als Verdicker	klare Filme resistent gegen organische LM, Öle und Fette wärme- und kältebeständig nicht anfällig für biologischen Befall

**) DS = Degree of Substitution – Substitutionsgrad (siehe Glossar, S. 40).

Tabelle 5: Technische Anwendungen und Eigenschaften von Celluloseethern.
Quelle: J. L. Down: *Adhesive compendium for conservation*.
Ottawa: Canadian Conservation Institute (CCI), 2015: S. 53.

Stärke

Stärke ist ein Polysaccharid mit der allgemeinen Formel $(C_6H_{10}O_5)_n$ – aufgebaut aus α -D-Glucoseeinheiten (Monomere), die über α -1,4-glycosidische Bindungen verknüpft sind. Darin liegt der wesentliche Unterschied zur Cellulose (ebenfalls $C_6H_{10}O_5$)_n, die aus β -D-Glucose aufgebaut ist und deshalb lineare Makromoleküle ausbilden muss. Wie Cellulose ist native Stärke teilkristallin. Native Stärkekörner besitzen einen kristallinen Anteil von 15–45% (w/w).

Stärke ist allerdings ein Gemisch zweier Kohlenhydratmakromoleküle, Amylose und Amylopektin. Sie besteht zu 20–30% (w/w) aus Amylose (Abb. 4a) einem Makromolekül, das aus α -D-Glucoseeinheiten besteht, die ausschließlich über α -1,4-glycosidische Bindungen verbunden sind. Amylose muss auf Grund dieser Bindungen eine helikale, d. h. gestreckt-schraubenförmige Struktur annehmen, die in der Abb. 4b als Modell dargestellt ist. Ihr Polymerisationsgrad (DP) liegt im Fall von Weizenstärke zwischen 500 bis 6 000 monomeren Einheiten.

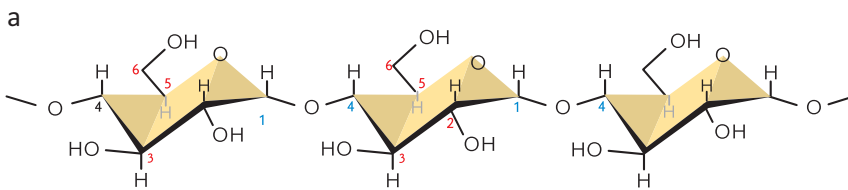


Abb. 4a: Ausschnitt aus der Struktur der Amylose.

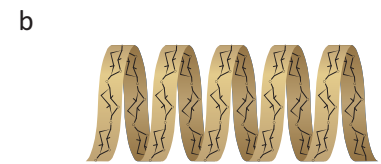


Abb. 4b: Modell der gestreckt-schraubenförmigen Hohlzylinderstruktur von Amylose.
Quelle: G. Banik und I. Brückle: *Papier und Wasser*. München: Siegl, 2015: Abb. A9.8.1, S. 576.

Die Hauptkomponente von Stärke, 70 bis 80% (w/w), ist Amylopektin, ein komplexes, weitverzweigtes Molekül mit Hauptsträngen aus α -1-4 gebundener Glucose. Zusätzlich weisen Amylopektinmoleküle ca. 5% α -1-6-Bindungen auf, die über Seitenketten gebunden sind (Abb. 5 a). Die Amylopektin-Fraktion ist verantwortlich für die teilweise Kristallinität der Stärkekörner. Zum DP wird in der Literatur ein Bereich zwischen 300 000 und bis zu 3 Millionen monomere Einheiten genannt.

Für die Klebeeigenschaften von Stärkekleistern ist Amylopektin von erheblicher Bedeutung, weil es deren Filmbildungsvermögen und Elastizität maßgeblich begünstigt.

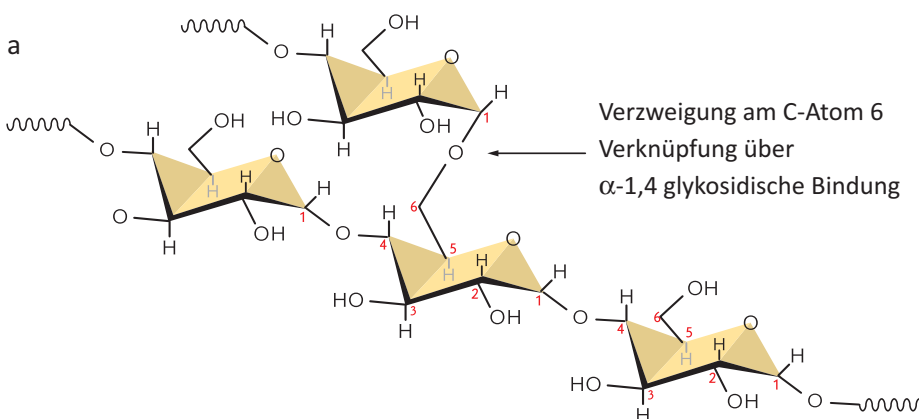


Abb. 5a: Ausschnitt aus der Struktur von Amylopektin

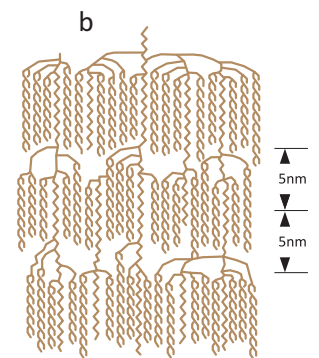


Abb. 5b: Verzweigtes »Strauchmodell« des Amylopektins.
Quelle: E. Gruber: *Papierchemie Teil 15, Trockenfestigkeit – Stärke als Additiv*. Vorlesungsskriptum zum Lehrgang »Papiertechnik« an der Dualen Hochschule Karlsruhe, 2011: Abb.12, S.15-10.
<http://www.gruberscript.net/>

In Abhängigkeit von der Spezies aus der Stärke gewonnen wurde, z. B. Weizen, Reis, Kartoffel, etc. – und deren Kultivierungsbedingungen kann der Gehalt der Amylose schwanken. In der Regel liegt das Verhältnis von Amylose zu Amylopektin bei etwa 1:3. Durch genetische Veränderung lassen sich heute Stärken erzeugen, deren Stärkekörner ausschließlich aus Amylopektin bestehen, sogenannte Wachsstärken. Für den technischen Einsatz bei der Papierherstellung und -veredelung ist das Amylopektin wertvoller, weil es schon bei relativ niedriger Viskosität eine hohe Klebkraft entfaltet, was auf die strauchartig verzweigte Struktur des Amylopektins (Abb. 5 b) zurückgeführt werden kann.

Native Stärke ist in Wasser und den meisten organischen Lösemitteln unlöslich. Ausnahmen sind Dimethylsulfoxid (DSMO) und N-Methylpyrrolidon. Bei Erwärmung einer wässrigen Suspension von Stärkekörnern über die Verkleisterungstemperatur hinaus (ca. 50–80°C), quellen die Stärkekörner und Makromoleküle, wobei sich zunächst Amylose entfaltet und freigesetzt wird (Abb. 6). Die Viskosität der Dispersion steigt dadurch deutlich an. Die Stärkekörner verlieren im weiteren Verlauf ihre Form und »lösen« sich schließlich kolloidal zu einer hochviskosen Lösung. Statt von Lösung spricht man aber korrekter von einer »Dispersion«. Die Dispersion streut das einfallende Licht und wirkt daher weiß.

Diese irreversible Desintegration des molekularen Gefüges der Stärkekörner wird durch die allmähliche Wasseraufnahme und die Trennung von Wasserstoffbrückenbindungen bei der erhöhten Temperatur verursacht. Man bezeichnet diesen Vorgang als Verkleisterung. Sie ist eine Folge der starken Wechselwirkungen zwischen den zahlreichen Hydroxylgruppen der Stärkemoleküle und Wasser. Es handelt sich aber nicht um eine echte Lösung, weil eine molekulare Netzstruktur selbst in verdünnten Lösungen noch bestehen bleibt. In der Literatur wird dieser Zustand deshalb manchmal mit »einem wassergetränkten Filz« verglichen.

Beim Erkalten eines Stärkekleisters bildet sich ein Gel. Dabei restrukturiert sich die zunächst noch knäuelartig vorliegende Amylose wieder. Sie bildet wieder helikale Strukturen aus und fällt aus der kolloidalen Lösung wieder aus (Abb. 6). Diese unerwünschte Erscheinung nennt man »Retrogradation«. Dabei handelt es sich eigentlich um einen einer Kristallisation ähnlichen Prozess, der auf einer Neubildung von Wasserstoffbrückenbindungen zwischen nahe genug nebeneinander liegenden Amylosemolekülen beruht. Die Trübung der »Lösungen« steigt dabei an, und die Stärke erlangt ihre Kaltwasser-Unlöslichkeit zurück. Dieser Effekt verstärkt sich noch im Verlauf der Alterung durch die zusätzliche Neubildung helikaler Strukturen an Amylopektinmolekülen.

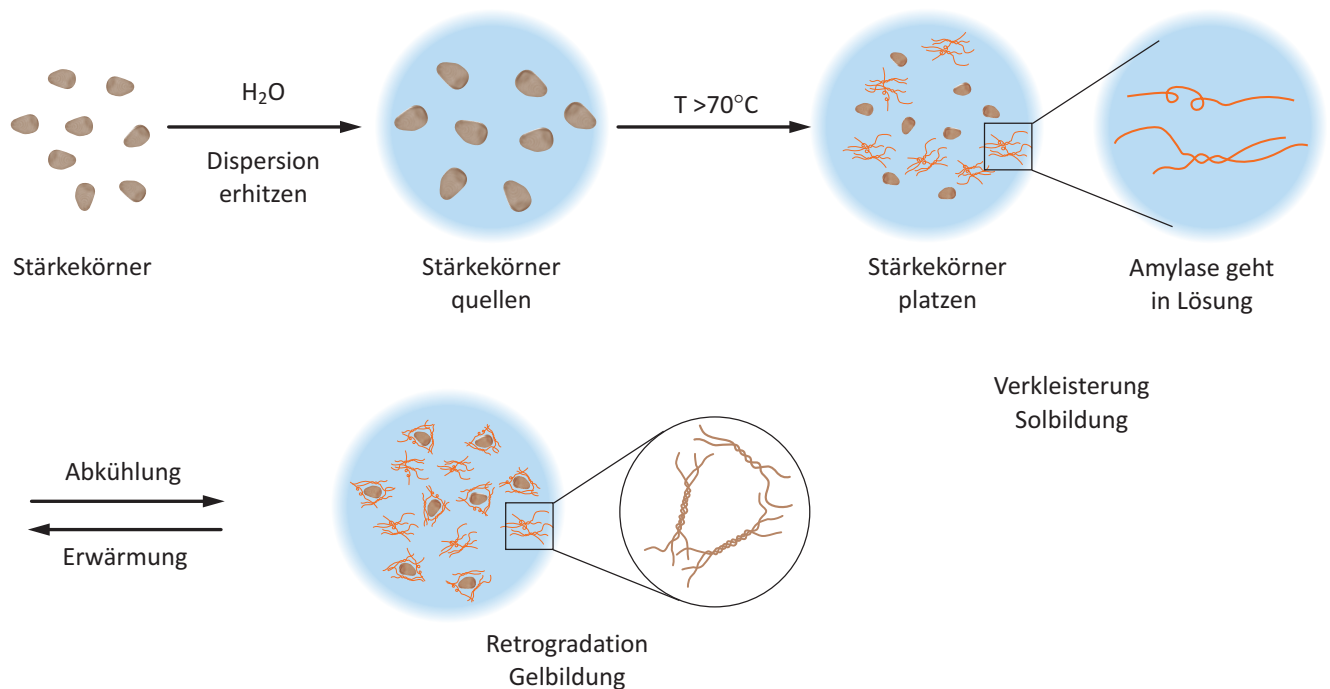


Abb. 6: Veränderung von Stärke während des Kleisterkochens (Verkleisterung) und anschließenden Abkühlens des Kleisters durch Retrogradation.

Die Eigenschaften von Stärke lassen sich durch physikalische und chemische Behandlungen in weiten Bereichen verändern:

Physikalisch:

- Durch Aufbringen einer Suspension nativer Stärke auf einen Walzentrockner, wo sie kurzzeitig – weniger als eine Minute, über die Verkleisterungstemperatur hinaus auf 100°C erhitzt wird. Dabei verkleistert die Stärke, wird dehydriert und getrocknet. Durch diesen Vorgang wird die Kornstruktur der Stärkekörner zerstört. Es entsteht eine sogenannte »Quellstärke« – auch »vorverkleisterte Stärke« genannt, die bereits in kaltem Wasser quillt und in höheren Konzentrationen geliert. Diese vorverkleisterten Fertigmischungen von Stärkeklebstoffen können ebenso wie Wellpappenkleber mit Additiven für ihre technische Anwendung ausgerüstet sein:

Mit Nassverfestigern: Kunstharze, z. B. auf Basis von Polyamiden oder Keton-Formaldehyd;

mit pH Stabilisatoren: Calciumcarbonat (CaCO_3), Natriumcarbonat (Na_2CO_3),

Borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$);

Darüber hinaus können bis zu 6% (w/w) Tannin haltige Verbindungen enthalten sein.

Chemisch:

- Durch Rösten, d.h. Erhitzen von trockener Stärke meist in Gegenwart geringer Mengen Säure. Dabei entstehen kaltwasserlösliche Produkte unterschiedlichen Abbaugrads – »Röstdextrine«, je nach Temperaturführung als Weißdextrine (95–120°C), Gelbdextrine (160–180°C) oder British Gum (180–200°C);
- unter Einwirkung von Säuren oder Enzymen durch teilweisen hydrolytischen Abbau (Dextrine) durch Veretherung, von Hydroxylgruppen der Anhydroglucoseeinheiten (AGU) im alkalischen Milieu.

Technische Bedeutung haben nur wenige wasserlösliche Derivate erlangt, Hydroxyethyl-, Hydroxypropyl- und Carboxymethylstärke, die in größerem Umfang erzeugt werden. Siehe auch den Abschnitt Stärkeether und Tabelle 6.

Stärke und Stärkeprodukte sind als Klebstoffe vorwiegend für die Klebung von Papier oder papierähnlichen Stoffen geeignet. Zu Klebstoffprodukten gehören unter anderen Gemische aus nativer Stärke und verkleisteter Stärke, die insbesondere bei der Herstellung von Wellpappe eingesetzt werden. Diesen werden Alaun, Borax und Natriumhydrogensulfat zugesetzt.

Die Eigenschaften von Stärkeklebstoffen können durch verschiedene Zusätze makromolekularer Stoffe modifiziert werden, dazu gehören z. B. Casein und Tierische Leime. Durch diese Zusatzstoffe lässt sich die Wasserfestigkeit von Verklebungen verbessern.

In der Papierherstellung finden Stärke, modifizierte Stärke und verschiedene Stärkederivate (Stärkeether) breite Anwendung, darunter kationische Stärken oder Stärkeether für die Oberflächenveredelung, sowie als Trockenverfestiger. Kationische Stärke, nichtionische und anionische Stärkeether können der Stoffmasse zugesetzt werden. Kationische Stärke wird durch ionische Wechselwirkungen an Faseroberflächen teilweise fixiert, d. h. ihr Retentionsverhalten ist gut. Nichtionische oder anionische Stärkeverbindungen bleiben einfach im Wasser des Papiers gelöst und werden im Faservlies mechanisch festgehalten. Lösliche Stärke reichert sich beim Verdunsten des Wassers infolge des Schwimmhauteffekts an den Faser-Faser-Kreuzungspunkten an. Sie verstärkt die Faser-Faser-Bindungen im Papiervlies, indem sie diese nach der Trocknung umhüllt (siehe auch Abb. 21, S. 42). Zunächst gibt es kaum Wasserstoffbrückenbindungen zwischen der Celluloseoberfläche und den Stärkemolekülen, weil die OH-Gruppen durch Wassermoleküle solvatisiert und damit gegen den Nachbarn abgeschirmt sind. Erst beim anschließenden Trocknen, wenn das Wasser verdunstet, bilden sich Wasserstoffbrücken zwischen Stärke und Cellulose aus. Dadurch verbessern sich vor allem die statischen Festigkeiten, für die die Faser-Faser-Bindungen maßgebend sind. Die gebildeten Cellulose-Stärke $-\text{OH} \cdots \text{H}$ Wasserstoffbrücken sind allerdings schwächer als die zwischen Cellulose und Wasser, bzw. diejenigen, die zwischen Stärke und Wasser auftreten. Daher werden die »Cellulose-Stärke-Brücken« im Papier beim Befeuchten durch eindringende Wassermoleküle wieder gelöst. Stärke und analoge hydrophile Additive liefern daher nur einen Beitrag zur Trockenfestigkeit. Sie bringen aber praktisch keine Verbesserung in Hinblick auf die Nassfestigkeit von Papier.

Dextrine

Dextrin wird durch hydrolytischen oder thermischen Abbau von Stärke bei Temperaturen von bis zu 200°C erzeugt (Röstdextrine). Dextrine sind kaltwasserlöslich. Dextrinleime können wegen des starken Abbaus, und der damit verbundenen niedrigen Molekülmassen von Dextrinen, mit Festkörpergehalten von 60 bis 70% (w/w) in Wasser hergestellt werden. Je nach Führung des Röstprozesses zur Herstellung des Rohdextrins erhält man Weiß- oder Gelbdextrine. Die Weißdextrine sind weniger stark abgebaut als die Gelbdextrine.

Während Stärkeklebstoffe noch eine Molekülmasse von einigen 100 000 g/mol haben, das entspricht einem Polymerisationsgrad (DP) von deutlich über 1000, führt ihr thermischer oder hydrolytischer Abbau zu Produkten (Dextrinen) mit Molekülmassen von einigen 1000 g/mol entsprechend einem DP von 10–50 monomeren Einheiten (AGU). Damit steigen Löslichkeit und Klebrigkeit, gleichzeitig aber auch die Wasserempfindlichkeit von mit Dextrinen ausgeführten Klebungen. Alle Klebungsvorgänge, die eine schnelle Zunahme der Anfangshaftung erfordern, können mit solchen Klebstoffen bewältigt werden. Wegen der guten Wasserlöslichkeit ist der Einsatz für Gummierungen, besonders auch von Flächengummierungen möglich. Die weniger stark abgebauten Weißdextrine gelieren leicht nach und ergeben dann pastenartige Produkte.

Stärkeether

Stärkeether sind Derivate der Stärke, die durch Reaktion mit mono- oder bifunktionellen Verbindungen an den verfügbaren Hydroxygruppen der Anhydroglucoseeinheiten (AGU) des Amylopektins hergestellt werden. Mono- oder bifunktional bedeutet: Die Reaktanten sind mit ein oder zwei reaktionsfähigen Gruppen ausgestattet. Durch die chemische Modifizierung der Stärke, also die Überführung in veretherte Produkte, werden ihre ursprünglichen Eigenschaften, wie Viskosität, Verkleisterungstemperatur und natürlich auch ihre Polarität, erheblich verändert. Das Ausmaß ist abhängig vom Substitutionsgrad (DS) sowie vom Typ der eingeführten Substituenten. Von den Stärkeethern sind Hydroxyethyl-, Hydroxypropyl- und Carboxymethylstärke von kommerzieller Bedeutung (Tabelle 6).

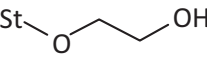
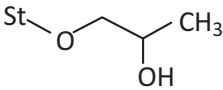
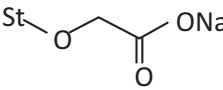
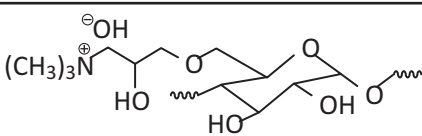
	Kollotex® 1250 *)	Sovitose® H *)	Qicksolan® CMS*)	Kationische Stärke
Gruppe	Hydroxyethyl-	Hydroxypropyl-	Carboxymethyl-	z.B. quartäre Ammoniumgruppen
Formel				
pH	7	>9,5	>10	3,5 – 6,5
DS	0,07	ca. 0,2	0,2	je nach Anwendung 0,03–0,1
Typ	nicht ionisch	nicht ionisch	anionisch	kationisch
Löslichkeit	bei > 90°C in Wasser	bei 20°C in Wasser	bei 20°C in Wasser	bei 20°C in Wasser

Tabelle 6: Typische Eigenschaften ausgewählter Stärkeether.

Quelle: I. Waltriny: *Stärkeether in der Restaurierung – für die Konsolidierung einer matten, fragmentarisch erhaltenen Malschicht*. Restauro 108, 2003: S. 572.

*) Bezugsquellen: AVEBE Business Unit, Technical Applications

AVEBE-Weg 1, NL-9607 PT Foxhol, Niederlande,

AVEBE Deutschland GmbH – Stärke- und Stärkederivate, POB 2145, D-40644 Meerbusch 2.

Je höher der Substitutionsgrad (DS), desto beständiger werden die Produkte gegenüber biologischem Abbau und gegenüber Abbauerscheinungen durch natürliche Alterung. Die wichtigsten Typen sind Hydroxyethylstärke, Hydroxypropylstärke, Carboxymethylstärke sowie kationisch modifizierte Stärkederivate (Tabelle 6). Technische Anwendung finden Stärkeether zum Schlichten von Textilien, zur Medikamentenherstellung und zur Papierveredelung. Kationische Stärke hat insbesondere für die Herstellung von Hygienepapieren als Trockenfestmittel große Bedeutung.

In der Papierindustrie werden Stärkeether für die Oberflächenveredelung und das Streichen von Papieren eingesetzt. Sie verbessern die Festigkeit und Steifigkeit von Papieren und den Widerstand der Beschichtung (eines Pigmentstrichs) gegenüber der Absorption von Druckfarben. Hydroxyethylstärke ist ein wichtiges Additiv in der Papierherstellung. Wegen ihrer ausgezeichneten Filmbildungseigenschaften dient sie auch als Klebstoff bei der Herstellung von Papiersäcken, Etiketten und verschleißbaren Umschlägen.

Kationische Stärken dienen in der industriellen Papierproduktion als Retentionsmittel sowie als Binder für Pigmentstriche auf der Basis von Kaolin. Die Vorteile von Stärkeethern gegenüber nicht modifizierten Stärkeprodukten liegen in ihrer niedrigen Verkleisterungstemperatur, höherer Transparenz und verbesserter Lagerstabilität in wässriger Lösung. Darüber hinaus ziehen Stärkeether gut auf Cellulosefasern auf.

Synthetischer Klebstoff in wässriger Lösung – Polyvinylalkohol (PVAL)

Polyvinylalkohol (PVAL) kann nicht durch direkte Polymerisation von Vinylalkohol gewonnen werden, weil Vinylalkohol eine instabile Verbindung ist, die sich sofort in Acetaldehyd umwandelt. Letzteres kann nicht zu PVAL polymerisiert werden. Man erhält PVAL nur durch Verseifung von Polyvinylacetat (PVAc) (Abb. 7):

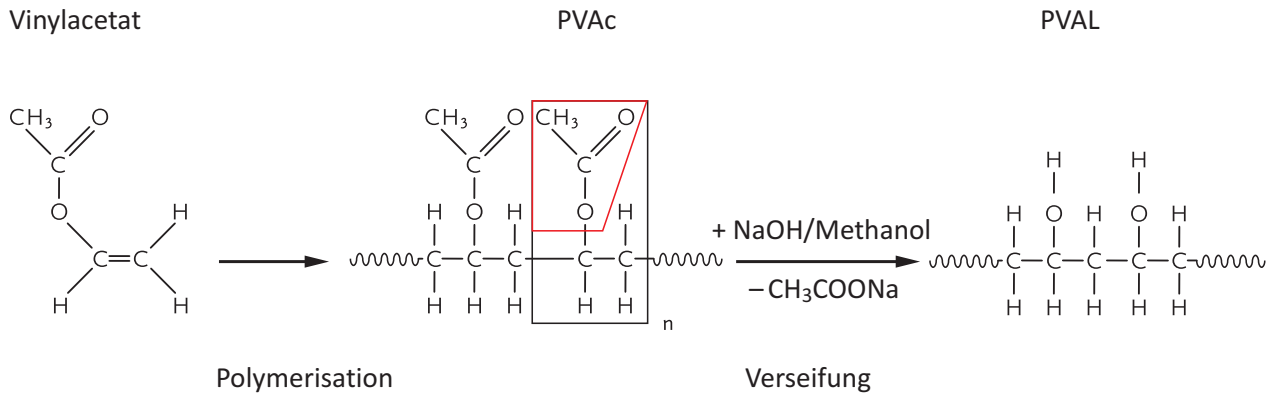


Abb. 7: Vinylacetat, dessen Polymerisation zu Polyvinylacetat (PVAc), Verseifung von PVAc mit NaOH/Methanol unter Abspaltung von Natriumacetat zu Polyvinylalkohol (PVAL). Die in Polyvinylacetat sich n-mal wiederholende Grundeinheit ist schwarz, eine der im PVAc Polymer verseifbaren Acetylgruppen ist rot umrandet.

Wenn nur ein Teil der Acetylgruppen des PVAc verseift wird, spricht man von einem teilverseiften Polyvinylalkohol (PVAL). PVAL enthält immer sowohl Hydroxyl- ($-OH$) als auch Acetylgruppen ($-OCOCH_3$). Es handelt sich dabei eigentlich um ein Copolymer des Vinylalkohols mit Vinylacetat (Abb. 8).

Polyvinylalkohol ist in seinen Eigenschaften wegen der großen Zahl von Hydroxylgruppen der Stärke durchaus ähnlich. Bei der Verseifung von Polyvinylacetat werden allerdings nicht alle Acetylgruppen abgespalten, deshalb erhält man Copolymere (mit PVAc*) mit sehr anpassungsfähigen Eigenschaften. Einige typische Materialeigenschaften von Polyvinylalkohol sind in Tabelle 7 zusammengestellt.

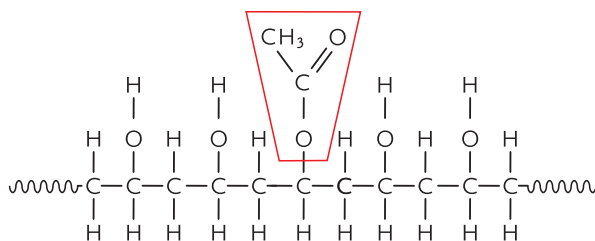


Abb. 8: Modell des bei Verseifung von Polyvinylacetat entstehenden Copolymers aus Vinylalkohol und Vinylacetat; eine durch unvollständige Verseifung im Polymer verbliebene Acetylgruppe ist rot umrandet.

Copolymere des Typs wie in Abb. 8 dargestellt werden mitunter – der Einfachheit halber – als Polyvinylalkohole bezeichnet. Je geringer der Anteil an freien Hydroxylgruppen, entsprechend einem nur niedrigen Verseifungsgrad, desto hydrophober ist der »Polyvinylalkohol«. Als Zusatzstoff macht er das Papier etwas hydrophober, d. h. PVAL bringt eine gewisse Leimungswirkung ein (Tabelle 8).

*) Bei entsprechend größeren Anteilen von PVAc als Copolymer kann auch »Polyvinylalkohol« (PVAL) daher in Verlauf seiner natürlichen Alterung etwas Essigsäure freisetzen.

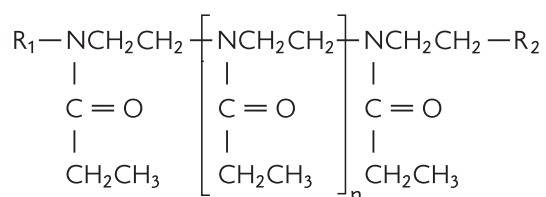
Mechanismus der Verfestigung	Klebstofftyp	Wasseraufnahme (% w/w)	Brechungsindex
Wasserverdunstung	Thermoplast synthetisch	6–8% Konditioniert bei 65% rF	1,50–1,53
Glasübergangstemp. (T°C)	Viskosität (mPa·s)	pH	
70–85	5–40 (bei 4% w/w) 1 500–100 000 (bei 20% w/w) abhängig vom DP	4-7	

Tabelle 7: Typische Materialeigenschaften von Polyvinylalkohol (PVAL).
Quelle: J. L. Down: *Adhesive compendium for conservation*.
Ottawa, Canadian Conservation Institute (CCI), 2015: S. 75.

Konstanter Hydrolysegrad	
mit sinkender molekularer Masse steigen Flexibilität Wasserempfindlichkeit Löslichkeit	mit größerer molekularer Masse steigen Viskosität Zugfestigkeit Wasserbeständigkeit Klebkraft Beständigkeit gegen Lösemittel
Konstante molekulare Masse	
mit sinkendem Hydrolysegrad (%) steigen Flexibilität Wasserempfindlichkeit Adhäsion an hydrophoben Oberflächen	mit größerem Hydrolysegrad (%) steigen Zugfestigkeit Wasserbeständigkeit Beständigkeit gegen Lösemittel Adhäsion an hydrophilen Oberflächen

Tabelle 8: Eigenschaften von Polyvinylalkohol in Abhängigkeit von Molekularer Masse und Hydrolysegrad (%)
Quelle: J. L. Down: *Adhesive compendium for conservation*.
Ottawa: Canadian Conservation Institute (CCI), 2015: Tabelle 1, S. 76.

Synthetischer Klebstoff Poly(2-ethyl-2-oxazolin) – Aquazol® , wasser- und lösemittellöslich



Bei Aquazol® handelt es sich um ein synthetisches, ungiftiges Polymer von schwach gelblicher Färbung. Es hat die chemische Bezeichnung Poly(2-ethyl-2-oxazolin) (C₅H₉NO)_n. Das Produkt wird weltweit von Polymer Chemistry Innovations Inc. (Tucson, Arizona) kommerziell vertrieben. Aquazol® ist in Wasser und in einer Reihe polarer organischer Lösemittel löslich, dazu gehören u. a. Aceton, Methylethylketon (MIK), Ethanol, Isopropanol (Propanol-2). In wässriger Lösung realisiert das Produkt einen pH um den Neutralpunkt (pH 6,4). Als synthetischer Klebstoff ist Aquazol® ein interessantes Ersatzmaterial für Polyvinylalkohol (PVAL). Auf Grund seiner Löslichkeit in Wasser und polaren organischen Lösemitteln ist es wegen seiner höheren Klebkraft auch als Substitutionsmaterial für Klucel® (HPC) bei der Herstellung von Precoated Mending Papers (Remoistenable Tissues) von Interesse. Untersuchungen von Wolbers et al. (1998) beschreiben das Material als alterungsstabil, ohne Neigung zur Verfärbung oder zur Vernetzung. Aquazol® ist hygroskopisch, allerdings wurden bisher – an in der Vergangenheit behandelten Objekten – keine durch Feuchtigkeit verursachten Veränderungen beobachtet (Arslanoglu, 2005).

Aquazol® wird mit unterschiedlicher molekularer Masse unter den Bezeichnungen Aquazol® 50, 200 und 500 angeboten, wobei Aquazol® 500 das Produkt mit der höchsten molekularen Masse und Viskosität ist.

Literatur:

Arslanoglu, J.: *Using Aquazol®: A brief summary*. AIC Paintings Specialty Group Postprints 17, AIC Washigteen DC (2005), S. 107–110.

<https://www.culturalheritage.org/docs/default-source/periodicals/paintings-specialty-group-postprints-vol-17-2004.pdf?sfvrsn=10>

Lechuga, K.: *Aquazol®-Coated remoistenable mending tissues*. Proceedings of Symposium 2011: Adhesives and Consolidants for Conservation: Research and Applications, Canadian Conservation Institute (CCI). Ottawa (2011).

<https://slidex.tips/download/information-archived-on-the-web>

Wolbers, R. C., McGinn, M. und Duerbock, D.: *Poly (2-Ethyl-2-Oxazoline): A new conservation consolidant*. Proceedings Painted Wood: History and Conservation (V. Dorge und F.C. Hault, Hrsg.), Los Angeles, The Getty Conservation Institute, 1998, S. 514–528.

https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/pdf/paintedwood1.pdf

Synthetische Dispersionsklebstoffe auf Basis von PVAc und EVA

Dispersionen sind Zweiphasensysteme, das heißt sie bestehen aus zwei nicht oder nur in geringem Umfang miteinander mischbaren Stoffen. Im Fall eines Dispersionsklebstoffs ist eine polymere Substanz, der Klebstoff, kleinteilig als unlöslicher Feststoff in Wasser dispergiert – Flüssigkeit und Feststoffpartikel sind feinst miteinander vermenget. Die Feststoffpartikel werden durch sogenannte Emulgatoren in Schwebelage gehalten und so am Verklumpen gehindert. Besonders geeignet sind Dispersionsklebstoffe für die Verklebung großflächiger Verbundsysteme aus wasser-durchlässigen Materialien. Daher finden sie häufig Verwendung in der Papierverarbeitung, in der Verpackungsherstellung sowie in der Holzverarbeitenden Industrie.

Der Abbindeprozess setzt ein, sobald das Wasser verdunstet, bzw. es von einem oder beiden Füge-teilen aufgenommen wird. Dabei erhöht sich die Konzentration der dispergierten Polymerpartikel, sie nähern sich immer mehr einander an, bis sie ineinander fließen, ein Vorgang der in der Fachterminologie Koaleszenz genannt wird. Der Prozess wird auch als Filmbildung bezeichnet. Im Verlauf der Filmbildung bindet der Klebstoff ab, was an der optischen Veränderung der Klebstoffschicht von milchig-weiß zu transparent erkennbar ist. Beim Kleben werden die Füge-teile aneinandergedrückt, wobei die notwendige Pressdauer von der Temperatur abhängt. Sie liegt in der Regel im Bereich von Minuten. Für die Filmbildung darf eine Mindesttemperatur, die so genannte Mindestfilmbildungstemperatur (MFT) nicht unterschritten werden.

Mit Dispersionsklebstoffen lassen sich keine hohen Zugscherfestigkeiten erreichen (siehe Glossar und Abb. 24, S. 44), denn sie verfügen wegen ihrer thermoplastischen Natur und ihrer relativ hohen Glasumwandlungstemperatur (T_g °C) nur über beschränkte Festigkeiten bei bereits geringer Temperatureinwirkung. Manche, z. B. Polyvinylacetat als Homopolymer, neigen bereits bei Raumtemperatur zum Kriechen (= Kalter Fluss), wenn sie dauernder Spannung ausgesetzt werden. Außerdem sind sie aufgrund eingelagerter Emulgatoren feuchtigkeitsempfindlich. Allerdings zeichnen sie sich durch eine hohe, in gewissem Rahmen vom Hersteller einstellbare, Flexibilität aus.

Polyvinylacetat (PVAc)

Polyvinylacetat (PVAc, manchmal auch als PVA bezeichnet) ist ein lineares, thermoplastisches Polymer, das mittels radikalischer Polymerisation aus Vinylacetat erzeugt wird (Abb.9). Als Homopolymer ist es in einem weiten Bereich molekularer Masse (d. h. unterschiedlichem Polymersationsgrad [DP]) verfügbar. PVAc ist unlöslich in wasserfreien Alkoholen und aliphatischen Kohlenwasserstoffen, ebenso in Wasser, bleibt aber im abgebundenen Zustand durch Wasser quellbar. Gelöst wird es von niedermolekularen Ketonen und Estern.

Die Estergruppen (rot eingerahmt in Abb. 9) sind relativ leicht alkalisch verseifbar, z. B. mit NaOH, (siehe Abb. 7), wodurch PVAc langsam in Polyvinylalkohol PVAL) umgewandelt wird. Dadurch wird das Polymer bei zunehmendem Umwandlungsgrad hydrophiler, d. h. wasserempfindlicher und bei weitgehender Überführung in PVAL schließlich wasserlöslich.

Als Grundsubstanz für Klebstoffe findet PVAc in Lösung, z. B. als UHU-Alleskleber gelöst in einem Gemisch aus Aceton und Methyleacetat sowie als wasserbasierter Dispersionsklebstoff – als sogenannter Weißleim*) – breite technische Anwendung. Eine Auswahl typischer Materialeigenschaften und Kennzahlen kommerzieller PVAc Dispersionskleber findet sich in Tabelle 9. Für die Homopolymere liegt die Glasumwandlungstemperatur (T_g) je nach Polymerisationsgrad im Bereich der Raumtemperatur, bei ca. 20 bis 29°C. Deren Mindestfilmbildungstemperatur (MFT) liegt zwischen 16 und 19°C. Aus diesem Grund enthalten viele technische Formulierungen, das sind kommerzielle Klebstoffdispersionen mit den Additiven, zusätzlich auch Copolymere des Polyvinylacetats, z. B. Ethylvinylacetat, wodurch sich Glasumwandlungs- und Mindestfilmbildungstemperaturen (MFT) von $\leq 5^\circ\text{C}$ erreichen lassen.

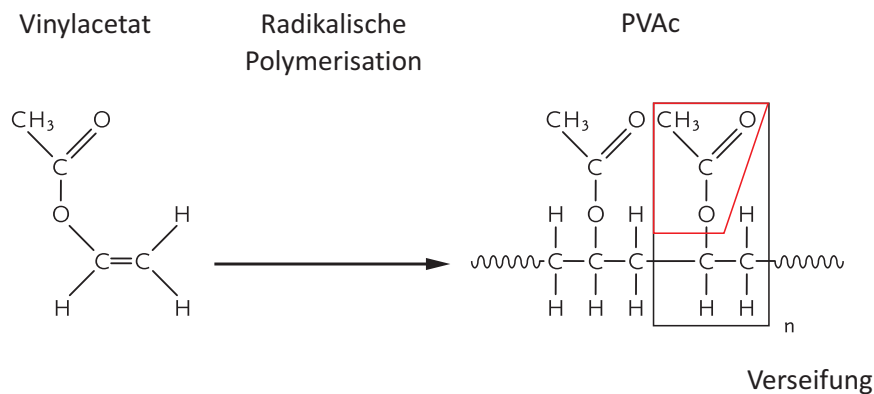


Abb. 9: Strukturformeln von Vinylacetat und Polyvinylacetat.
Die in Polyvinylacetat sich n-mal wiederholende Grundeinheit ist schwarz;
eine der verseifbaren Ester- (Acetyl-) Gruppen) ist rot eingerahmt.

Weißleimen auf Basis des PVAc-Homopolymers sind in der Regel externe Weichmacher zugesetzt. Das sind solche, die chemisch nicht an das Polymer gebunden sind. Dabei handelt es sich meist um Phthalsäureester, z. B. Dibutylphthalat oder um Maleinsäureester, z. B. Dibutylmaleat. Sie können in Größenordnungen von bis zu 20% (w/w) zugesetzt sein. Diese Substanzen migrieren im Verlauf der natürlichen Alterung aus dem ausgehärteten Klebstoff aus, wodurch sich zumindest dessen mechanische Eigenschaften deutlich verändern.

Polyvinylacetat ist wegen seiner Verseifungsneigung im basischen Milieu nicht alkalibeständig. Es ist auch nicht alterungsstabil sondern setzt im Verlauf seiner natürlichen Alterung Essigsäure frei. Der pH der Dispersionen liegt im sauren Bereich zwischen pH 3,5 und 6,2. Kommerzielle Dispersionsklebstoffe, deren pH in der Nähe des Neutralpunktes liegen, sind in der Regel durch Zusatzstoffe, z. B. Calciumcarbonat, pH-stabilisiert.

*) z. B. unter den Markenamen Mowilith®, Ponal®, Planatol®, Adhesin®

Kommerzielle PVAc Dispersionsklebstoffe sind immer Mehrkomponentensysteme, ihre Zusammensetzung wird von den Herstellern meist nicht vollständig angegeben. Die Produkte können u. a. die nachfolgend gelisteten Additive enthalten:

Feststoffgehalte: zwischen 50-60% (w/w),
 pH: pH 3,5 bis 6,2,
 auch Reste des
 Polymersiationsinitiators: ca. 0,05%, nach Angaben von de Witte et al. (1981/82),
 Kaliumperoxodisulfat (K₂S₂O₈)

Weitere Additive : Polyvinylalkohol auch Celluloseether, z. B. Ethylcellulose als nichtionisches Schutzkolloid, als ionisches Schutzkolloid Natriumcarboxymethylcellulose (SCMC); Polyacrylsäure;

Netzmittel (nichtionisch), pH Stabilisatoren, anionische Emulgatoren, u. a. Natriumlaurylsulfat, fallweise auch Biozide und Antioxidantien;

in einigen Produkten: Dibutylphthalat, Dibutylmaleat bis zu ca. 20% (w/w) als interne Weichmacher

Mechanismus der Verfestigung	Klebstofftyp	Wasseraufnahme (% w/w)	Brechungsindex
Wasserverdunstung	Thermoplast synthetisch	1–8	1,46–1,47
Glasübergangstemp. (T°C)	Viskosität (mPa·s)	pH	
28–40	ca. 2 000 (typische Dispersion)	4–5 flüssige Dispersion 4–7 im wässrigen Extrakt des abgebundenen Films	

Tabelle 9: Typische Materialeigenschaften von Polyvinylacetat (PVAc) Dispersionsklebstoffen.

Quelle: J. L. Down: *Adhesive compendium for conservation*.
 Ottawa: Canadian Conservation Institute (CCI), 2015: S. 56.

Ethylenvinylacetat (EVAc oder EVA)

Ethylenvinylacetat (EVAc) ist ein Copolymer des Polyvinylacetats (PVAc) mit einem niedrigen Gehalt von Ethylen als Copolymer (Abb.10). Die in die lineare Polyvinylacetatkette eingefügten Ethylengruppen dienen als interne, das heißt chemisch gebundene Weichmacher.

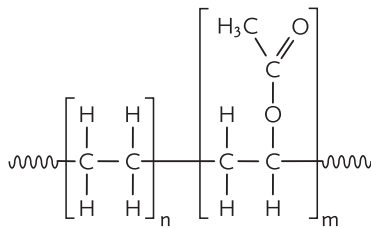


Abb. 10: Strukturformel von Ethylenvinylacetat (EVAc), das Polymer ist aus PVAc (m Einheiten) und Ethylen (n Einheiten) aufgebaut, wobei bei Klebstoffen der Ethylenanteil im Copolymer zwischen 17% und 30% (w/w) liegt.

Kommerzielle EVAc-Dispersionen sind frei von externen – also chemisch nicht an das Polymer gebundenen – Weichmachern. EVAc weist eine gute Wärme- und Alterungsbeständigkeit auf und im Vergleich zu reinem PVAc mit ca. 3°C eine deutlich niedrigere Mindestfilmbildungstemperatur (MFT) und Glasübergangstemperatur (Tg°C), die bei etwa 5°C liegt. Der Klebstoff hat hohes Anfangshaftvermögen, gute Kriechfestigkeit und ist wasserfest und alkalibeständig. Eine Auswahl typischer Materialeigenschaften und Kennzahlen kommerzieller EVAc Dispersionskleber findet sich in Tabelle 10.

Kommerzielle EVAc Dispersionsklebstoffe* sind Mehrkomponentensysteme mit Feststoffgehalten zwischen 50 und 60% (w/w). Der pH liegt meist im Bereich von 4,5–5,0.

Die exakte Zusammensetzung wird von Herstellern meist nicht vollständig angegeben. Die Produkte können u. a. die nachfolgend gelisteten Additive enthalten:

- Polyvinylalkohol auch Celluloseether, z. B. Ethylcellulose als Schutzkolloide;
- Netzmittel (nichtionisch), pH-Stabilisatoren, anionische Emulgatoren, u. a. Natriumlaurylsulfat;
- Koaleszenzmittel (bis zu ca. 3% w/w);
- fallweise auch Biozide und Antioxidantien.

Eigenschaften	Anteil von Ethylen im Copolymer (% w/w)		
	17%	25%	31%
Tg (°C)	0	-20	-30
Wasserbeständigkeit	gut	mittelmäßig	schlecht
Klebkraft für Papier	ausgezeichnet	gut	mittelmäßig
Abbindegeschwindigkeit	ausgezeichnet	gut	mittelmäßig

Tabelle 10: Ethylenvinylacetat Dispersionsklebstoffe (EVAc); typische Materialeigenschaften in Abhängigkeit Ethylenanteil (% w/w) im Copolymer.

Quelle: J. L. Down: *Adhesive compendium for conservation*.

Ottawa, Canadian Conservation Institute (CCI), 2015: S. 67, Table 1.

*) z. B. unter den Markennamen Eukalin

Glossar

Die Präzisierung von Begriffen ist für ein nicht wirklich gefestigtes Fach- und Forschungsgebiet, wie die Konservierungswissenschaft von entscheidender Bedeutung, denn nur dadurch wird es möglich, Phänomene eindeutig zu fassen und sie verbal zu kommunizieren. Die Konservierungswissenschaft hat erst vor ca. 15 Jahren begonnen, eine eigene einheitliche Fachterminologie zu entwickeln, bzw. diese aus nahe liegenden Gebieten der Materialwissenschaften und deren technischer Normung zu adaptieren.

Die bisherigen Bemühungen zur Entwicklung einer eigenen Fachterminologie für die Konservierungswissenschaft vollzogen sich allerdings überwiegend im englischen Sprachraum. Nur wenige einschlägige Fachterme haben bisher auch in deutscher Übersetzung Eingang als allgemein akzeptierte Begriffe in die internationale Normung gefunden. Ein Beispiel dafür ist die Europäische Norm EN 15898:2011 »*Erhaltung des kulturellen Erbes – Allgemeine Begriffe*«.

Das folgende kurze Glossar beschränkt sich auf eine Auswahl von Begriffen aus der Klebstoff- und Papiertechnologie. Es wurde – wenn keine andere Quelle genannt ist – aus dem Glossar des Buches »*Materials for conservation*« (V. Horie 2010) sowie jenem in »*Papier und Wasser...*« (G. Banik und I. Brückle 2015) zusammengestellt.

Abbinden

Umwandlung des flüssigen Klebstoffs in den festen oder gehärteten Zustand durch einen chemischen oder physikalischen Vorgang.

Abbindegeschwindigkeit

Festigkeitszunahme eines Klebstoffs in der Klebefuge pro Zeiteinheit. Sie hängt ab von:

- Dem Mechanismus des Abbindens – entweder physikalisch oder chemisch,
- der Temperatur,
- der Klebefugenstärke.

Bei wasserbasierten Nassklebstoffen:

- Von der Saugfähigkeit der Fügeteile gegenüber Wasser.

Abbindezeit

Zeitraum den eine Klebung nach dem Fügen zum Abbinden benötigt, bis sie der vorgesehenen Beanspruchung standhalten kann.

Adhäsion

Adhäsionskräfte werden durch physikalische Wechselwirkungen auf molekularer Ebene verursacht. Es handelt sich um Anziehungskräfte von sehr geringer Reichweite, die jeweils an Grenzflächen fester Stoffe auftreten (Abb. 11). Dabei wird zwischen *mechanischer* und *spezifischer Adhäsion* unterschieden:

Die **mechanische Adhäsion** wird durch mechanische Verankerungen von einem Material, z. B. einem Klebstoff in den Oberflächenporen eines weiteren Materials – also dem Fügeteil – verursacht.

Die **spezifische Adhäsion** dagegen ist eine Folge physikalischer Wechselwirkungen zwischen den Molekülen zweier Materialien, Klebstoff und Fügeteilen – in Ausnahmefällen auch chemischer Bindungen. Letztere können auch durch Haftvermittler (Primer) zwischen beiden Materialien etabliert werden.

Voraussetzungen für die Adhäsion:

- Der Klebstoff muss flüssig sein, die Oberfläche des Fügeteils benetzen, d. h. sie vollständig beschichten, auch in Poren, Vertiefungen und Spalten der Oberflächen von Fügeteilen eindringen können. Er muss daher zunächst auf molekularer Ebene mit dem Material der Fügeteile physikalische – seltener chemische – Bindungen eingehen können.
- Die Oberflächen der Fügeteile müssen gereinigt sein und so nicht »bindungsfähige« Beläge entfernt werden. Für die Bildung möglichst vieler – auch mechanischer – Adhäsionsbindungen können die Oberflächen der Fügeteile zusätzlich aufgeraut werden.

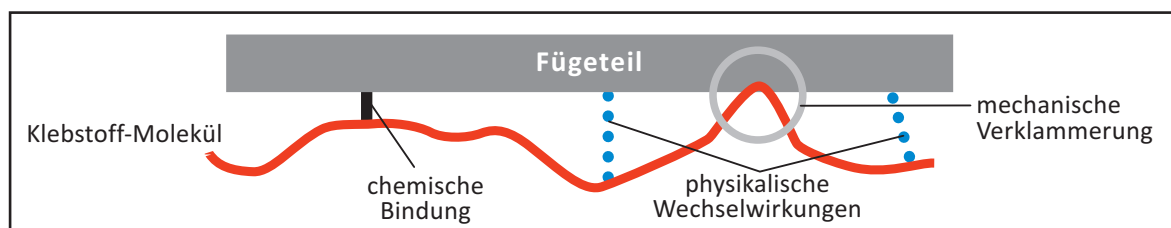


Abb. 11: Schematische Darstellung aller zwischen einem Klebstoff-Makromolekül und einem Fügeteil theoretisch möglicher Adhäsionskräfte. Chemische Bindungen treten nur selten auf. Ein Beispiel, bei dem sie nachweisbar sind, wäre die Kombination – Holz und Polyurethan.

Quelle: Fonds der Chemischen Industrie: *Die Kunst des Klebens*. Frankfurt/Main, 2015: Abb. 3, S.14.

<https://www.vci.de/fonds/downloads-fonds/unterrichtsmaterialien/2015-11-unterrichtsmaterial-klebstoffe-textheft.pdf>

Anhydroglucose Unit (AGU)

(gr. *an* = nicht, *un*; *hydor* = Wasser, d. h. »Glucose ohne Wasser-¹) monomerer Grundbaustein der Cellulose bzw. der beiden polymeren Komponenten in Stärke – Amylose und Amylopektin. Die AGU entspricht einem Glucosemolekül ($C_6H_{12}O_6$), von dem ein Wassermolekül (H_2O) beim Aufbau der polymeren Struktur durch eine Kondensationsreaktion abgespalten wurde. In der polymeren Struktur liegt sie also als $(C_6H_{10}O_5)_n$ vor. Ihre Molmasse beträgt [gerundet] 162 g/mol). Siehe auch Abb. 19, S. 40.

Benetzung

Fähigkeit einer Flüssigkeit, z. B. eines Klebstoffs, in Kontakt mit der Oberfläche eines Feststoffs – des Fügeteils – zu treten und diesen Kontakt aufrechtzuerhalten. Benetzung ist das Ergebnis molekularer Wechselwirkungen zwischen den Molekülen der Flüssigkeit und denen des Feststoffs. Ein gutes Benetzungsverhalten sagt aber nichts darüber aus, wie gut und zeitbeständig die Haftung zwischen Klebstoff und Fügeteilen ist.

Beständigkeit

Widerstandsfähigkeit eines Werkstoffs gegen chemische Substanzen, z. B. Wasser, Reinigungsmittel, Salze, Gase und mechanische Belastungen, d. h. statische und dynamische Kräfte, Eigenspannungen oder auch physikalische Einflüsse wie z. B. Temperatur oder elektromagnetische Strahlung.

Casein

(lat. *caseus* = Käse) auch Kasein, Bezeichnung für eine Gruppe von Phosphorproteinen in Milch, die ca. 80% (w/w) der Eiweißstoffe in Kuhmilch ausmachen. Kuhmilch enthält insgesamt 3 bis 3,5% (w/w) Casein, das entweder durch Ansäuern der Milch oder mit Hilfe von Labfermenten ausgefällt wird. Durch den Aufschluss von Casein im alkalischen Milieu, z. B. mit Borax* ($Na_2[B_4O_5(OH)_4] \cdot 8H_2O$) oder Ammoniak, lassen sich wasserlösliche Caseinate erzeugen, die bis ins 20. Jh. weite Verbreitung u. a. als Bindemittel von Pigmentstrichen bei der Herstellung gestrichener Druckpapiere gefunden haben. Mit Formaldehyd (Gerbstoff) können Caseinfilme zu einem wasserfesten Film gehärtet werden.

Caseinleim

traditionelles Binde- und Klebemittel, u. a. Bestandteil in Temperafarben sowie im Pigmentstrich gestrichener Kunstdruckpapiere ab der 2. Hälfte des 19. und im frühen 20. Jh. Caseinleime fanden verbreitet auch Anwendung als Klebemittel für die Verleimung von Holz.

Zur Herstellung wässriger Leime werden eine wässrige Aufschlammung des Caseinpulvers (reine, entfettete Qualität) mit Boraxlösung* oder einer Lösung von Ammoniumhydrogencarbonat versetzt (alternativ kann auch Ammoniak (25% w/w) eingesetzt werden. Dabei entstehen wasserlösliche Caseinate. Caseinleim bildet sehr harte, meist aber nicht spannungsfreie Filme. Diese lassen sich mit Formaldehyd, auch durch Zusatz von ca. 15% Aluminiumsulfat (w/w bezogen auf die Leimkomponente) zu wasserfesten Filmen härten. Casein wird leicht von Mikroorganismen befallen und abgebaut, weshalb häufig fungizide Substanzen zugesetzt werden. In der restauratorischen Fachliteratur sind dazu z. B. Nelken-, Lavendel-, Rosmarinöl oder eine Lösung von Tributylzinnoxid (2% in Ethanol) angeführt.

Celluloseether

chemisch modifizierte Cellulose, Celluloseether werden durch meist partielle Substitution der Wasserstoffatome an den verfügbaren Hydroxylgruppen von gelöster Cellulose hergestellt. Substituenten sind u. a. Methylgruppen (*Methylcellulosen MC*), Hydroxypropylgruppen (*Hydroxypropylcellulosen, Klucel®*) oder Carboxyethylgruppe (*Carboxymethylcellulosen CMC, bzw. als Natriumsalz SCMC*). Die Eigenschaften der Cellulo-

*) *Borax ist als fruchtschädigend klassifiziert, daher soll heute von seinem Einsatz für den alkalischen Caseinaufschluss abgesehen werden und stattdessen Ammoniumhydrogencarbonat oder Ammoniak verwendet werden.*

seether, insbesondere ihr Löseverhalten in Wasser oder organischen Lösemitteln werden entscheidend durch die jeweiligen Substituenten und das Ausmaß der Substitution – dem Substitutionsgrad – bestimmt. Technisch eingesetzt werden Celluloseether u. a. als Tapetenkleister, als Leimstoffe in der Papiererzeugung, Verdicker in Lebensmitteln, auch Schmutzträger in Waschmitteln. In der Papierrestaurierung finden sie Anwendung als Papierverfestiger, Klebstoffe und Reinigungsgele.

Collagen

internationalisierte Schreibweise für Kollagen.

Copolymer

Ein polymeres Molekül, das durch Polymerisation von zwei oder mehreren chemisch unterschiedlichen Monomeren entsteht, ein Beispiel ist Ethylen-Vinylacetat (EVAc), das aus Vinylacetat und Ethen (C_2H_4) hergestellt wird.

Cyanoacrylate

Cyanoacrylate, auch als Cyanacrylate bezeichnet, sind Reaktionsklebstoffe, die durch Luftfeuchtigkeit auf fast allen Oberflächen sekundenschnell aushärten.

DS-Wert (Substitutionsgrad von Celluloseethern auch Degree of Substitution)

Der DS –Wert gibt an, wie viele der drei reaktionsfähigen OH-Gruppen einer Anhydroglucose-Einheit (AGU) in Cellulose verethert, d. h. »substituiert« sind. Es handelt sich dabei um einen statistischen Mittelwert, der maximal den Wert drei annehmen kann wenn alle OH– entlang der Celluloseketten – jeweils drei pro Anhydroglucose-Einheit verethert sind (siehe auch Abb. 19, S. 41). Die wichtigste Eigenschaft, die über den Substitutionsgrad von Cellulosederivaten eingestellt werden kann, ist die Löslichkeit von Celluloseethern. Die Löslichkeit durchläuft mit zunehmender Substituierung verschiedene Stadien. Angeführt sei hier der Einfluss des DS-Werts auf das Löseverhalten von Methylcellulosen (MC) Bis einem DS-Wert von etwa 1,0 ist MC nur in alkalischen Lösungen, bei einem DS zwischen ca. 1,2 bis 2,5 ist MC in Wasser löslich. Der hydrophobe Charakter der CH_3O- (Methylether-) Gruppe auch dadurch zum Ausdruck, dass Methylcellulosen mit einem DS von über 2,5 organischen Lösemitteln gut löslich sind, wobei die Übergänge fließend sind.

Denaturierung

(lat. *natura* = *Gestalt, Form, de* = *weg oder aus*; d. h. *aus der molekularen Form gebracht*) Die z.T. irreversible Veränderung der räumlichen Struktur von Proteinen physikalische Einflüsse, z. B. durch Hitze, wodurch Proteinemoleküle unumkehrbar koagulieren oder durch oder chemische Einflüsse, etwa Behandlung mit Säuren oder Basen. Siehe auch Abb. 2, S. 9.

Dextrine

(franz. *Dextrin*; abgeleitet von lat. *dexter* = *rechts* [wegen seiner rechtsdrehenden Wirkung auf die Ebene des polarisierten Lichts]) bei Temperaturen zwischen 160 und 200°C (Röstdextrine), durch Säureaufschluss oder enzymatisch abgebaute Produkte der Stärke mit einem Polymerisationsgrad (DP) im Bereich zwischen 10 und 50 monomeren (AGU) Einheiten. Dextrine sind meist schwach gelblich gefärbt und im Gegensatz zu nativer Stärke bereits in kaltem Wasser kolloidal dispergierbar.

Dispersion

(lat. *dispargere* = *verteilen oder zerstreuen*) bezeichnet ein Gemisch aus mindestens zwei Stoffen, die nicht miteinander mischbar und nicht reaktionsfähig sind. Dabei sind die Partikel der dispergierten Substanz in einem Dispersionsmedium – auch kontinuierliche Phase genannt – verteilt. Im Fall von Dispersionsklebstoffen ist das Dispersionsmedium Wasser (Flüssigkeit) und die in ihm dispergierte Substanz (Feststoff) das Klebstoffpolymer. In der Regel werden Dispersionen entsprechend der Teilchengröße der dispergierten Substanz eingeteilt: Heterogene Mischungen mit Teilchengrößen von 1 nm* bis 1 µm** nennt man kolloid disperse Systeme, auch kolloidale Lösungen. Ab Teilchengrößen von > 1 µm (1000 nm) spricht man von grob dispersen Systemen oder Suspensionen. Bei Teilchengrößen von < 1 nm handelt es sich um molekular disperse Systeme oder echte Lösungen, die sich physikalisch homogen verhalten und nicht mehr mit physikalischen Mitteln trennbar sind.

*) 1 nm = 10^{-9} m, **) 1 µm = 10^{-6} m

Dispersionsklebstoffe

bei Dispersionsklebstoffen, die quantitativ zu den wichtigsten Klebstoffsystemen gehören, dient überwiegend Wasser als flüssige Phase, in der die Klebstoffpolymere als feste Phase mit Teilchengrößen von 50 – ca. 500 nm*) dispergiert vorliegen, wobei Zusatzstoffe, Stabilisatoren und Emulgatoren, deren Abscheidung verhindern. Die Klebstoffpartikel sind von einem Schutzkolloid umhüllt (Abb. 12), das deren Zusammenballung in der flüssigen Phase verhindert, ihr Zusammenfließen (Koaleszenz) beim Abbinden aber nicht behindert.

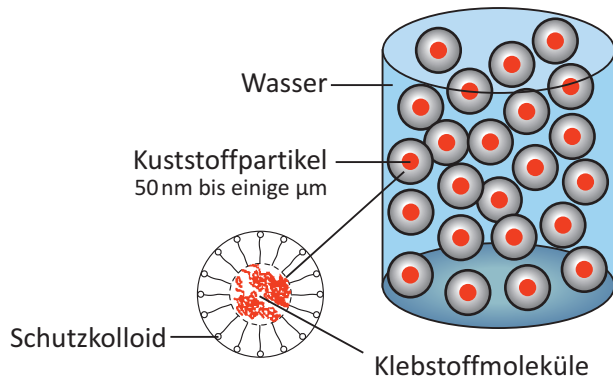


Abb. 12: Dispersion unlöslicher Klebstoffpartikeln (rot, Größe 50 – ca. 500 nm) in Wasser (blau). Um deren vorzeitige Zusammenballung in der Dispersion zu verhindern, sind die Partikel mit einem Schutzkolloid ausgerüstet.

Quelle: B. Momper: *Wo kommen die Klebstoffe her? Die verschlungenen Wege vom Rohstoff zum Klebstoff*. Vortrags-PPT, Detmold, 17. Jowat-Seminar, 2018.

https://www.jowat.com/fileadmin/dokumente/Symposium_2018/Vortraege/Vom_Rohstoff_zum_Klebstoff_IVK_Momper.pdf

*) 1nm = 10⁻⁹m

Typische Feststoffgehalte in Dispersionsklebern liegen im Bereich von 40 bis 70% (w/w). Das Abbinden dieser Klebstoffgruppe wird durch die Entfernung der flüssigen Phase eingeleitet. Übrig bleiben die Klebstoffpolymere, die zur Klebschicht verschmelzen (Filmbildung), wobei eine Mindestfilmbildungstemperatur (MFT) nicht unterschritten werden darf. Polyvinylacetat (PVAc), Ethylvinylacetat (EVAc), Acrylate, Kautschuke und Polyurethane sind einige wichtige Polymere die als Grundsubstanzen für Dispersionsklebstoffe Anwendung finden. Beim Einsatz von Dispersionsklebstoffen ist zu beachten, dass die flüssige Phase entweichen können muss, daher können für Wasser nicht durchlässige Werkstoffe, wie Metalle und Gläser mit ihnen nicht verklebt werden; zumindest eine Fügeiteilfläche muss durchlässig für Wasser bzw. Wasserdampf sein, damit der Klebstoff abbinden kann.

Fügen

Das Verbinden von Teilen, die ein Ganzes bilden sollen mittels eines Klebprozesses. Andere Methoden zum Verbinden von Teilen sind z. B. Schweißen, Löten oder Nieten.

Fügeteile

Werkstoffe, die durch Klebstoffe miteinander verbunden werden bzw. verbunden sind.

Glutinleime

(lat. *glutinum* = *Leim*) Leime, die durch einen wässrigen Heißextrakt (60 bis 65°C) aus dem Kollagen tierischer Bindegewebe, z. B. Haut und Lederresten, Knorpeln, Rinderspalt sowie Knochen, gewonnen wird. Sie stellen im Wesentlichen wässrige Lösungen von hydrolysiertem Kollagen, dem Gerüsteiweiß des Bindegewebes, dar. Reinstes Glutin ist Gelatine. Glutin ist auch die Bezeichnung für historische Klebstoffe auf Eiweißbasis, die für Holz, Pappe, Papier, Leder und Gewebe Anwendung fanden. Nicht verwechselt werden darf es mit Gluten oder Klebereiweiß, einem Kleber aus Proteinen, die aus den Samen einiger Getreidearten gewonnen werden.

In der historischen Papiererzeugung waren sehr reine Glutinleime als Leimstoffe für die Oberflächenleimung von Papier in Gebrauch. Es handelte sich dabei um verdünnte, möglichst ungefärbte Lösungen aus teilhydrolysier-

tem Kollagen, das warm – bei 60 bis 65°C –, aus Knochen, Haut, Knorpeln oder Pergament extrahiert oder aus sauren Molken hergestellt wurde. In solche Leimlösungen wurde das trockene Rohpapier in einem getrennten Arbeitsschritt für die Leimung getaucht, anschließend getrocknet und geglättet.

Gel

(lat. *gelatus = gefroren*) feindisperses, d. h. kolloidales, System aus mindestens einer festen und einer flüssigen Phase. Bei der festen Phase kann es sich unter anderem um ein Netzwerk linearer Polymere handeln, das durch Wasserstoffbrücken zusammengehalten wird. Beide Phasen, z. B. Cellulose oder Gelatine (Feststoff) und Wasser (flüssige Phase), durchdringen einander vollständig und bilden einen viskoelastischen Festkörper.

Gelatine

(lat. *gelatus = gefroren*) Protein, das aus unlöslichem, heute entfettetem Bindegewebe hergestellt wird, hauptsächlich aus Haut und Knochen von Rindern oder Schweinen. In der industriellen Gelatinerzeugung wird das aufbereitete Rohmaterial entsprechend dem Vernetzungsgrad des enthaltenen Kollagens entweder sauer oder alkalisch aufgeschlossen (Kolbe 2001). Das Kollagen wird dadurch teilweise hydrolysiert, d. h. die Moleküle werden verkleinert. Die Molekülmasse der Hydrolyseprodukte sinkt mit zunehmendem Hydrolysegrad. Durch die Hydrolyse werden niedermolekulare Produkte wasserlöslich und lassen sich über die wässrige Phase extrahieren. Gelatine ist wasserquellbar, bei Temperaturen von 60 bis 65°C wasserlöslich. Gelatine denaturiert, wenn sie einer Temperatur über 70°C ausgesetzt wird.

Glasübergangstemperatur (T_g °C)

Kenngroße zur Beschreibung der Formbeständigkeit von polymeren Werkstoffen in Abhängigkeit von der Temperatur. Sie ist als die Temperatur definiert, unterhalb der ganz oder teilweise amorphe, polymere Materialien aus dem hochviskosen, gummielastischen in den glasartigen oder hartelastischen, spröden Zustand übergehen.

Haftklebstoff

Stets leicht klebriges Polymer, das unter leichter Druckeinwirkung sofort an den meisten Festkörperflächen haftet. Haftklebstoffe sind als Klebstoffbeschichtungen von Klebebändern weit verbreitet. Sie stellen hochviskose Flüssigkeiten dar – daher ihre Klebrigkeit. Sie binden aber nicht ab und migrieren daher mit zunehmender Alterung in Festkörperflächen ein, auf die sie aufgebracht wurden.

Homopolymer

ein aus vielen identischen Grundeinheiten – den Monomeren – aufgebautes polymeres Molekül, z. B. Polyvinylacetat mit Vinylacetat als einziger monomerer Einheit.

Hydrogel

ein Gel, bei dem Wasser das Quellmedium bzw. das Dispersionsmedium ist.

Hydrokolloid

gr. *hydro = Wasser, kolla = Leim*) Gruppen von Polysacchariden und Proteinen, meist Naturstoffen, die in Wasser kolloidale Lösungen und Gele bilden können. Dazu gehören: Stärke, Cellulose und Cellulosederivate (z. B. Carboxymethylcellulose), pflanzliche Leime (z. B. Funori oder Gummi arabicum), Gelatine, Caseinate u. a. m.

Kalter Fluss

Term für die Fließfähigkeit einer Klebschicht bei Raumtemperatur (siehe auch Kriechfestigkeit).

Der Begriff ist auch als technische Bezeichnung für den Trocknungs-/Abbindeprozess von Kunststoffdispersionen in Gebrauch, also für das »Zusammenfließen« (die Koaleszenz) der dispergierten Polymer- oder Klebstoffpartikel. Dieser Prozess beginnt mit der Verringerung des Wassergehalts der Dispersion und ist erst mit der vollständigen Verdunstung des Wassers abgeschlossen. Weil der Prozess ohne weitere Wärmezufuhr abläuft, wird er als »kalt« bezeichnet.

Kappa Zahl

Kennzahl aus der Zellstoffprüfung als Maß für die relative Härte, die Bleichbarkeit und den Aufschlussgrad, d. h. die Delignifizierung von Zellstoffen. Die Kappa Zahl kann in Näherung für Aussagen zum Restligningehalt in Zellstoffen, bzw. anderer dort vorhandener leicht oxidierbarer Begleitstoffe herangezogen werden. Die Ermittlung der Kappa Zahl nach DIN 54357 erfolgt durch Titration einer 0,02 molaren Kaliumpermanganatlösung ($3,161 \text{ g/l KMnO}_4$) mit 0,2 molarer Natriumthiosulfatlösung ($= 49,56 \text{ g/l Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) mit Kaliumiodid (KI, 1 mol/l) als Indikator. Ein gemäß DIN/ISO 9706 alterungsbeständiges Papier muss eine Kappa Zahl von kleiner 5 aufweisen, wobei eine ganze Kappa Zahl Einheit einem Ligninanteil von 0,12% (w/w) im Zellstoff entspricht; Kappa 5 entspricht somit 0,6% (w/w) Lignin. Die Kappa Zahl wird nach Norm an Zellstoffproben gemessen. Bei Messungen an Fertigprodukten wird die Kappa Zahl durch alle in einem Produkt vorhandenen oxidierbaren Additive beeinflusst (der Wert steigt an), z. B. mit KMnO_4 bleichbare Farbstoffe oder Antioxidantien.

Kationische Stärke

Derivate der Stärke, die in Gegenwart von Alkali durch Reaktion von Stärke mit Verbindungen gebildet werden, die tertiäre Amino- (NR_3) oder quartäre Ammoniumgruppen (NR_4^+ , siehe. blauer Kreis in Abb.13) enthalten. Kationische Stärken werden heute in der Papierherstellung als Trockenfestigkeitsadditive eingesetzt. Im Vergleich zu nativen Stärken infolge ihrer positiven Ladung weisen sie ein deutlich besseres Retentionsverhalten gegenüber dem Faserstoff auf. Kationische Stärken ziehen auf die Fasern auf und verstärken die Faser-Faser-Bindungen im Faservlies an den Kreuzungspunkten. Siehe auch Abb. 21, S. 41.

*) R steht für einen organischen Rest

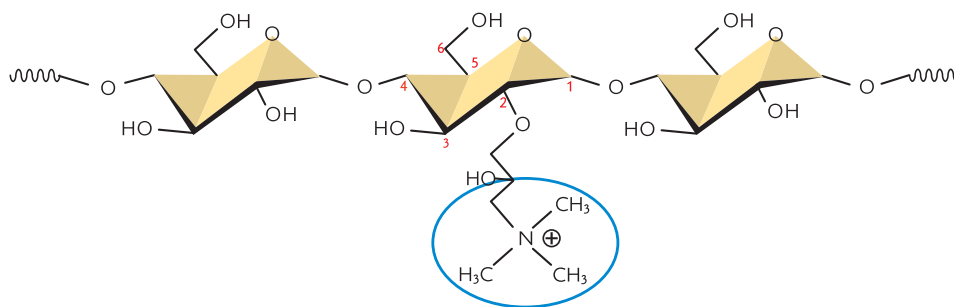


Abb. 13: Kationische Stärke, eine der positiv geladenen quaternären Aminogruppen ist blau eingerahmt.

Quelle: E. Gruber: *Papierchemie: Teil 14, Retention und Fixierung*. Vorlesungsskriptum zum Lehrgang »Papiertechnik« an der Dualen Hochschule Karlsruhe (2011): S. 14–6.
<http://www.gruberscript.net/>

Kleben

Das Verbinden von gleichen oder ungleichen Werkstoffen mit Hilfe eines Klebstoffs, also einem polymeren filmbildenden Material, das Werkstoffe aufgrund von Oberflächenhaftung (Adhäsion) und innerer Festigkeit (Kohäsion) zusammenhalten kann.

Klebefestigkeit

Kraft, die in Form von Spannung, Druck, Biegung, Schälung, Stoß, Spaltung oder Scherung zum Lösen einer Klebung erforderlich ist oder auf eine Klebeverbindung wirkt.

Klebstoff • Definition nach DIN EN 923

Ein nicht metallischer Werkstoff, der Festkörper durch Oberflächenhaftung (Adhäsion) und innere Festigkeit (Kohäsion) verbinden kann, ohne dass sich das Gefüge der Körper wesentlich verändert. Ein Klebstoff muss flüssig, bzw. in einem Lösemittel gelöst, dispergiert oder geschmolzen vorliegen.

Kleister

ein Klebstoff, der als wässriges Quellprodukt, welches im Vergleich zu Leimen bei geringer Grundstoffkonzentration im Bereich von 2 bis 20% (w/w) eine hochviskose und nicht fadenziehende Masse bildet, z. B. Stärke, Dextrine und Celluloseether.

Koaleszenz

(lat. *coalescere* = *zusammenwachsen, verschmelzen*) ist für die »Trocknung« von Dispersionsbeschichtungen, z. B. aufgetragenen Dispersionsklebstoffen entscheidend. Während der Verringerung Wassers durch Verdunsten oder Absorption durch die Füge­teile müssen die Kunststoffpartikel zusammenfließen und einen Film bilden. Zur Ermög­lichung der Filmbildung auch unterhalb der Mindestfilmbildungstemperatur (MFT) des Polymers werden auch sogenannte Koaleszenzmittel zugesetzt. Dabei handelt es sich um schwerflüchtige Lösungsmittel, u. a. um Verbindungen aus der Familie der Ethylenglycolalkylether. Diese quellen die Polymerteilchen an und erniedrigen vor­übergehend deren Glasübergangstemperatur (T_g °C), so dass die Teilchen zur Filmbildung miteinander verschmelzen können. Erst wenn Koaleszenzmittel verdunstet sind stellt sich die eigentliche Glasübergangstemperatur des Klebstoffpolymers wieder ein.

Kohäsion

(lat. *cohaerere* = *zusammenhängen*) Kohäsionskräfte sind zwischenmolekulare Kräfte, die innerhalb eines Klebstoffs wirken (Abb. 14). Sie verleihen einer Klebschicht im abge­bundenen Zustand die »innere« Festigkeit. Diese Kräfte werden beeinflusst durch:

- Die *Molekülmasse* (veralteter Begriff wäre Molekulargewicht),
- je größer die Molekülmasse, desto stärker sind die Kohäsionskräfte und desto höher die Klebstofffestigkeit,
- die *Anzahl* und *Größe* der an das Klebstoff-Polymer *gebundenen Seitengruppen*,
- die *Polarität* der Klebstoffmoleküle,
- mit steigender Polarität werden die zwischenmolekularen Wechselwirkungskräfte größer – damit wird die Kohäsion im festen Zustand höher, also die innere Festigkeit der Klebstoffnaht.
- zusätzlich eine Rolle spielen sogenannte *Verschlaufungen*, die bei großen Molekülen vorkommen und eine mechanische Verklammerung untereinander bewirken.

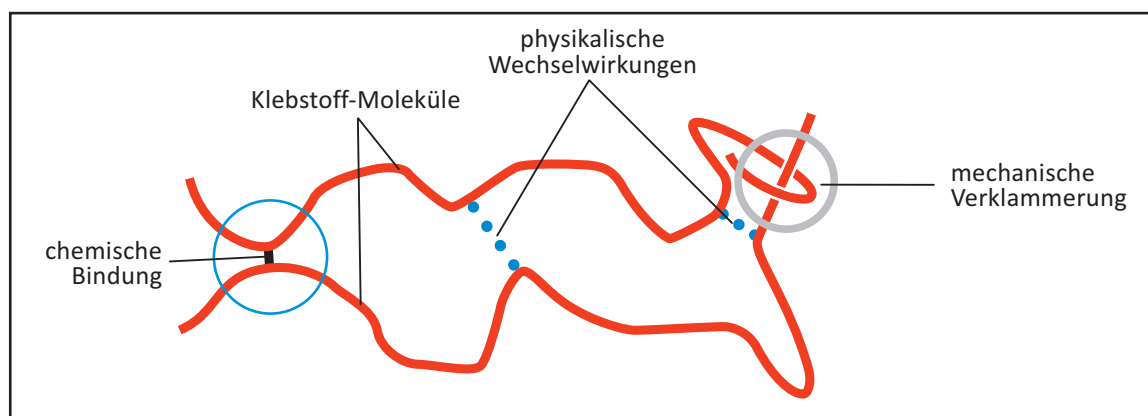


Abb. 14: Schematische Darstellung der zwischen Klebstoff-Makromolekülen in einer Klebschicht theoretisch wirk­ samen Kohäsionskräfte.

Quelle: Fonds der Chemischen Industrie: *Die Kunst des Klebens*. Frankfurt/Main, 2015: Abb. 4, S.15.

<https://www.vci.de/fonds/downloads-fonds/unterrichtsmaterialien/2015-11-unterrichtsmaterial-klebstoffe-textheft.pdf>

Kollagen

(gr. *kolla* = *Leim*, *gennan* = *erzeugen*), wasserunlösliches, tierisches Faserprotein. Bestandteil in Bindegeweben, u. a. Haut, Knorpel, Sehnen und Knochen.

Kolloid

(gr. *kolla* = *Leim*, *eidos* = *Form*) kleine Partikel oder Tröpfchen von ca. 2 nm*) bis 0,5 µm**) Durchmesser, die in einem homogenen Medium dispergiert sind. Im Fall wasserbasierter Nassklebstoffe ist Wasser das homogene Dispersionsmedium.

*) 1 nm = 10⁻⁹ m, **) 1 µm = 10⁻⁶ m

Konsolidierung

Dauerhafte Stabilisierung degradierter, bzw. mechanisch geschwächter Teile historischer Gegenstände durch Einbringen neuer Werkstoffe. Letztere sollen eine ausreichende Stabilisierung ermöglichen, so dass Objekte den Beanspruchungen standhalten können, denen sie in Museen, Bibliotheken und Archiven ausgesetzt sind. In der Literatur der Papierrestaurierung spricht man statt von Konsolidierung häufig von Stabilisierung – oder im Fall von Papier – fälschlich auch von Nachleimung. Verbreiteter ist der Begriff im Zusammenhang mit der Festigung von Farbmedien jeglicher Art. Unter einer Konsolidierung von Farbmitteln auf Papier- oder Pergamentoberflächen versteht man das Einbringen meist wässriger Klebstofflösungen in das Gefüge von Farbmitteln, etwa um Klebstoffbrücken zwischen lose nebeneinander liegenden Pigmentpartikeln aufzubauen und/oder die Haftung der Farbmedien am jeweiligen Trägermaterial wiederherzustellen. Konsolidierungen stellen in Anbetracht deutlich geschwächter Materialzustände massive und immer unumkehrbare Eingriffe in die Originalsubstanz dar.

Eine temporäre Konsolidierung mittels flüchtiger Bindemittel (z. B. mit Cyclododecan, C₁₂H₂₄) ist insofern eine Besonderheit, als es sich dabei um einen vollständig umkehrbaren Eingriff handelt. Sie dient vorübergehenden Stabilisierungen nur für die Dauer eines restauratorischen Eingriffs, dem ein Objekt ohne temporäre Konsolidierung nicht standhalten würde. Sie hinterlässt keine Rückstände der Konsolidierungsmittel, wird daher in der Literatur korrekt als vollständig rückführbar beschrieben.

Konsolidierungsmittel

sind in der Regel verdünnte Klebstofflösungen. In der Papierrestaurierung haben Kleber auf Basis von Naturstoffen oder modifizierten Naturstoffen als Konsolidierungsmittel eine große Anwendungsbreite. Nachdem jede Einführung eines Konsolidierungsmittels in das Materialgefüge instabil gewordener Bereiche historischer Gegenstände einen unumkehrbaren Eingriff darstellt, müssen diese Materialien den nachfolgend gelisteten hohen Ansprüchen genügen:

- ausgezeichnete Alterungsbeständigkeit – d. h. sehr gute physikalische und chemische Stabilität;
- ausgezeichnete Lichtbeständigkeit;
- sehr gute Penetrationseigenschaften in degradierte Bereiche des Behandlungsguts;
- binden ab, ohne zusätzliche Spannungen zu induzieren, weisen also eine gute Dimensionsstabilität auf;
- mechanische Eigenschaften sollen den Erfordernisse des Behandlungsguts möglichst weitgehend angepasst werden können;
- zu konsolidierende Objektteile dürfen keine optischen Veränderungen durch die Behandlung erleiden.

Kriechfestigkeit

unter »Kriechen« versteht man die zeit- und temperaturabhängige Verformung eines Werkstoffes unter einer Last. Die Kriechfestigkeit bezeichnet demnach die Widerstandsfähigkeit einer abgebundenen Klebstoffschicht gegenüber dem sogenannten »Kalten Fluss«, d. h. dem Fließen des Klebstoffes bei Raumtemperatur unter statischer Belastung.

Leim

Bezeichnung für Klebstoffe, die aus in Wasser gelösten tierischen, pflanzlichen oder synthetischen Grundstoffen bestehen. Die Definition bezieht neben den Glutin- bzw. Proteinleimen auch die zu den Kleistern gerechneten pflanzlichen Grundstoffe wie Stärke oder Dextrin, sowie synthetische Produkte – wie z. B. Polyvinylalkohol (PVAL) mit ein. Gemäß der Verarbeitungstemperatur unterscheidet man zwischen warm abbindenden Leimen, das sind Glutin- bzw. Proteinleime und Kaltleimen. Letzterer Begriff schließt alle anderen wasserbasierten Klebesubstanzen ein.

Leimung • Papier

Verfahren zur Ausrüstung von Papier mit Zusatzstoffen, die das Eindringen von flüssigem Wasser in das Faservlies verhindern oder zumindest reduzieren. Bei der Oberflächenleimung werden farblose Proteinleime, z. B. Gelatine, eingesetzt. Leimstoffe für die Stoffleimung sind modifizierte Naturharze, heute vermehrt Alkylketendimer (AKD) oder Alkenylbernsteinsäureanhydrid (ASA). Die Migration von Wasserdampf durch ein Papier wird durch eine Leimung mit den hier angeführten Leimstoffen nicht verhindert.

Leimungsmittel

Substanzen, die das teilweise Hydrophobieren von Papier bewirken, damit es mit wässrigen Tinten beschreibbar bzw. mit wässrigen oder lösemittelhaltigen Druckfarben bedruckbar wird. Leimungsmittel werden für die Masseleimung der Stoff suspension zugefügt. Werden auf der Oberfläche eines Papiers aufgebracht, spricht man von Oberflächenleimung. Unter den Leimungsmitteln finden sich makromolekulare Substanzen, z. B. Gelatine für die Oberflächenleimung und monomolekulare Substanzen, wie Aluminiumresinat, ASA, AKD, die hauptsächlich für die Masseleimung eingesetzt werden. Darüber hinaus kommen auch synthetische Polymere, darunter Polyacrylsäureester, Polyvinylalkohole, Melaminharze, Harnstoffharze, Fettsäurederivate etc., zur Anwendung.

Leimpresse • Papierherstellung

Zur Verbesserung der Oberflächenfestigkeit und/oder der Feuchtigkeitsbeständigkeit wird in der Leimpresse mit zwei gummibezogenen Walzen oder durch Rakelauftrag ein- oder beidseitig zusätzlich zum Leimzusatz im Ganzstoff die Papierbahn oberflächenveredelt. Dafür werden z. B. modifizierte Stärken, Carboxymethylcellulose (CMC), Gelatinelösungen oder Melaminharze aufgetragen. Es kann auch ein Pigmentstrich aufgebracht werden. Die Leimpresse ist im Allgemeinen in die Trockenpartie der Papiermaschine integriert.

Leimungsgrad • Papier

Der Leimungsgrad – auch »Grad der Leimfestigkeit« – ist ein Maß für die Hemmung des Saugvermögens von Papier gegenüber flüssigem Wasser. Die Bestimmung des Leimungsgrads kann nach DIN EN ISO 535 (Cobb-Verfahren) erfolgen. Der Leimungsgrad von Papieren wird mit unterschiedlichen Begriffen bezeichnet, z. B. mit »leimfest« oder »voll geleimt« für Papiere, die für das Beschreiben mit Tinte ausreichend hydrophobiert sind, bei Papieren mit geringerem Leimungsgrad mit $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ -geleimt. Allerdings existieren für diese beschreibenden Begriffe keine standardisierten Grenzwerte.

Makromolekül

(gr. *macros* = groß, lat. *molecula* = kleine Masse) sehr großes (Riesen-) Molekül mit hoher Molekülmasse, das durch Polymerisation identischer oder unterschiedlicher, sich in der Molekülstruktur wiederholender Grundeinheiten, den Monomeren gebildet wurde.

Masseleimung

auch als Stoffleimung bezeichnet. Von Moritz Friedrich Illig (1777–1845) als Harzleimung zu Beginn des 19. Jh. entwickeltes Verfahren zur teilweisen Hydrophobierung von Papier mit monomolekularen Leimungsmitteln (Harzseifen), die der Fasersuspension vor der Blattbildung zugesetzt werden. Das hydrophobe Leimungsmittel wird lokal durch Zusatz von Alaun oder Aluminiumsulfat bei $\text{pH} \leq 4,6$ auf die Fasern gefällt und wird dort durch Aluminiumionen (Al^{3+}) verankert.

Heute – für die Erzeugung von Papiersorten, die der Alterungsnorm DIN EN ISO 9706: 2010 genügen sollen – ist die Papierleimung mit Harzseifen durch Leimungsverfahren ersetzt, mit denen in Gegenwart von alkalischen Füllstoffen (CaCO_3 [GCC oder PCC]) im basischen Milieu synthetische Leimstoffe in Papier eingebracht werden können, z. B. Alkylketendimer (AKD) oder Alkenylbernsteinsäureanhydrid (ASA), die vermutlich auch reaktiv an die Fasern gebunden werden.

Mindestfilmbildungstemperatur (MFT)

Kenngröße für die Ausbildung einer festen zusammenhängenden Oberfläche aus einer Dispersion. Die Mindestfilmbildungstemperatur wird als die niedrigste Temperatur bezeichnet, bei der eine dünne Schicht einer Kunst-

stoffdispersion noch zu einem zusammenhängenden Film aufzutrocknen kann. Wird die MFT durch die Trocknungstemperatur unterschritten, entsteht ein rissiger Film; wird sogar die unterhalb der MFT liegende Temperatur des sogenannten Weißpunkts einer Dispersion unterschritten, so bildet sich eine weißliche und pulvrige Schicht.

Molarer Substitutionsgrad (Molar degree of substitution) – MS

gibt die durchschnittliche Anzahl angelagerter Moleküle (z. B. von Ethylenoxid) pro Anhydroglucose-Einheit (AGU) der Cellulose an. Damit kann die Länge der aufgepfropften Seitenkette abgeschätzt werden.

Molekulare Masse (Molekülmasse oder molare Masse)

Quotient aus der Masse einer Substanz, das ist die Summe der relativen Atommassen der Elemente, aus denen die Verbindung aufgebaut ist und der Stoffmenge bezogen auf 1 Mol dieser Verbindung. Im internationalen Einheitensystem (SI) wäre die Einheit kg/mol, in der Chemie wird aus Tradition die molare Masse in g/mol ausgedrückt. Die molare Masse von Wasser (H_2O) beträgt 18 g/mol ($2H [1+1] + 1O [16] = 18$). Der heute veraltete Term wäre Molekulargewicht als die Summe der Atomgewichte aller Elemente einer Verbindung.

Klebstoffe sind makromolekulare Verbindungen. Ihre molekulare Masse ist von erheblichem Einfluss auf die Festigkeit einer abgeordneten Klebschicht. Je größer die Molekülmasse – d. h. je länger die Moleküle des Klebstoffs, desto stärker sind die Kohäsionskräfte, also die innere Festigkeit (Kohäsion) einer Klebschicht.

Monomer

(gr. *monos* = einzig, *meros* = Teil) niedermolekulare Verbindung mit einer reaktionsfähigen Doppelbindung oder reaktionsfähigen funktionellen Gruppen, mittels derer sie durch chemische Reaktionen zu kettenförmigen, verzweigten oder dreidimensional vernetzten großen Molekülen, den Polymeren, zusammentreten können.

Nassfestmittel

synthetische, kationische oder anionische Harzkolloide auf Basis von Polyamidoamin, Epichlorhydrin, Melamin, die aus wässriger Dispersion gut auf Cellulosefasern aufziehen und die Fasern im Papiervlies permanent mittels chemischer Bindungen verbrücken (mit einander vernetzten) können (Abb. 15). Der Zusatz dieser Additive wird auch mit dem Term Nassfestleimung bezeichnet.

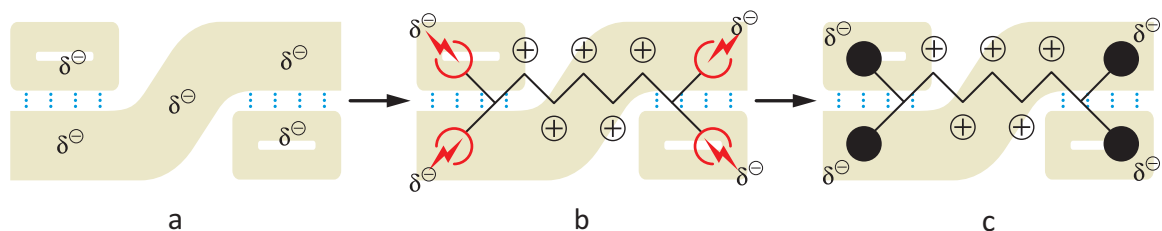


Abb. 15: Mechanismus der Nassverfestigung (Nassfestleimung): (a) Ein kationisches Polymer (positiv (+) geladen) legt sich infolge elektrostatischer Anziehung an die negativ polarisierten Cellulosefasern (δ^-) an. Der Zusammenhalt zwischen den Fasern an den Faserkreuzungspunkten wird durch Wasserstoffbrückenbindungen (blaue Punkte) gewährleistet. Diese sind durch Wasser trennbar.

(b) Es kommt zur Reaktion zwischen den funktionellen Gruppen des niedergeschlagenen Polymers (rot) und Cellulose;

(c) neu entstandene chemische Bindungen (schwarz) verbinden die Fasern zusätzlich mit durch Wasser nicht mehr trennbare Polymerbrücken.

Quelle: E. Gruber: *Papierchemie Teil 16, Synthetische Trocken- und Nassfestmittel*. Vorlesungsskriptum zum Lehrgang »Papiertechnik« an der Dualen Hochschule Karlsruhe, 2011: Abb. 6, S. 16-6.

<http://www.gruberscript.net/>

Offene Zeit

maximale Zeit zwischen Klebstoffauftrag und Zusammenfügen der Fügeteile bei der noch eine Klebung mit einem bestimmten Klebstoff eintreten kann.

Peptid

eine organische Verbindung, die Peptidbindungen zwischen Aminosäuren aufweist (Abb.16). Eine Peptidbindung entsteht wenn die Aminogruppe (NH₂) des einen Aminosäuremoleküls mit der Carboxylgruppe (–COOH) eines anderen Aminosäuremoleküls unter Wasserabspaltung eine Verbindung eingeht (Kondensationsreaktion). Lange Polypeptidketten bezeichnet man als Proteine.

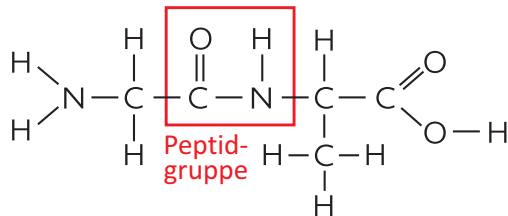


Abb. 16: Glycylalanin – ein Dipeptid, das durch eine Kondensationsreaktion zwischen den Aminosäuren Glycin und Alanin entstanden ist. Die Peptidgruppe, durch die Glycin und Alanin miteinander verbunden wurden, ist rot umrandet.

Protein

(gr. *protos* = *der Erste, das Ursprüngliche*) ein biologisches Makromolekül, das aus Aminosäuren aufgebaut ist, die mittels Peptidbindungen miteinander verbunden sind.

Primer / Haftvermittler

ein Primer oder Haftvermittler ist als Hilfskomponente bei einer Klebung dann erforderlich, wenn Klebstoff und Füge teil zwar grundsätzlich in der Lage sind, physikalische Wechselwirkungen oder chemische Bindungen einzugehen, allerdings nicht miteinander. Ein Primer kann dann die Funktion eines Haftvermittlers einnehmen und an der Grenzfläche der beiden Stoffe die Haftung (Adhäsion) durch enge physikalische oder chemische Bindungen »vermitteln« (Abb. 17).

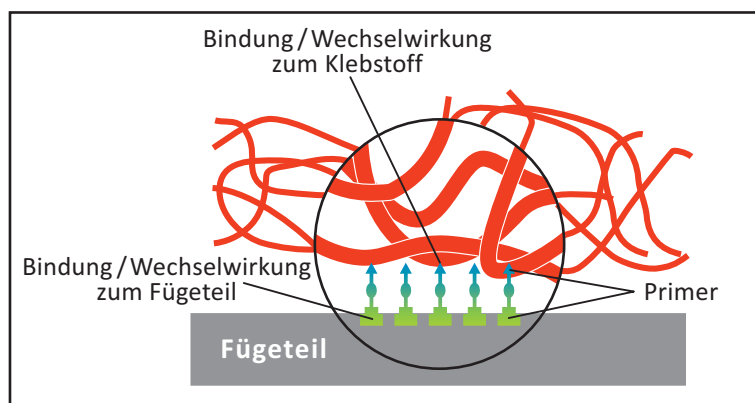


Abb. 17: Primer/Haftvermittler sind Verbindungen, die mit zwei unterschiedlich reaktiven Gruppen ausgerüstet sind, die einerseits mit dem Füge teil (grün) andererseits mit den Klebstoffmolekülen (blau) chemische Bindungen oder physikalische Wechselwirkungen eingehen können. Damit lässt sich bei ungünstigen Kombinationen eine ausreichende Adhäsion von Klebstoff und Füge teil herstellen.

Quelle: Fonds der Chemischen Industrie: *Die Kunst des Klebens*. Frankfurt, 2015: Abb. 9, S.21.

<https://www.vci.de/fonds/downloads-fonds/unterrichtsmaterialien/2015-11-unterrichtsmaterial-klebstoffe-textheft.pdf>

Polymer

(gr. *poly* = *viele, meros* = *Teil*) makromolekulare Verbindung, die aus vielen sich wiederholenden Untereinheiten – den Monomeren – aufgebaut ist, z. B. Cellulose, die aus vielen durch β -1,4-glycosidische Bindungen verbundene Cellobioseeinheiten (d. h. zwei miteinander glycosidisch gebundene Anhydroglucoseeinheiten, AGU) aufgebaut ist.

Polymerisationsgrad (Degree of polymerisation – DP)

Anzahl monomerer, sich wiederholender Grundeinheiten eines Makromoleküls bzw. Polymers.

Radikal

Atom oder Molekül, das ein einzelnes, ungepaartes Elektron aufweist. Radikale entstehen durch Spaltung einer kovalenten Bindung. Der Zerfall einer Verbindung in Radikale kann physikalische Einflüsse bewirkt werden, etwa durch thermische Anregung oder durch elektromagnetische Strahlung (UV, γ -Strahlung) aber auch chemisch durch sogenannte Initiatoren, das sind z. B. organische oder anorganische Peroxide bzw. Hydroperoxide, u. a. m.

Radikalische Polymerisation

Polyvinylacetat (PVAc) wird durch radikalische Polymerisation von Vinylacetat erzeugt, die in drei Schritten abläuft:

- Startreaktion, die durch Bildung reaktiver Radikale mittels Zusatz von Initiatoren ausgelöst wird.
- Diese brechen Doppelbindungen der Ausgangssubstanz, im Fall von Vinylacetat die $>C=C<$ Doppelbindung der Vinylgruppe, wobei ein wachstumsfähiges Primärradikal entsteht.
- Wachstumsreaktion, bei der sich kontinuierlich weitere Monomere an das Primärradikal anlagern, wodurch die Polymerkette heranwächst.
- Abbruchreaktion, die entweder durch Zusammentreten reaktiver Radikale erfolgen kann, die miteinander ein stabiles Endprodukt bilden oder durch den Zusatz von Radikalfängern.

Ein verbreiteter Polymerisationsinitiator ist gelöstes Kaliumperoxodisulfat ($K_2S_2O_8$), das bei Erwärmung auf über $75^\circ C$ oder bei Einwirkung von UV-Strahlung in zwei Sulfat-Radikalanionen ($SO_4^{\cdot-}$) zerfällt (Abb. 18):

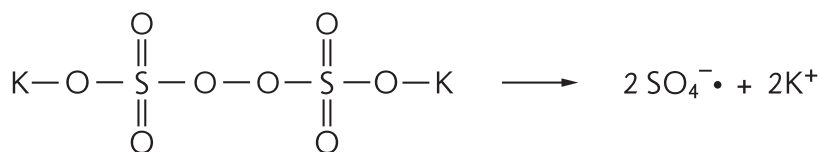


Abb. 18: Zerfallsreaktion des Polymerisationsinitiators Kaliumperoxodisulfat unter Einwirkung von Wärme oder UV-Strahlung (siehe auch S. 25, die Auflistung möglicher Additive in kommerziellen Dispersionsklebstoffen).

Retrogradation

weitestgehend nicht umkehrbarer Prozess, der zum Unlöslichwerden von Stärkekleistern und -gelen führt. Verantwortlich für die Retrogradation von Stärke ist hauptsächlich die Amylose, deren Ketten sich beim Abkühlen von Gelen unter Wasseraustritt und Ausbildung von Wasserstoffbrückenbindungen linear aneinander lagern, was zu einer quasikristallinen Stärkestruktur führt. Die verzweigte Molekülstruktur des Amylopektins neigt hingegen kaum zur Retrogradation. Siehe auch Abb. 6, S. 17.

Spannung

flächenbezogene Belastung (Kraft durch Fläche); Einheit: N/mm^2 (Newton pro Quadratmillimeter).

Spannungsrisse

Risse in Kunststoffen, hervorgerufen durch gleichzeitige Einwirkung von Chemikalien (z. B. Lösemitteln) und mechanische Beanspruchungen.

Stärke

Polysaccharid mit der allgemeinen Formel $(C_6H_{10}O_5)_n$, das im Unterschied zu Cellulose aus α -D-Glucoseeinheiten aufgebaut ist und über α -1,4-glycosidische Bindungen verknüpft sind. Stärke wird aus gemahlenem Getreide (Weizen, Reis, Mais) durch Abschlämmen der Kleberproteine gewonnen. Sie besteht aus einem Gemisch zweier

Komponenten Amylose und Amylopektin. Sie setzt sich je nach Quelle aus etwa 20 bis 30% w/w Amylose, einem Makromolekül von helikaler Struktur, das ausschließlich über α -1,4-glycosidisch Bindungen verknüpft ist und zu 70 bis 80% (w/w) aus Amylopektin, einem verzweigten Molekül, in dem die α -D-Glucoseeinheiten sowohl durch α -1,4-glycosidische als auch an Verzweigungen durch α -1,6-glycosidische Bindungen verbunden sind. Partieller Abbau von Stärke, thermisch durch Rösten, durch hydrolytischen (saure Hydrolyse) oder enzymatischen Abbau führt zu Dextrinen, deren DP mit 10 bis 50 monomeren Einheiten deutlich kleiner ist. Native Stärke ist nicht wasserlöslich. Durch Erwärmen wässriger Dispersionen auf Temperaturen zwischen 50 bis 80°C lässt sich Stärke auf das bis zu 100-fache ihres Ausgangsvolumens quellen und in einen Kleister überführen.

Sol

(lat. *solutio* = Lösung) eine viskos fließende kolloidale Suspension von festen Partikeln oder Makromolekülen in einer flüssigen Phase.

Substitutionsgrad (DS)

Charakteristische Kennzahl der Anzahl der im Durchschnitt veretherten Hydroxylgruppen der Anhydroglucose (AGU), das sind maximal drei (in Abb. 19 rot umrandet an den C-Atomen 2,3 und 6). Aus dem Substitutionsgrad der Celluloseether lassen sich wichtige Eigenschaften, wie z. B. deren Löslichkeit, ableiten. Methylcellulose (MC) mit einem DS im Bereich von ca. 1,4 bis 2,0 ist wasserlöslich. Carboxymethylcellulose als Natrium-Salz (SCMC) ist als ionisierbares Salz wesentlich polarer als MC und deshalb besser wasserlöslich. Ihr DS liegt im Vergleich zu MC deutlich niedriger – im Bereich 0,4 bis 1,4, wobei der DS kommerzieller Produkte überwiegend zwischen 0,7 und 0,8 liegt.

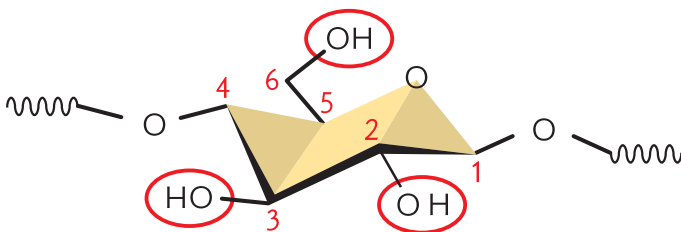


Abb. 19:
Modell einer Anhydroglucoseeinheit (AGU) in einer Cellulosekette. Die an jeder AGU veretherbaren drei Hydroxylgruppen sind rot umrandet.
Quelle: G. Banik und I. Brückle, *Papier und Wasser*, München, Siegl, 2015: Abb. 4.2, S. 91.

In der in Abb. 20 wiedergegebenen Darstellung einer Hydroxyethylcellulose sind drei von sechs möglichen Hydroxylgruppen an zwei Anhydroglucose (AGU)-Einheiten substituiert. Damit ergibt sich der Durchschnitts-DS als $3/6 \times 6/2 = 1,5$. Weil aber insgesamt fünf Ethylenoxidmoleküle an die beiden AGU-Einheiten gebunden sind – Ethylenoxid kann auch an eine bereits an eine AGU gebundene Ethoxygruppe anbinden – wird die durchschnittliche Anzahl der gebundenen Moleküle zusätzlich durch den molaren Substitutionsgrad (MS) dargestellt. Der molare Substitutionsgrad (MS) für die Darstellung in Abb. 20 entspricht $5/2 = 2,5$.

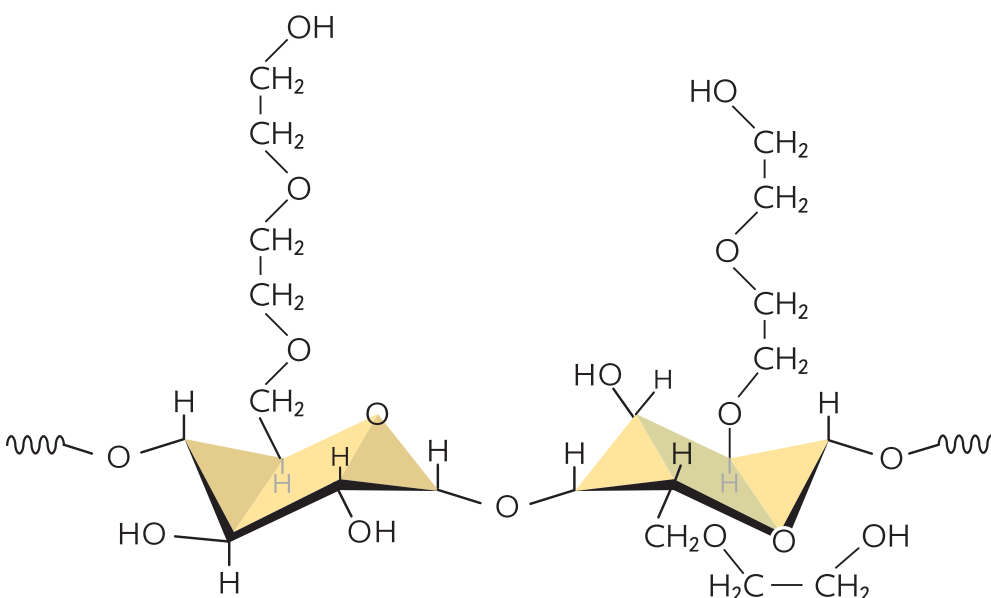


Abb. 20:
Hydroxyethylcellulose –
Modell der Molekülstruktur am Beispiel von zwei AGU-Einheiten der Cellulosekette, die mit Hydroxyethylgruppen verethert sind (DS = 1,5, MS = 2,5).
Quelle: R. Feller und M. Wilt: *Evaluation of cellulose ethers for conservation*. Marina del Rey, CF, The Getty Conservation Institute, 1993: Abb. 2.3, S. 10.

Tack

Anfangsfestigkeit bei einer Verklebung, die ein Verschieben der Fügeteile bereits verhindert.

Thermoplast

Kunststofftyp, der sich innerhalb eines bestimmten Temperaturbereiches beliebig verformen lässt, ohne sich dabei chemisch zu verändern. Seine Verformbarkeit wird durch Kettenmoleküle erreicht, die nicht chemisch miteinander vernetzt sind. Thermoplaste weisen folgende Grundmerkmale auf: Sie sind zäh, hart bis spröde bei Raumtemperatur, schmelzbar, schweißbar, in vielen Lösemitteln quellbar bis löslich und neigen zum Kriechen. Thermoplastische Klebstoffe sollen für eine ausreichende Kriechfestigkeit eine Glasübergangstemperatur (T_g) von über 40°C haben. Weichelastische Klebstoffe mit einer T_g von unter 15°C können nur eingesetzt werden, wenn sie keiner Dauerbelastung ausgesetzt sind. Sie sollen nicht auf poröse Untergründe (z. B. Papier oder Pappe) aufgebracht werden, weil dort das Risiko besteht, dass sie aus der Klebschicht in die Poren hinein migrieren und die Klebung schließlich versagt.

Tierischer Leim (Glutinleim)

ein wenig gereinigter Klebstoff aus Eiweißstoffen (Proteinen), der mittels wässrigem Heißextrakt (60 bis 65°C) aus dem Kollagen tierischer Bindegewebe gewonnen wurde.

Thixotropie

(gr: *thixis* = das Berühren, *trepo* = ich wende, ändere) bezeichnet die Eigenschaft eines sogenannten Nicht-Newtonschen Fluids, bei einer konstanten Scherung seine Viskosität zunehmend abzubauen. Nach Aussetzung der Scherbeanspruchung baut sich die Ausgangsviskosität wieder auf. Vereinfacht heißt das, je länger man eine thixotrope Flüssigkeit rührt, desto dünnflüssiger wird sie.

Trockenfestmittel (Stärke und modifizierte Stärken)

wasserlösliche, möglichst hochmolekulare Substanzen, die auf die Fasern aufziehen können, darunter häufig Stärke, kationische Stärke sowie Carboxymethylcellulose (CMC) und auch synthetische Polymere, wie Polyvinylalkohol (PVAL). Trockenfestmittel werden entweder der Masse zugesetzt oder auf die Papieroberfläche aufgebracht (Abb. 21a). Sie lagern sich an die Fasern (Abb. 21.b) an und etablieren in der Trockenpartie der Papiermaschine zusätzliche Bindungen im Fasergefüge insbesondere den Faserkreuzungspunkten (Abb. 21c).

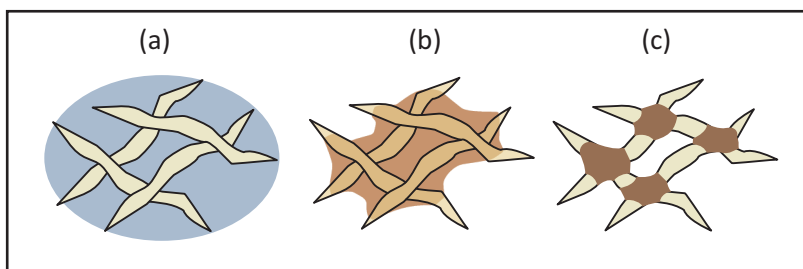


Abb. 21: Trockenverfestigung von Papier durch Anreicherung von löslicher Stärke (a und b), an den Faserkreuzungspunkten und (c), beim Trocknen des Papiervlies.
Quelle: E. Gruber: *Papierchemie Teil 15, Trockenfestigkeit – Stärke als Additiv*. Vorlesungsskriptum zum Lehrgang »Papiertechnik« an der Dualen Hochschule Karlsruhe, 2011: Abb. 3 S. 15-4.
<http://www.gruberscript.net/>

Tylose®

Seit 1926 Geschützte Marke für Celluloseether, heute in Besitz der Tylose GmbH & Co. KG mit Sitz in Wiesbaden, die im Jahr 2004 von Clariant die Produktion von Celluloseethern des Werks Kalle (Wiesbaden) übernommen hat. Davor war die Tylose GmbH & Co. KG als Produzent von Celluloseethern Teil der Höchst AG.

Versagen einer Klebung

eine Klebschicht zwischen den Fügeteilen kann mechanisch versagen:

- Durch unzureichenden Klebstoffauftrag;
- durch unzureichende Vorbehandlung der Oberflächen der Fügeteile und demzufolge durch Adhäsionsbruch;

- infolge nur lokaler Ausbildung von Klebstoffbrücken;
- infolge eines Kohäsionsbruchs durch Schrumpfung der Klebschicht, bzw. durch Brüche in den Grenzflächen der Füge­teile;
- bei Dispersionsklebern infolge unzureichender Koaleszenz, z. B. bei Unterschreitung der Mindest­filmbildungstemperatur (MFT), dann tritt Trennung der Klebstoffpartikel an deren Grenzflächen ein;
- infolge starker auftretender Spannungen durch Schrumpfung des Klebstoffs beim Abbinden.

Vernetzung (Cross-Linking)

Reaktionen, durch die über kovalente oder Ionen-Bindungen Makromoleküle zu dreidimensionalen Netzwerken verknüpft werden. Diese Vernetzungsreaktionen verursachen Veränderungen der Eigenschaften vernetzter Stoffe in Abhängigkeit von deren Vernetzungsgrad, u. a. durch Erhöhung von Härte und Schmelzpunkt sowie die Verschlechterung ihrer Löslichkeit in Lösemitteln – bis hin zur völligen Unlöslichkeit.

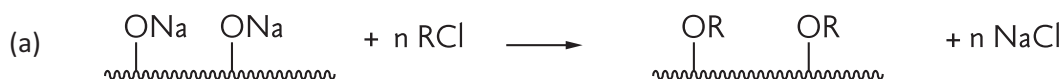
Viskosität

(lat. *viscosus* = *zäh, klebrig*) Maß für die Widerstandsfähigkeit einer Flüssigkeit, sich durch Scher- oder Zugkräfte zu verformen, wie sie etwa beim Ausgießen aus einem Gefäß in ein anderes wirksam sind.

Maß für den internen Widerstand einer Flüssigkeit gegen das Fließen, der sich zum Teil, aber nicht nur aus den Wechselwirkungskräften der Flüssigkeitsmoleküle erklären lässt, die deren Beweglichkeit einschränken. Beim Gleiten von Molekül­aggregaten übereinander oder großen, ineinander verschränkten Molekülen kommt es zu Reibungseffekten (innere Reibung in Flüssigkeitsschichten), die ebenfalls Einfluss auf die Viskosität üben.

Veretherung (Celluloseether, Stärkeether)

polymere Substanzen mit Hydroxyl-Seitengruppen (–OH), dazu gehören z. B. Cellulose und Stärke, können mit aktivierten Alkylverbindungen zu Etherderivaten umgesetzt werden. Dazu eignen sich u. a. Alkylhalogenide, z. B. Methylchlorid (CH₃Cl) (Abb. 22 a) und Epoxide, z. B. Ethylenoxid (1,2-Epoxyethan C₂H₄O**) oder Propylenoxid (1,2-Epoxypropan C₃H₆O**) (Abb. 22 b). Die Reaktion mit Alkylhalogeniden kann begünstigt werden, wenn sie in Gegenwart von Natronlauge (NaOH) in stark alkalischer Lösung durchgeführt wird wobei die Hydroxyl-Seitengruppen in Natriumalkoholate (R-ONa*) überführt werden. Bei der Veretherung entsteht Natriumchlorid (NaCl), das ausfällt, wodurch sich das Reaktionsgleichgewicht ganz nach rechts verschiebt und die Reaktion vollständig von links nach rechts abläuft. Bei der Veretherung von Cellulose mit NaOH und Methylchlorid (CH₃Cl) (in Abb. 21a = RCl) entstehen somit Methylcellulose (MC) und Kochsalz (NaCl).



Die Reaktion mit Epoxiden (Ethylenoxid, Propylenoxid) führt zu Alkoxyethern:

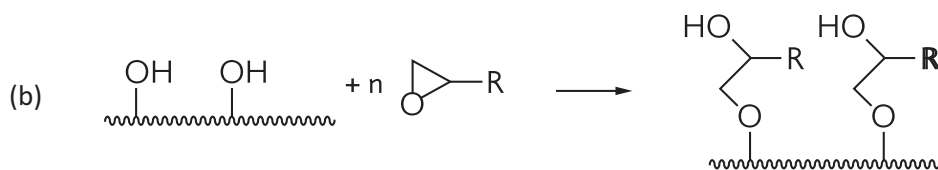


Abb. 22: Veretherung von Polymeren mit OH-Seitengruppen: (a) im alkalischen Milieu mit einem chlorierten Kohlenwasserstoff (R-Cl), die OH-Gruppen liegen bereits als Natriumalkoholat (R-ONa) vor; (b) durch eine Additionreaktion mit Epoxiden.

Quelle: E. Gruber: *Papierchemie Teil 4, Synthese von Makromolekülen durch Polymerisation*.

Vorlesungsskriptum zum Lehrgang »Papiertechnik« an der Dualen Hochschule Karlsruhe, 2011: S. 4–10.

*) R steht für einen organischen Rest. **) zu Struktur und Eigenschaften von Ethylenoxid siehe z. B.

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Ethylene-oxide>

Verschlaufung

physikalische Vernetzung von zwei oder mehreren Polymerketten. Der Zusammenhalt von Molekülen durch Verschlaufungen ist deutlich schwächer als der durch chemische Bindungen und kann sowohl durch Brown'sche Molekularbewegungen als auch durch äußere Krafteinwirkung wieder gelöst werden.

Weichmacher (externe)

Bezeichnung für meist flüssige, schwer flüchtige organische Substanzen, die polymeren Werkstoffen zugesetzt werden. Als Weichmacherzusätze finden u. a. Ester der Terephthalsäure, der Phthalsäure oder der Maleinsäure Anwendung. Ein Beispiel ist Dibutylphthalat, das manchen Qualitäten von PVAc-Homopolymer Dispersionen in Konzentrationen von bis zu 20% (w/w) zugesetzt ist. Diese sogenannten »externen oder äußeren« Weichmacher treten ohne chemische Reaktion, vorzugsweise durch ihr Löse- und Quellvermögen, mit Polymeren in physikalische Wechselwirkung. Externe Weichmacher verleihen Polymeren bestimmte angestrebte physikalische Eigenschaften, u. a. eine verbesserte Umformbarkeit, verbesserte elastische Eigenschaften oder geringere Härte. Sie sollen geruchlos, farblos, licht-, kälte- und wärmebeständig, schwer flüchtig, nicht gesundheitsgefährdend (!), wasserbeständig, schwer brennbar, mit den Polymeren und Hilfsstoffen, denen sie zugesetzt werden, gut mischbar sein sowie ein gutes Gelierverhalten aufweisen. Allen externen Weichmachern ist gemeinsam, dass sie migrationsfähig sind und im Laufe der natürlichen Alterung aus dem polymeren Werkstoff in poröse Materialien diffundieren, mit denen sie in direktem Kontakt stehen.

Weichmacher (interne)

Komponenten, die mittels Copolymerisation in ein Polymer eingeführt werden. Im Gegensatz zur äußeren (externen) Weichmachern, die einem polymeren Werkstoff (Kunststoff, Klebstoff) als schwer flüchtige Flüssigkeiten zugesetzt sind und nur durch physikalische Wechselwirkungen in der Polymermatrix gehalten werden, ist ein innerer Weichmacher als Copolymer chemisch gebunden. Im Fall von Ethylvinylacetat (EVAc) ist das Copolymer die Etylengruppe. Dadurch sind die durch das Copolymer eingestellten Werkstoffeigenschaften dauerhaft, denn es kann kein Ausdiffundieren des Weichmachers eintreten.

Weißpunkt

Temperatur deutlich unterhalb der Mindestfilmbildungstemperatur (MFT), bei der ein Dispersionskleber beim Abbinden keine homogenen und klaren Filme mehr bilden kann.

Zugfestigkeitsprüfung

Messung der Festigkeit einer Verklebung bei Einwirkung einer Kraft senkrecht zur Klebstoffschicht (Abb. 23).

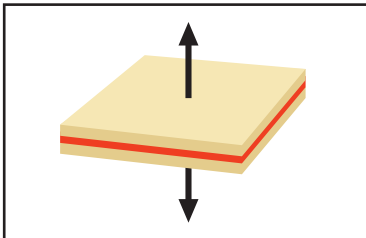


Abb. 23:
Schematische Darstellung einer Zugfestigkeitsprüfung. Die Zugkraft (Pfeile) wird senkrecht zur Klebschicht (rot) angelegt.
Quelle: Fonds der Chemischen Industrie: *Kleben / Klebstoffe*, Frankfurt, 2001: Abb. 46 d, S. 44

Zug-Scherfestigkeitsprüfung

Messung der Festigkeit einer Verklebung bei Einwirkung einer Kraft parallel zur Klebstoffschicht (Abb. 24).

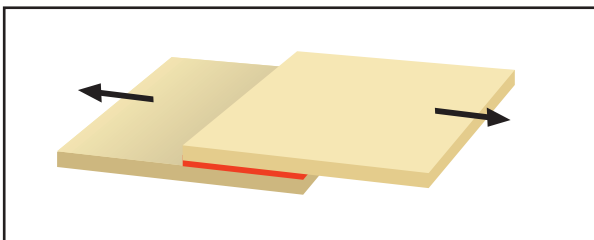


Abb. 24:
Schematische Darstellung einer Zug-Scherfestigkeitsprüfung, durch Anlegen einer Zugkraft parallel zur Klebschicht (Pfeile).
Quelle: Fonds der Chemischen Industrie: *Kleben / Klebstoffe*. Frankfurt/Main, 2001: Abb. 46 c, S. 44.

Literatur

Julie Arslanoglu: *Using Aquazol®: A brief summary*. AIC Paintings Speciality Group Postprints 17, AIC Washington DC, 2005, S. 107–110.

<https://www.culturalheritage.org/docs/default-source/periodicals/paintings-specialty-group-postprints-vol-17-2004.pdf?sfvrsn=10>

Gerhard Banik und Irene Brückle: *Papier und Wasser: Ein Lehrbuch für Restauratoren, Konservierungswissenschaftler und Papiermacher*. München: Siegl, 2015.

Antoinette Dwan et al. (Compilers): *Adhesives for Paper*. AIC WIKI, 2016.

http://www.conservation-wiki.com/wiki/Adhesives_for_Paper

Abigail Bainbridge et al. (Compilers): *Adhesive Recipes and Tips*. AIC WIKI, 2016.

https://www.conservation-wiki.com/wiki/BPG_Adhesive_Recipes_and_Tips

Jane L. Down: *Adhesive compendium for conservation*.

Ottawa: Canadian Conservation Institute (CCI), 2015.

Robert Feller und M. Wilt: *Evaluation of cellulose ethers for conservation*.

Marina del Rey, CF: The Getty Conservation Institute.

https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/pdf/ethers.pdf

Fonds der Chemischen Industrie (Hrsg.): *Kleben /Klebstoffe -Textheft*. Frankfurt/Main, 2001.

Die Kunst des Klebens – Textheft. Frankfurt/Main, 2015.

<https://www.vci.de/fonds/downloads-fonds/unterrichtsmaterialien/2015-11-unterrichtsmaterial-klebstoffe-textheft.pdf>

Erich Gruber: *Papier- und Polymerchemie:*

Teil 5: *Beispiele technisch wichtiger synthetischer Polymere,*

Teil 14: *Retention und Fixierung,*

Teil 15: *Trockenfestigkeit -Stärke als Additiv,*

Teil 16: *Synthetische Trocken- und Nassfestmittel.*

Vorlesungsskriptum zum Lehrgang »Papiertechnik« an der Dualen Hochschule Karlsruhe, 2011.

<http://gruberscript.net/>

Gerd Habenicht: *Kleben: Grundlagen, Technologien, Anwendungen*. 6. Auflage, Berlin-Heidelberg, Springer, 2009.

Georg Hahn: *Verfahren zur Herstellung einer Knochenleimgebundenen Spanplatte*.

Masterarbeit – Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), 2008.

Velson Horie: *Materials for conservation: Organic consolidants, adhesives and coatings*.

2nd edition, Oxford: Elsevier-Butterworth-Heinemann, 2010.

Industrieverband Klebstoffe e.V. (Hrsg.): *Leitfaden Kleben – aber richtig – Glossar*.

<http://leitfaden.klebstoffe.com/index.php>

Katherine Lechuga: *Aquazol®-Coated remoistenable mending tissues*. Proceedings of Symposium 2011: Adhesives and Consolidants for Conservation: Research and Applications, Canadian Conservation Institute (CCI), Ottawa, 2011.

<https://slidex.tips/download/information-archived-on-the-web>

Bernhard Momper: *Wo kommen die Klebstoffe her? Die verschlungenen Wege vom Rohstoff zum Klebstoff*. Vortrags-PPT, Detmold: 17. Jowat-Seminar, 2018.
https://www.jowat.com/fileadmin/dokumente/Symposium_2018/Vortraege/Vom_Rohstoff_zum_Klebstoff_IVK_Momper.pdf

Ingo Sandner, Bernd Bünsche, Hans-Peter Schramm, Giesela Meier und Johannes Voss: *Konservierung von Gemälden und Holzskulpturen*, 1. Auflage, Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften, 1990.

Hans-Peter Schramm und Bernd Hering: *Historische Malmaterialien und Möglichkeiten ihrer Identifizierung*, 1. Auflage (Gerhard Banik und Gabriela Krist, Hrsg.). Graz: Akademische Verlagsgesellschaft, 1984.

Reinhard Schrieber und Herbert Gareis: *Gelatine Handbook*. WILEY-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 2007

Bengt Skåns und P. Michaelsen: *Die Bedeutung von Fett in Tierleim für Malzwecke*. Maltechnik-Restauro, 92, 1986: S. 63–71.

Ullmanns Encyclopädie der technischen Chemie, 4. Auflage:
Celluloseether. Band 9, Weinheim: Verlag Chemie, 1975: S. 192–212.
Gelatine. Band 12, Weinheim: Verlag Chemie, 1976: S. 212–220.
Stärke. Band, 22, Weinheim: Verlag Chemie, 1982: S. 166–208.

Isabela Waltriny: *Stärkeether in der Restaurierung – für die Konsolidierung einer matten, fragmentarisch erhaltenen Malschicht*, Restauro 108, 2003: S. 571–574.
http://www.conservarium.de/bilder/wiss_arbeit/staerkeether/Staerkeether_wissArbeit_download.pdf

Richard C. Wolbers, Mary McGinn und Deborah Duerbock: *Poly (2-Ethyl-2-Oxazoline): A new conservation consolidant*. Proceedings Painted Wood: History and Conservation (V. Dorge und F.C. Hault, Hrsg.), Los Angeles, The Getty Conservation Institute, 1998, S. 514–528.
https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/pdf/paintedwood1.pdf

Günter Zeppenfeld und Dirk Grunwald: *Klebstoffe in der Holz- und Möbelindustrie*. 2. Auflage, Leinfelden-Echterdingen: DRW-Verlag, 2005.

Klebstoffbeschichtete – mit Wasser bzw. Lösemitteln aktivierbare Reparatur-Papiere
(Remoistenable Papers / Precoated Mending Papers)

Paola Alba, Susana Martín-Rey und María Teresa Doménech-Carbó: *Analysis of facing materials used as remoistenable temporary supports for facing on canvas paintings*. Cero Art, 2019.
<https://journals.openedition.org/ceroart/6532?lang=fr>

Priscilla Anderson und Alan Puglia: *Solvent set repair tissue*. AIC – The Book and Paper Goup Annual, 2003.
<https://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v22/bp22-02.pdf>

Priscilla Anderson and Sarah Reidell: *Adhesive Pre-Coated Repair Materials*. Book and Paper Group, LCCDG and ACDG, Handout, 2009.
https://www.culturalheritage.org/docs/default-source/periodicals/lccdg_2009_andersonreidell.pdf?sfvrsn=4

Irene Brückle: *Update – Remoistenable Lining with Methyl Cellulose Adhesive Preparation*. AIC – The Book and Paper Goup Annual, 1996.
<https://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v15/bp15-03.html>

Eliza Jacobi, Bas van Velzen: *Instructables – Remoistenable tissue*. Journal of PaperConservation 12/1, 2011, S. 36.
<http://iada-home.org/JPC1101.pdf>

Eliza Jacobi, Bas van Velzen: *Instructables – Repair on iron gall ink with remoistenable tissue*. Journal of PaperConservation 12/2, 2011, S. 37–38,

Leyla Lau-Lamp: *A new material for the conservation of Papyrus*. AIC – The Book and Paper Group Annual, 2007.
<https://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v26/bp26-33.pdf>

Katherine Lechuga: *Aquazol-coated remoistenable mending tissues*. In: Proceedings of Symposium 2011 – Adhesives and Consolidants for Conservation – Research and Applications, Canadian Conservation Institute (CCI) Ottawa, 2011.
<https://slidex.tips/download/information-archived-on-the-web>

Andrea Pataki: *Remoistenable tissue preparation and its practical aspects*. Restaurator 30, 2009, S. 51–69.

Sonja Titus, Regina Schneller, Enke Huhsmann, Ulrike Hähner und Gerhard Banik: *Stabilising local areas of loss in iron gall ink copy documents from the Savigny estate*. Restaurator 30, 2009, S. 16–50.

Normen

CEN – Europäisches Komitee für Normung (Hrsg.):
EN 15898:2011. *Erhaltung des kulturellen Erbes – Allgemeine Begriffe*.
Brüssel: Comité Européen de Normalisation (CEN), 2011.

DIN – Deutsches Institut für Normung (Hrsg.).
DIN EN 923:2016. *Klebstoffe – Benennungen und Definitionen*.
Deutsche Fassung, Berlin: Beuth, 2016.

DIN EN ISO 9665 2000. *Klebstoffe – Tierische Leime – Verfahren für Probenahmen und Prüfung*.
Berlin: Beuth, 2000.

DIN EN ISO 535:2014. *Papier und Pappe – Bestimmung des Wasserabsorptionsvermögens – Cobb-Verfahren*.
Berlin: Beuth, 2014.

DIN EN 1896 2001: *Klebstoffe für Papier, Verpackung und Hygieneprodukte – Bestimmung der Zugfestigkeit und der Dehnung*. Berlin: Beuth, 2001.

DIN EN ISO 9706:2010. *Information und Dokumentation – Papier für Schriftgut und Druckerzeugnisse – Voraussetzungen für die Alterungsbeständigkeit*.
Berlin: Beuth, 2010.

DIN 54357:1978. *Prüfung von Zellstoff – Bestimmung der Kappa-Zahl*.
Berlin: Beuth, 1978.

Abbildungsnachweis

Titelbild Henkel Werbeset für Klebstoffe: »Aufbau der Henkelwerkstoffe – Stärkefabrikate und Zellulosefabrikate«, datiert: Späte 1930er Jahre – vermutlich nach 1936. Foto: G. Banik.

Abb. 1: Gel – Sol – Gel Transformation von Gelatine.
Bei Raumtemperatur dringt Wasser in die Molekülaggregate (Gel) der Gelatine (a) ein, verursacht Quellung; bei Erwärmung auf ca. 60°C → Trennung der Moleküle → Bildung einer kolloidalen Lösung (Sol) (b); bei Abkühlung → Bildung eines pastosen Gels durch Rückbildung helikaler Molekülaggregate (c).
Quelle: G. Banik und I. Brückle: *Papier und Wasser*. München, Siegl, 2015: Abb. 6.6, S. 163.

Abb. 2: Auswirkung molekularer Veränderungen auf die Klebeeigenschaften von Gelatine.

(a) Ausgangszustand;

(b) Hydrolyse

- Depolymerisation der Polypeptide, die Molekülmasse sinkt,
- die Festigkeit der Klebschicht (Kohäsion) wird kleiner,
- die Haftung an Füge­teilen (Adhäsion) steigt.

(c) Härtung

- Al³⁺, Fe³⁺, Formaldehyd, Tannine u. a. wirken als »Härter«
- molekulare Vernetzung der Proteinmoleküle,
- die molekulare Dichte steigt, das Wasseraufnahmevermögen sinkt mit zunehmendem Vernetzungsgrad,
- damit schlechter löslich,
- kaum mehr als Klebstoff einsetzbar,
- vorhandene Klebschichten zunehmend schwerer ablösbar.

(d) Erwärmung auf über 75°C

- Proteine denaturieren irreversibel,
- Moleküle koagulieren
- das Wasseraufnahmevermögen reduziert sich nahezu auf null,
- die Substanz wird unlöslich,
- nicht mehr als Klebstoff einsetzbar.

Quelle: G. Banik und I. Brückle: *Papier und Wasser*. München, Siegl, 2015: Abb. 6.13, S. 165.

Abb. 3: Syntheseablauf von Methylhydroxyalkylcellulose (MHAC).

Quelle: H. Sixta: *Vorlesung – Celluloseprodukte*. Wien, BOKU, 2004.

*) zu Struktur und Eigenschaften von Ethylenoxid siehe z.B.

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Ethylene-oxide>

Abb. 4a: Ausschnitt aus der Struktur der Amylose.

Abb. 4b: Modell der gestreckt-schraubenförmigen Hohlzylinderstruktur von Amylose.

Quelle: G. Banik und I. Brückle: *Papier und Wasser*. München, Siegl, 2015: Abb. A9.8.1, S. 576.

Abb. 5a: Ausschnitt aus der Struktur von Amylopektin.

Abb. 5b: Verzweigtes »Strauchmodell« des Amylopektins.

Quelle: E. Gruber: *Papierchemie Teil 15*, Trockenfestigkeit – Stärke als Additiv.

Vorlesungsskriptum zum Lehrgang »Papiertechnik« an der Dualen Hochschule Karlsruhe, 2011: Abb.12. S.15-10.

<http://www.gruberscript.net/>

Abb. 6: Veränderungen von Stärke während des Kleisterkochens (Verkleisterung) und Abkühlens des Kleisters durch Retrogradation.

- Abb. 7: Vinylacetat, dessen Polymerisation zu Polyvinylacetat (PVAc), Verseifung von PVAc mit NaOH/Methanol unter Abspaltung von Natriumacetat zu Polyvinylalkohol (PVAL). Die in Polyvinylacetat sich n-mal wiederholende Grundeinheit ist schwarz, eine der im PVAc Polymer verseifbaren Acetylgruppen ist rot umrandet.
- Abb. 8: Modell des bei Verseifung von Polyvinylacetat entstehenden Copolymers aus Vinylalkohol und Vinylacetat; eine durch unvollständige Verseifung im Polymer verbliebene Acetylgruppe ist rot umrandet.
- Abb. 9: Strukturformeln von Vinylacetat und Polyvinylacetat. Die in Polyvinylacetat sich n-mal wiederholende Grundeinheit ist schwarz, eine der verseifbaren Ester- (Acetyl-) Gruppen) ist rot eingerahmt.
- Abb. 10: Strukturformel von Ethylvinylacetat (EVAc), das Polymer ist aus PVAc (m Einheiten) und Ethylen (n Einheiten) aufgebaut, wobei bei Klebstoffen der Ethylenanteil im Copolymer zwischen 17% und 30% (w/w) liegt.
- Abb. 11: Schematische Darstellung aller zwischen einem Klebstoff-Makromolekül und einem Füge­teil theoretisch möglicher Adhäsionskräfte. Chemische Bindungen treten nur selten auf. Ein Beispiel, bei dem sie nachweisbar sind, wäre die Kombination – Holz und Polyurethan.
Quelle: Fonds der Chemischen Industrie: *Die Kunst des Klebens*. Frankfurt/Main, 2015: Abb. 3, S.14.
<https://www.vci.de/fonds/downloads-fonds/unterrichtsmaterialien/2015-11-unterrichtsmaterial-klebstoffe-textheft.pdf>
- Abb. 12: Dispersion unlöslicher Klebstoffpartikeln (rot, Größe 50 –500 nm) in Wasser (blau). Um deren vorzeitige Zusammenballung in der Dispersion zu verhindern, sind die Partikel mit einem Schutzkolloid ausgerüstet.
Quelle: B. Momper: *Wo kommen die Klebstoffe her? Die verschlungenen Wege vom Rohstoff zum Klebstoff*. Vortrags-PPT, Detmold, 17. Jowat-Seminar, 2018.
https://www.jowat.com/fileadmin/dokumente/Symposium_2018/Vortraege/Vom_Rohstoff_zum_Klebstoff_-_IVK__Momper.pdf
*) 1nm = 10⁻⁹ m
- Abb. 13: Kationische Stärke, eine der positiv geladenen quaternären Aminogruppen ist blau eingerahmt.
- Abb. 14: Schematische Darstellung der zwischen Klebstoff-Makromolekülen in einer Klebschicht theoretisch wirksamen Kohäsionskräfte.
Quelle: Fonds der Chemischen Industrie: *Die Kunst des Klebens*. Frankfurt/Main, 2015: Abb. 4, S.15.
<https://www.vci.de/fonds/downloads-fonds/unterrichtsmaterialien/2015-11-unterrichtsmaterial-klebstoffe-textheft.pdf>
- Abb. 15: Mechanismus der Nassverfestigung (Nassfestleimung):
(a) Ein kationisches Polymer (positiv (+) geladen) legt sich infolge elektrostatischer Anziehung an die negativ polarisierten Cellulosefasern (δ^-) an. Der Zusammenhalt zwischen den Fasern an den Faserkreuzungspunkten wird durch Wasserstoffbrückenbindungen (blaue Punkte) gewährleistet. Diese sind durch Wasser trennbar.
(b) Es kommt zur Reaktion zwischen den funktionellen Gruppen des niedergeschlagenen Polymers (rot) und Cellulose;
(c) neu entstandene chemische Bindungen (schwarz) verbinden die Fasern zusätzlich mit durch Wasser nicht mehr trennbare Polymerbrücken.
Quelle: E. Gruber: Papierchemie Teil 16, *Synthetische Trocken- und Nassfestmittel*. Vorlesungsskriptum zum Lehrgang »Papiertechnik« an der Dualen Hochschule Karlsruhe, 2011: Abb. 6, S. 16-6.
<http://www.gruberscript.net/>

- Abb. 16: Glycylalanin – ein Dipeptid, das durch eine Kondensationsreaktion zwischen den Aminosäuren Glycin und Analin entstanden ist. Die Peptidgruppe, durch die Glycin und Analin miteinander verbunden wurden, ist rot umrandet.
- Abb. 17: Primer/Haftvermittler sind Verbindungen, die mit zwei unterschiedlich reaktiven Gruppen ausgerüstet sind, die einerseits mit dem Füge­teil (grün) andererseits mit den Klebstoffmolekülen (blau) chemische Bindungen oder physikalische Wechselwirkungen eingehen können. Damit lässt sich bei ungünstigen Kombinationen eine ausreichende Adhäsion von Klebstoff und Füge­teil erreichen.
Quelle: Fonds der Chemischen Industrie: *Die Kunst des Klebens*. Frankfurt, 2015: Abb. 9, S. 21.
<https://www.vci.de/fonds/downloads-fonds/unterrichtsmaterialien/2015-11-unterrichtsmaterial-klebstoffe-textheft.pdf>
- Abb. 18: Zerfallsreaktion des Polymerisationsinitiators Kaliumperoxodisulfat unter Einwirkung von Wärme oder UV-Strahlung. Siehe auch S. 25, die Auflistung möglicher Additive in kommerziellen Dispersionsklebstoffen.
- Abb. 19: Modell einer Anhydroglucoseeinheit (AGU) in einer Cellulosekette.
Die an jeder AGU veretherbaren Hydroxylgruppen sind rot umrandet.
Quelle: G. Banik und I. Brückle, *Wasser und Papier*. München, Siegl, 2015: Abb. 4.2, S. 91.
- Abb. 20: Hydroxyethylcellulose – Modell der Molekülstruktur am Beispiel von zwei AGU-Einheiten der Cellulosekette, die mit Hydroxyethylgruppen verethert sind (DS = 1,5, MS = 2,5).
Quelle: R. Feller und M. Wilt: *Evaluation of cellulose ethers for conservation*. Marina del Rey, CF, The Getty Conservation Institute, 1993: Abb. 2.3, S. 10.
- Abb. 21: Trockenverfestigung von Papier durch Anreicherung von löslicher Stärke (a und b), an den Faserkreuzungspunkten (c) beim Trocknen des Papiervlies.
Quelle: E. Gruber: *Papierchemie Teil 15, Trockenfestigkeit – Stärke als Additiv*. Vorlesungsskriptum zum Lehrgang »Papiertechnik« an der Dualen Hochschule Karlsruhe, 2011: Abb. 3, S.15-4.
<http://www.gruberscript.net/>
- Abb. 22: Veretherung von Polymeren mit OH-Seitengruppen:
(a) Im alkalischen Milieu mit einem chlorierten Kohlenwasserstoff (R-Cl), die OH-Gruppen liegen bereits als Natriumalkoholat (R-ONa) vor;
(b) durch eine Additionsreaktion mit Epoxiden.
Quelle: E. Gruber: *Papierchemie Teil 4, Synthese von Makromolekülen durch Polymerisation*. Vorlesungsskriptum zum Lehrgang »Papiertechnik« an der Dualen Hochschule Karlsruhe, 2011: S. 4-10.
<http://www.gruberscript.net/>
*) R steht für einen organischen Rest.
**) zu Struktur und Eigenschaften von Ethylenoxid siehe z.B.
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Ethylene-oxide>
- Abb. 23: Schematische Darstellung einer Zugfestigkeitsprüfung. Die Zugkraft (Pfeile) wird senkrecht zur Klebschicht (rot) angelegt.
Quelle: Fonds der Chemischen Industrie: *Kleben / Klebstoffe*. Frankfurt/ Main, 2001: Abb. 46 d, S. 44.
- Abb. 24: Schematische Darstellung einer Zug-Scherfestigkeitsprüfung, durch Anlegen einer Zugkraft parallel zur Klebschicht (Pfeile).
Quelle: Fonds der Chemischen Industrie: *Kleben / Klebstoffe*. Frankfurt/Main, 2001: Abb. 46 c, S. 44.
- Abb. 25: Herstellung einer METHOCEL A (MC) Lösung. Das MC-Pulver zuerst in heißem Wasser dispergiert werden, damit es beim Eintragen ins Wasser nicht klumpt. Erst im Anschluss daran kann durch Abkühlung die Lösung der Methylcellulose eingeleitet werden.

Anhang

Ausgewählte Rezepturen – wasserbasierte Klebstoffe

Klebstoff: Weizenstärkekleister
Klebstoffgruppe: Native Stärke – Kohlenhydrat
Vertrieb: Kremer Pigmente, D-88317 Aichstetten
<https://www.kremer-pigmente.com/de/mal-binde-und-klebmittel/?p=1>

GMW, <https://gmw-shop.de/>
TALAS, 330 Morgan Ave. Brooklyn, NY
<https://www.talasonline.com/Wheat-Starch-Aytex-P>

Zubereitungen:

1a. Traditionelle Rührmethode, Library of Congress (LC)

57 g Stärkepulver (gemäß LC: *AYTEX-P wheat starch von TALAS*) werden in 400 ml demineralisiertes Wasser eingetragen in einem mit Teflon beschichteten Topf glatt gerührt. Zum Verrühren eignet sich ein runder Holzlöffel. Die glatt gerührte Dispersion über Nacht quellen gelassen, um die Kochzeit zu verringern. Anschließend wird die wässrige Dispersion auf einer Heizplatte unter ständigem Rühren langsam (ca. 10 min Aufheizzeit) zum Kochen erwärmt. Die anfangs milchig weiße Dispersion erscheint nach dem Aufkochen weißlich-glasig. Dann wird der Kleister unter ständigem Rühren bei moderater aber ausreichender Hitze der Heizplatte insgesamt ca. 50 min weiter gekocht, bis er eine sämig weiche Konsistenz angenommen hat. Damit man einen trockenen, aber noch streichfähigen Kleister erhält, sollte die Masse nicht zu lange gekocht werden, weil Stärkekleister im warmen Zustand wesentlich viskoser als im abgekühlten Zustand ist. Nach dem Kochen bis zum Abkühlen auf Raumtemperatur (ca. eine Stunde) wird weiter gerührt und abschließend durch ein feines Sieb passiert. Der fertige Kleister wird in ein verschließbares Kunststoffgefäß überführt, das Gefäß sollte verschlossen werden, damit sich an der Oberfläche des Kleisters keine Haut bildet. Für die Verwahrung wird der fertige Kleister mit Wasser überschichtet.

Weizenstärkekleister kann vor der Anwendung entsprechend der Verarbeitungstechnik mit Wasser auf die dafür geeignete Konsistenz verdünnt werden.

Quelle:

Library of Congress Washington, DC, updated in 2015.
http://www.conservation-wiki.com/wiki/BPG_Adhesive_Recipes_and_Tips#cite_note-2

Siehe auch CCI Notes 11/4 2008

<https://www.canada.ca/content/dam/cci-icc/documents/services/conservation-preservation-publications/canadian-conservation-institute-notes/11-4-eng.pdf?WT.contentAuthority=4.4.10>

In der Library of Congress (LC) eingesetzte Stärke

AYTEX-P wheat starch is a highly refined, unmodified food grade wheat starch, possessing the unique character of wheat starches. AYTEX-P wheat starch is exceptionally white in color, gelatinizes at low cooking temperatures and forms cooled pastes which are delicate and smooth in texture. Useful as an adhesive for paper, leather and other materials. Has a high water holding capacity, pH 5–6.5 (measured in a 70% slurry). To buffer this material, add 10% (by weight) of CaCO₃ (TALAS)

1b. Traditionelle Rührmethode, HAWK

Materialien

Weizenstärke, GMW Art.-Nr. 40601
demineralisiertes Wasser

Geräte

Feinwaage (0,01g)
Löffel
Messzylinder (min. 200 ml)
Heizplatte
Edelstahltopf mit Deckel
Rührbesen oder Glasstab
Rosshaarsieb und japanischer Holzlöffel (Shamoji)
Papierhandtücher

25 g Weizenstärke werden in einem Edelstahltopf in 200 ml demineralisiertes Wasser eintragen und mit einem Rührbesen so lange gerührt, bis sich eine einheitliche Dispersion gebildet hat. Die Dispersion wird unter moderatem Rühren auf der Heizplatte langsam erwärmt (nicht kochen!) bis bei etwa 68°C die Verkleisterung einsetzt, dann bei einer Temperatur von 70°C etwa 25 min moderat weitergerührt. Danach wird der Topf von der Heizplatte genommen, mit einem Deckel abgedeckt und der Stärkekleister auf Raumtemperatur abkühlen gelassen. Zeitgleich wird das Rosshaarsieb so ins Wasser gelegt, dass das Siebgewebe vollständig benetzt ist. Anschließend wird das Sieb aus dem Wasser gehoben und überschüssige Feuchtigkeit vom Gewebe abgetrocknet. Nach ca. 30 min Abkühlzeit wird der Kleister nochmals durchgerührt und anschließend zweimal durch das Sieb gestrichen.

Quelle:

Ulrike Hähner und Studierende, HAWK Hildesheim.

2. Sauciermethode nach Barbara Hassel

100 ml Weizenstärke (Kremer 63451–Weizenstärkepuder) werden in einem Becherglas mit abgemessen (Becherglas mit Mensur) mit 300 ml Leitungswasser gemischt, in einen Sauciertopf (Le Saucier®) überführt und die Dispersion auf der Heizstufe drei ca. 15 min gerührt. Der fertige Kleister wird im Kühlschrank gelagert.

Quelle:

Barbara Hassel, persönliche Mitteilung

Anwendungen Stärkekleber – technisch:

Wellpappenerzeugung

Klebstoff für Museumskartons (KLUG-CONSERVATION)

Trockenfestmittel

Textil-Schlichte

Anwendungen – Restaurierung:

Lösen und Abnahme gealterter, quellbarer Naturklebstoffe

Verklebung von Papier

Riss-Schließungen

Kaschieren

Klebearbeiten an Leder

Quelle:

Barbara Hassel, persönliche Mitteilung

3. Mikrowellenmethode HAWK (16,7% w/w)

Materialien

Weizenstärke, GMW, Art.-Nr. 40601
demineralisiertes Wasser

Geräte

Feinwaage (0,01g)
Löffel
Messzylinder (min. 100 ml)
Becherglas (250 ml)
Kunststoffspatel
Mikrowelle
Uhr mit Sekundenanzeiger
Parafilm® oder Frischhaltefolie
Rosshaarsieb und japanischer Holzlöffel (Shamoji)
Papierhandtücher

18g Weizenstärke – das entspricht einem Schüttvolumen von 23ml – werden in einem Becherglas in 90 ml demineralisiertes Wasser eintragen und mit einem Kunststoffspatel so lange gerührt, bis sich eine einheitliche, von Klumpen freie Dispersion gebildet hat. Anschließend die Mikrowelle auf Stufe »High« (700W) und eine Behandlungsdauer von 2 Minuten einstellen, das Becherglas mit der Dispersion mittig hineinstellen, die Mikrowelle startet dann mit dem Schließen der Tür. Nach 20 Sekunden wird das Gerät geöffnet und der Kleister mit dem Kunststoffspatel glattgerührt. Nach Ablauf der 2 Minuten wird das Becherglas der Mikrowelle entnommen, mit Parafilm® oder Frischhaltefolie abgedeckt und der Kleister auf Raumtemperatur abkühlen gelassen. Zeitgleich wird das Rosshaarsieb so ins Wasser gelegt, dass das Siebgewebe vollständig benetzt ist. Anschließend wird das Sieb aus dem Wasser gehoben und überschüssige Feuchtigkeit vom Gewebe abgetrocknet. Nach ca. 30 Minuten Abkühlzeit wird der Stärkekleister nochmals durchgerührt und dann zweimal durch das Sieb gestrichen.

Quelle:

Ulrike Hähner und Studierende, HAWK Hildesheim.

4. Überbrühen mit kochendem Wasser

17 g Weizenstärke (z. B. GMW, Art.-Nr. 40601) mit 18 ml kaltem Leitungswasser (ca. 20°C) mischen und glattrühren. Anschließend 500 ml Leitungswasser zum Kochen bringen und dem Ansatz damit unter ständigem Rühren zusetzen. Das Wasservolumen kann entsprechend der gewünschten Viskosität des Kleisters variiert werden.

Die Temperatur des zugesetzten Wassers liegt mit 100°C deutlich über der Verkleisterungstemperatur – diese liegt für Weizenstärke im Bereich von 50°C = deutliches Anquellen bis 67,5°C = Verkleisterung abgeschlossen*), so dass beim Überbrühen mit kochendem Wasser die Verkleisterung sofort einsetzt und infolge der Wärmekapazität des zugesetzten Volumens auch rasch vonstattengeht. Es bildet sich je nach zugesetzter Wassermenge ein hoch bis niedrig viskoser Kleister für unterschiedliche Anwendungen. Der Kleister soll nicht nachträglich mit kaltem Wasser verdünnt werden.

*) König, J.: *Chemie der menschlichen Nahrungs- und Genussmittel*. Berlin, Heidelberg, 1914, S. 558.

Anwendungen Stärkeklebstoffe – technisch:

Wellpappenerzeugung
Klebstoff für Museumskartons (KLUG-CONSERVATION)
Trockenfestmittel
Textil-Schlichte

Anwendungen – Restaurierung:

Lösen und Abnahme gealterter, quellbarer Naturklebstoffe
Verklebung von Papier
Riss-Schließungen
Kaschieren
Klebearbeiten an Leder

Literatur:

Brauns, A.: *Klebkraftversuche mit verschiedenen Stärkekleistern*. (2013)
<https://rst.fortytwo.de/files/2013/04/klebkraftversuche.pdf>

Alternative Rezeptur:

CCI (Hrsg.) - CCI Notes 11: *Wheat starch paste*. (1993).
<https://www.canada.ca/content/dam/cci-icc/documents/services/conservation-preservation-publications/canadian-conservation-institute-notes/11-4-eng.pdf?WT.contentAuthority=4.4.10>

Quelle:

Nach Anette Henrichs, 1998.

Klebstoff: *Reisstärkekleister*

Klebstoffgruppe: *Native Stärke – Kohlenhydrat*

Vertrieb: *Kremer Pigmente, D-88317 Aichstetten*
https://www.kremer-pigmente.com/media/pdf/krp_katalog_2018_web_sm.pdf
GMW, <https://gmw-shop.de/>
Hänseler AG, CH-9100 Herisau,

1 Zubereitung nach Kohler:

100g Reisstärke (z. B. Kremer 63440 wären einzusetzen) werden in 600ml kaltes Leitungswasser eingetragen und glatt gerührt. Die glattgerührte Dispersion über Nacht quellen gelassen, um die Kochzeit zu verringern. Anschließend wird die wässrige Dispersion auf einer Heizplatte unter ständigem Rühren langsam (ca. 10 Minuten Aufheizzeit) erhitzt, bis sie aufkocht. Dann wird der Kleister unter ständigem Rühren bei reduzierter Hitze insgesamt maximal 50 Minuten weiter gekocht, bis er eine sämige weiche Konsistenz angenommen hat. Nach dem Kochen bis zum Abkühlen auf Raumtemperatur (ca. 1 Stunde) wird weiter gerührt und abschließend durch ein feines Sieb passiert. Der fertige Kleister kann entsprechend Anforderungen an die weitere Verarbeitung mit Leitungswasser auf die dafür geeignete Konsistenz verdünnt werden.

Quelle:

Kohler, S.A.: *Preparation of rice starch paste*, The Abbey Newsletter 5 (1981) S. 41.

2. nach Martin Strebel (E-Mail vom 08.03.2018):

Unser Rezept für Reisstärkekleister lautet:

150 ml Reis-Stärkepulver

Lieferant: *Hänsele AG, CH-9100 Herisau*

oder

Kremer D-63440 Aichstetten

350 ml Leitungswasser

Das Stärkepulver mit kaltem Leitungswasser zum Quellen ca. 15 Minuten einweichen, dann bis zum Verkleistern erhitzen und 50 Minuten unter stetigem Rühren kochen lassen. Nach dem Kochen bis zum Erkalten ca. 30 Minuteniterrühren. Den sehr dicken Kleister mit dem Pistill unter Zugabe von Leitungswasser im Mörser auf die gewünschte Konsistenz verdünnen. Im Kühlschrank bei bis zu 10°C lagerfähig. Wir bereiten den Kleister alle drei Tage frisch zu.

Anwendung nach Atelier Strebel AG (2018):

Den dicken, unverdünnten Kleister verwenden wir zum Abweichen von alten Ableimungen aus Glutinleim auf Buchblockrücken.

Im Falle von Schafledern aus dem 18. und 19. Jh., die sehr wasserempfindlich reagieren (Schwarzwerden des Leders durch Feuchtigkeit), bestreichen wir die Rückseite der originalen Leder mit einer Schicht des unverdünnten dicken Kleisters und lassen den Kleister trocknen (eine Art Appretur). Auf die trockene Appretur streicht man nochmals Kleister und dann klebt man das originale Leder auf das neue. So kann man Einschwärmungen des originalen Leders verhindern. Dies könnte auch bei den sehr feuchtigkeitsempfindlichen Kalbledern des 17. und 18. Jh. funktionieren.

Die Klebekraft und Flexibilität im getrockneten Zustand ist bei Reisstärke größer als bei Weizenstärke. Einletern von historischen Lederbänden (insbesondere von Rücken). Wir erhoffen uns durch die stärkere Klebekraft des Reiskleisters eine bessere Klebeverbindung mit dem Buchblock, die auch länger Bestand haben wird. Zum Abweichen von Glutinleim auf Buchrücken eignet sich Reisstärke, weil sie weniger Feuchtigkeit abgibt als Weizenstärke.

Quelle:

Atelier Strebel AG, Martin Strebel, CH-5502 Hunzenschwil.

Klebstoff: *Kollotex 1250*

Klebstoffgruppe: *Stärkeether (Hydroxyethylstärke)
modifizierter Naturstoff*

Hersteller: *AVEBE Business Unit Technical Applications
AVEBE-Weg 1, NL-9607 PT Foxhol, Niederlande*

Vertrieb: *Kremer Pigmente, D-88317 Aichstetten*
<https://www.kremer-pigmente.com/de/kollotex-900004.html>
GMW, <https://gmw-shop.de/>

Zubereitung:

Für die Herstellung einer 3% (w/w) Kollotex 1250 (kolloidalen Dispersion) in Wasser werden 3 g Kollotex in 97 g kochendes Wasser langsam eingerührt. Anschließend wird mit einem Magnetrührer bei einer Temperatur von 60°C so lange moderat weitergerührt, bis eine klumpenfreie, aber immer noch leicht trübe Dispersion entstanden ist.

Anwendungen:

Klebearbeiten und Stabilisierung an gealterten Textilien
Konsolidierung matter Malschichten

Quelle:

Waltriny, I.: *Stärkeether in der Restaurierung – für die Konsolidierung einer matten, fragmentarisch erhaltenen Malschicht*, Restauro 108 (2003) S. 571–574.

Klebstoff: *Methylcellulose (Methocel® A)*
bei ebenfalls von DOW Chemical erzeugten Produkten mit der Bezeichnung Methocel mit den Kennungen E, F, J und K handelt es um verschiedene andere Typen von Celluloseethern

Klebstoffgruppe: *nichtionischer Celluloseether modifizierter Naturstoff*

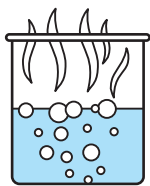
Hersteller: *DOW CHEMICAL Deutschland Inc., Postfach 1120, D-21677 Stade*

Vertrieb: *Kremer Pigmente, D-88317 Aichstetten (Methocel A4M)*
<https://www.kremer-pigmente.com/de/methocel-a4m-63671.html>

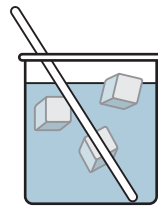
Bei Methocel A4M handelt um einen, bei Einhaltung des von DOW-Chemical vorgegebenen Präparationsstandards (Abb. 24), in Wasser gut löslichen, mittelviskosen Typ aus der Produktreihe von Methocel A von Dow Chemical. 4M ist die Kodierung der Viskosität dieses MC Typs – 4 000 mPa•s für eine 2% w/w wässrige Lösung bei 20°C. Typen mit anderem Viskositätsverhalten können dem Methocel-Technical-Handbook, herausgegeben von Dow Chemical (2002), entnommen werden. Die Viskosität einer MC-Lösung ergibt sich aus dem Typ des Ausgangsproduktes (niedriger bis hoher Durchschnitts-DP) und der Konzentration. Die Alterungsbeständigkeit wird von Feller und Wilt (1990) als gut beschrieben.

Methylcellulose findet zahlreiche Anwendungen in der Papierrestaurierung u. a. als Klebstoff, Konsolidierungsmittel (Pataki 2006) und für Kompressen, siehe auch AIC-BPG WIKI: »Adhesives«.

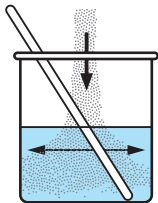
Zubereitung:



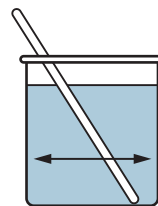
(a) Ein Drittel der benötigten Wassermenge auf mindestens 90°C erhitzen.



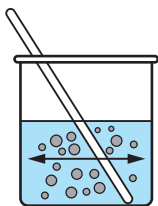
(d) Die restlichen $\frac{2}{3}$ des Wasservolumens werden kalt oder als Eis unter moderatem Rühren zugesetzt, um die Temperatur der Dispersion soweit abzusenken, dass Methocel wasserlöslich wird. Das Pulver wird hydratisiert und die Viskosität steigt an.



(b) Unter ständigem Rühren wird das Methylcellulose-Pulver dem heißen Wasser langsam zugesetzt.



(e) Die wasserklare Lösung wird noch mindestens 30 Minuten moderat weitergerührt. Danach ist die Methocel-Lösung gebrauchsfertig.



(c) Die Mischung wird in der Hitze weitergerührt, bis das Pulver vollständig benetzt und gleichmäßig dispergiert ist.

Achtung: *Sehr langsam rühren, damit nicht Luftblasen in die viskose Lösung eingetragen werden.*

Abb. 25: Herstellung einer METHOCEL A (MC) Lösung. Das MC-Pulver zuerst in heißem Wasser dispergiert werden, damit es beim Eintragen ins Wasser nicht klumpt. Erst im Anschluss daran kann durch Abkühlung die Lösung der Methylcellulose eingeleitet werden.

Anwendung

Mit einem Gemisch aus MC und Stärke beschichtetes Japanpapier, "Remoistenable Tissue"
<http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v15/bp15-03.html>

Literatur:

https://www.conservation-wiki.com/wiki/BPG_Adhesives#Methyl_Cellulose

Baker, C.: *Methylcellulose and sodium carboxymethylcellulose: An evaluation for use in paper conservation through accelerated aging*. In: Adhesives and Consolidants – IIC Paris Congress Preprints. (N.S. Bromelle et al. Hrsg). IIC, London (1984) S. 55–59.

Brückle, I.: *Update – remoistenable lining with methyl cellulose adhesive Preparation*.

Book and Paper Group Annual 15 (1996),

<http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v15/bp15-03.html>

Feller, R. und Wilt, M.: *Evaluation of cellulose ethers for conservation*.

Marina del Rey, CA: The Getty Conservation Institute (1990).

https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/pdf/ethers.pdf

Pataki, A.: *Einflussgrößen auf den Farbeindruck von pudernden Malschichten beim Konsolidieren mit Aerosolen*.

Wissenschaftliche Berichte FZK 7168 (2006).

<https://publikationen.bibliothek.kit.edu/200065292>

Pataki, A.: 2009. *Remoistenable tissue preparation and its practical aspects*. Restaurator 30 (2009) S. 51–69.

Quelle:

Dow Chemical (Hrsg): Methocel Technical Handbook (2002) S. 12.

<https://uolab.groups.et.byu.net/files/pipevisco/hints/methocel.pdf>

Klebstoff: *Klucel® (Hydroxypropylcellulose, HPC)*

Klebstoffgruppe: *nicht-ionischer Celluloseether
modifizierter Naturstoff*

Hersteller: *Aqualon GmbH Paul-Thomas-Straße 53, D-40599 Düsseldorf*

Vertrieb: *Kremer Pigmente, D-88317 Aichstetten*
<https://www.kremer-pigmente.com/de/klucel-e-63700.html>
GMW, <https://gmw-shop.de/>
Talas, Brooklyn, NY, <https://www.talasonline.com/Klucel-G>

Klucel® (HPC) ist einerseits in Wasser unterhalb einer Wassertemperatur von 38°C löslich, andererseits auch in polaren organischen Lösemitteln, z. B. in Ethanol, Isopropanol (Propanol-2), Aceton, Methylethylketon u.a.m. Der pH einer wässrigen Lösung liegt im Bereich von 5,0–5,9. Oberhalb einer Wassertemperatur von 45°C kann Klucel® nicht mehr in Wasser gelöst werden. Ab dieser Temperatur flockt es aus einer bestehenden wässrigen Lösung aus. Die Viskosität wässriger Lösungen ist deutlich erhöht, wobei die Viskositätserhöhung von der molekularen Masse des gelösten Typs abhängt. Klucel® ist mit unterschiedlicher molekularer Masse unter den Bezeichnungen H, M, G und E kommerziell erhältlich, wobei H das Produkt mit der höchsten molekularen Masse und E das mit der kleinsten ist. Die Viskositäten wässriger Lösungen (2% w/w) liegen für Klucel® H bei 30 000 mPas, für M im Bereich von 3500–7500 mPas, für G zwischen 150 und 400 mPas und E bei nur mehr bei 7 mPas. Die Lösungen sind im Bereich von pH 2 bis pH 11 pH-stabil, d. h. ihre Viskosität bleibt in diesem Bereich nicht durch Änderungen des pH beeinflusst.

Weil die HPC Lösungen nur eine geringe Oberflächen- und Grenzflächenspannung aufweisen, ist das Penetrationsvermögen der niedrigviskosen Typen E und G in poröse Oberflächen sehr gut bis gut, während die viskosen Typen M und H sich bevorzugt auf den Oberflächen abscheiden.

Als Folie ausgegossen sowie als Beschichtung auf dünnen Trägerpapieren (Precoated Mending Papers) ist Klucel® in der Wärme siegelbar und auch ohne Weichmacherzusatz sehr flexibel.

Die Klebkraft aller Klucelprodukte ist allerdings gering.

Wie andere Celluloseether ist auch Klucel® relativ wenig anfällig für einen biologischen Befall. Im Vergleich zu Methylcellulose liegt eine entsprechende Gefährdung allerdings höher.

Leider widersprüchlich ist die Literatur zur Langzeitstabilität von Klucel® (HPC). Sie wird von Hofenk de Graaff (1983) positiv, hingegen von Feller und Wilt (1990) negativ bewertet. Aus Erfahrungen der Praxis lässt sich aber eine ausreichende Alterungsbeständigkeit schließen. Als Beispiel sei auf das von Andrea Donau 1981 restaurierte Mumienportrait verwiesen, das nach einer umfangreichen Konsolidierung der Malschicht seit nunmehr fast vierzig Jahren im Papyrus Museum der Österreichischen Nationalbibliothek (Inv. Nr. G 807) ausgestellt ist, ohne dass zwischenzeitlich eine Veränderung eingetreten ist.

Zubereitung: Lösung in Wasser (2% w/w)

2g Klucel® werden in 30 ml demineralisiertem Wasser mit einer Temperatur von ca. 55°C unter starkem Rühren eingetragen und die Dispersion einige Minuten weitergerührt (die Temperatur soll 60°C nicht überschreiten). Dann wird die restliche Menge von 68 ml Wasser kalt (bei ca. 20°C) und unter moderatem Rühren langsam zugesetzt. Es wird so lange moderat weitergerührt bis der Feststoff vollständig gelöst ist (ca. 10–15 Minuten). Es soll nicht zu stark gerührt werden, weil die Lösung zum Schäumen neigt.

Das mit demineralisiertem Wasser zubereitete Klucel® G kann auf eine mit Silicon beschichtete Trennfolie als Film ausgegossen werden, der dann für wasserfreie Behandlungen mit Ethanol oder anderen polaren Lösemitteln aktiviert werden kann.

Zubereitung: Lösung in Isopropanol (Propanol-2)

Klucel® ist in polaren Lösemitteln löslich. Für die nichtwässrige Anwendung von Klucel® hat wird bevorzugt Isopropanol (Propanol-2) eingesetzt. Zur Herstellung einer Lösung von 2% (w/w) Klucel® in Isopropanol werden 1g Klucel-Pulver unter moderatem Rühren langsam in 49g Isopropanol eingerührt (49g Isopropanol entsprechen 62 ml). Es wird solange gerührt, bis eine wasserklare Lösung entstanden ist (Kremer Information).

Anwendungen technisch und industriell:

Hydroxypropylcellulose weist wegen seiner vielfältigen Eigenschaften, u. a. als Bindemittel, Verdicker, Emulgator, Emulsionsstabilisator, Filmbildner eine große Anwendungsbreite auf. Es wird als Hilfsstoff in Pharmaprodukten, Kosmetika und Klebstoffen eingesetzt, als Lebensmittelzusatzstoff (E463) sowie in der Papiererzeugung.

Anwendungen in der Restaurierung (Auswahl):

Stabilisierungs- und Konsolidierungsmaßnahmen, wenn der Einsatz wässriger Systeme nicht möglich ist:

Malschichtkonsolidierung, Stabilisierung brüchiger Textilien – e. g. Seidengewebe;

Herstellung von Precoated Mending Paper – Remoistenabel Tissue;

in *Isopropanol (Propanol-2)* gelöst: Konsolidierung wasserempfindlicher Malschichten, siehe z. B. Andrea Donau, Diplomarbeit, Akademie der Bildenden Künste, Wien (1982);

in *Ethanol oder Isopropanol (Propanol-2)* gelöst: Konsolidierung von Leder bei rotem Verfall, (2% w/w) Klucel® G) Papierstabilisierung: (1% Klucel® G gelöst in *Ethanol oder Propanol-2*).

Literatur:

Donau, A.: *Die Mumienportraits Fayums, Geschichte Technologie, Konservierung (Klucel®- Hydroxy Propyl Cellulose), klimatisierte Vitrine*. Unpublizierte Diplomarbeit, Meisterschule für Restaurierung, Akademie der Bildenden Künste, Wien (1982), [Objekt: Mumienportrait, Papyrusmuseum der Österreichischen Nationalbibliothek. Inv. Nr. G 807].

Hofenk de Graaff, J.: 1981. *Hydroxy Propyl Cellulose, a Multipurpose Conservation Material*. In: Preprints of the ICOM Committee for Conservation 6th Triennial Meeting, Ottawa (R. J. van Asperen de and M. Berends-Albert Hrsg.) Paris , ICOM (1981) 81/14/9–7.

Horie, C.V.: *Materials for Conservation: Organic Consolidants, Adhesives and Coatings*. 2nd ed., Oxford: Elsevier-Butterworth-Heinemann (2010) S. 205-212.

Quellen:

Kremer, Aichstetten

<https://www.kremer-pigmente.com/media/pdf/63700-63712.pdf>

TALAS, NY

<http://www.talasonline.com/images/PDF/PrepInstructions/klucelg.pdf>

Klebstoff: *Funori (TRI-FUNORI®)*

Klebstoffgruppe: *Pflanzlicher Leim (kohlenhydrat- und proteinhaltig)*

Hersteller:

Vertrieb: *Lascaux Colours & Restauro, Barbara Diethelm AG*
Zürichstrasse 42, CH-8306 Brüttisellen
<https://lascaux.ch/de/unsere-produkte/art-handling-and-restauro/staerken-and-cellulosen>
Kremer Pigmente, D-88317 Aichstetten
<https://www.kremer-pigmente.com/de/tri-funori-634776.html>
GMW, <https://gmw-shop.de/>
TALAS, Brooklyn, NY, <https://www.talasonline.com/Tri-Funori>

Zubereitung:

6g trockenes Funori (z.B. *Lascaux TRI-Funori®* oder *GMW 41725*) werden in einem Becherglas mit 200 mL Wasser vermischt. Der Ansatz wird über Nacht quellen gelassen. Anschließend wird das Gemisch bei 60°C so lange erwärmt, bis sich das gequollene Funori weitgehend gelöst hat. Nach dem Abkühlen wird die Lösung durch ein Baumwolltuch filtriert. Ziel ist eine klare Lösung von hellgelber Färbung. Der Ansatz kann im Kühlschrank verwahrt werden, sollte aber vor Gebrauch erwärmt werden.

Literatur:

Evans, D.: *Funori – A short description, recipe and source*. BGA 3 (1984): S. 59.
<https://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v03/bp03-05.html>

Quellen:

Kremer Aichstetten: <http://www.kremer-pigmente.com/media/pdf/63477.pdf>
Lascaux Brütisellen: https://lascaux.ch/dbFile/4678/u-57ad/u-57ad/Lascaux_TRI_Funori_d.pdf
Talas, Brooklyn, NY: https://www.talasonline.com/images/PDF/FAQ/TriFunori_FAQ.pdf

Zubereitung: nach TALAS

To prepare cut up 6g Funori (the web is tan to orange-brown in color). Soak in 200mL (just shy of one cup) water overnight. Cook this mixture in a pan over low heat until the seaweed is dissolved, do not boil. Cool. Strain the solution through a Japanese silk strainer or a cotton cloth. The solution will be light drab tan in color and feel "slimy".

Store in refrigerator when not in use.

Warm up prior to use.

Anwendung:

Malschichtkonsolidierung

Quelle:

Talas, Brooklyn, NY
<http://www.talasonline.com/Funori-Sheets>

Klebstoff: JunFunori® (Jun = rein)
Klebstoffgruppe: Pflanzlicher Leim (Kohlenhydrat)
Naturstoff hochgereinigt
Hersteller: Lascaux Colours & Restauro, Barbara Diethelm AG
Zürichstrasse 42, CH-8306 Brütisellen
Vertrieb: Lascaux Colours & Restauro, Barbara Diethelm AG
Zürichstrasse 42, CH-8306 Brütisellen

Zubereitung:

1g JunFunori® in 100ml kaltes Wasser geben und gut schütteln. Im Wasserbad bei 55°C mehrere Stunden rühren bis sich das JunFunori® vollständig gelöst hat. Das Gefäß soll während des Lösungsprozesses regelmäßig geschüttelt werden, um ungelöste Partikel von den Gefäßwänden abzunehmen. Ein gleichmäßiges Fließen der Lösung indiziert, dass sich das JunFunori® vollständig gelöst hat. Die Lösung (1% (w/w)) ist bereits sehr viskos. Je nach Anwendung kann sie verdünnt werden. Höhere Konzentrationen als 1,5% (w/w) werden nicht mehr vollständig gelöst.

JunFunori® stellt ein farb- und geruchloses, pH-stabiles, salzfreies und transparent auftrocknendes Konsolidierungsmittel dar.

JunFunori® kann auch als Aerosol aufgebracht werden wobei sich mit gängigen mit Ultraschall betriebenen Aerosolgeneratoren Lösungen mit Konzentrationen zwischen 0,1 – 0,15 % (w/w) vernebeln, jedoch ohne Zusatz von Alkohol. Bei Lagerung von über 48 Stunden im Kühlschrank soll einer Funorilösung Isopropanol (Propanol-2) etwa 2% (v/v) zugesetzt werden. Isopropanol wirkt als Biozid und auch als Benetzungshilfe. Eine im Kühlschrank gelagerte, mit Isopropanol versetzte Lösung hat nach 70 Tagen noch eine unveränderte Klebkraft. Ohne Alkoholzugabe wird die Lösung bereits nach wenigen Tagen abgebaut und ist nicht mehr verwendbar.

Für den Einsatz an alkoholempfindlichen Objekten muss alkoholfreie Lösung alle zwei bis drei Tage neu angesetzt werden.

Anwendungen:

Malschichtkonsolidierung (Michel 2011)
Reinigungsmedium (Michel 2006)

Literatur:

Masson, O. und Ritter, M.: *Fräulein Huth and the Red Seaweed: Consolidation of a collage by Kurt Schwitters with JunFunori®*. The Paper Conservator 28 (2004) S. 91–98.

Michel, F.: *Funori and JunFunori: Two related consolidants with surprising properties*. In: Proceedings of Symposium 2011 – Adhesives and Consolidants for Conservation, Ottawa: CCI.

Michel, F., Wanner, A. und Tobler R.: *Funori-Kompressen, Oberflächenreinigung und Reduzierung von Wasserränder*. Restauro 112 (2006) S. 319–327.

Quelle:

Lascaux, Brütisellen
https://lascaux.ch/dbFile/3594/u-4be6/Lascaux_Polysaccharide_Cellulose_Staerke.pdf

Klebstoff: *Gelatine*

Klebstoffgruppe: *Protein (hydrolisiertes Callagen)*

Vertrieb: *Merck Eurolab GmbH, Postfach 1 167, 76601 Bruchsal*
Deutsche Gelatine-Fabriken Stoess AG, PF 1253, 69402 Eberbach/Baden

Fotogelatine (B) GMW, <https://gmw-shop.de/>

Zubereitung:

Für die Herstellung 100 ml einer 2% (w/w) Gelatine werden 2 g gepulverte Gelatine (Speisegelatine oder Fotogelatine (GMW Art 40321) in 98 ml kaltem Wasser 9–12 Stunden vorgequollen. Anschließend wird die Gelatine durch Erwärmen im Wasserbad bei einer Temperatur von 60°C unter moderatem Rühren gelöst.

Achtung der Ansatz darf nicht über 65°C erwärmt werden, weil Gelatine bei höheren Temperaturen denaturiert und ihre Klebkraft verliert.

Anwendung:

Beschichtung von »Remoistenable Tissue« für Stabilisierung von Tintenfraß auf Papier

Klebstoff: *Hautleim (Perlleim)*

Klebstoffgruppe: *Protein (hydrolisiertes Kollagen)*

Vertrieb: *Kremer Pigmente, D-88317 Aichstetten*

<https://www.kremer-pigmente.com/de/koernerhautleim-in-wuerfeln-63020.html>

GMW, <https://gmw-shop.de/klebstoffe/117/hautleim-ve-1-kg?c=41>

Zubereitung:

7g Haut-/Perlleim (*Typ und Lieferant spezifizieren*) werden in 100 ml kaltem Wasser 12 Stunden vorgequollen; anschließend wird der Leim durch Erwärmen im Wasserbad bei einer Temperatur von 60°C unter moderatem Rühren gelöst.

Achtung, die Temperatur bei der Herstellung darf 65°C nicht überschreiten.

Quelle:

Sandner, I., Bünsche, B., Schramm, H.-P., Meier, G., und Voss, J.: *Konservierung von Gemälden und Holzskulpturen*, 1. Auflage, Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften (1990) S. 35.

Klebstoff: *Hausenblase / Störleim*

Klebstoffgruppe: *Protein (hydrolisiertes Kollagen)*

Vertrieb: *Kremer Pigmente, D-88317 Aichstetten*

<https://www.kremer-pigmente.com/de/hausenblase-gereinigt-63114.html>

GMW, <https://gmw-shop.de/klebstoffe/117/hautleim-ve-1-kg?c=41>

Zubereitung: Variante 1: Flüssig

10g Hausenblase in kleine Stücke schneiden (etwa in die Größe von Fingernagelschnipseln), mit 90ml kaltem, demineralisiertem Wasser vermischen (**Leitungswasser sollte nicht verwendet werden, weil es Calcium- und Magnesium-Ionen enthält, welche das Quellvermögen extrem reduzieren**) und in einem schließbaren hitzebeständigen Glasbehälter (z. B. Erlenmeyerkolben) über Nacht quellen lassen. Nach dem Quellen in den Behälter ein Magnetrührstäbchen einlegen und diesen wieder schließen. Die gequollene Hausenblase im Wasserbad für ca. 15 min (inklusive Aufheizzeit) auf 45–55°C unter moderatem Rühren auf dem Magnetrührer erwärmen, bis sich die Hausenblase aufgelöst hat

Achtung: die Temperatur bei der Herstellung darf 65°C nicht überschreiten (mit Thermometer in der Lösung kontinuierlich beobachten!).

Die Lösung sofort durch mehrlagige Gaze filtrieren.

Leim für die Verarbeitung im Wasserbad bei max. 30–35°C warm halten. Bei tieferen Temperaturen hält sich die Gelierfähigkeit (Klebekraft) länger. Die Klebekraft nimmt im Laufe des Tages ab. Aus diesem Grunde sollte man den Klebstoff **nicht länger als 4–5 Stunden** verwenden. Arbeitet man einen ganzen Tag am Pergament, sollte am Nachmittag frisch zubereitete Hausenblase eingesetzt werden (*Mitteilung Martin Strebel*).

Anwendungen nach Atelier Strebel (2018):

Klebearbeiten an Pergament;

Herunterkleben abgespaltener Bezugsmaterialien;

Herunterkleben von losen Lederteilen in den Deckelgelenken

(hält besser als Kleister);

Beschichten von Japanpapier für »Remoistenable Tissue«.

Anwendungen nach Sandner et al. (1990):

In 5% Konzentration zur Festigung von scholligen Malschichten und Farbfassungen

Quellen:

Atelier Strebel AG, Martin Strebel CH-5502 Hunzenschwil: *Zubereitung von Störleim* (2007)

https://www.atelierstrebel.ch/_tmc_daten/File/7_Zubereitung_von_Stoerleim.pdf

Sandner, I., Bünsche, B., Schramm, H.-P., Meier, G., und Voss, J.: *Konservierung von Gemälden und Holzskulpturen*, 1. Auflage, Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften (1990) S. 34.

Zubereitung: Variante 2: Als Klebstoff-Folie

Durch die höhere Temperatur (70°C) bei der Herstellung der Klebstoff-Folie erhöht sich die Viskosität, was das Eindringvermögen des Klebstoffes ins Leder verringert. Dadurch sinkt auch die Gefahr, dass sich wasserempfindliches Leder verdunkelt.

1 Teil kleingeschnittene Hausenblase von deutschen Zuchtstören in 9 Teilen demineralisiertem Wasser über Nacht quellen lassen (**Leitungswasser sollte nicht verwendet werden, weil es Calcium- und Magnesiumionen enthält, welche das Quellvermögen extrem reduzieren**). Die gequollene Hausenblase im Wasserbad auf 70°C erwärmen, die Temperatur während maximal 15 min. halten und die Hausenblase unter moderatem Rühren vollständig lösen.

Die Lösung noch warm filtrieren, z. B. durch eine mehrlagige Gaze und auf eine Polyesterfolie (Melinex®) ausgießen, bei Raumtemperatur (unter 25°C) trocknen lassen. Die getrockneten Leimstücke in kleine Stücke brechen und in einem geschlossenen Gefäß im Kühlschrank (bei 6–8°C) aufbewahren. Löst man die getrocknete Hausenblasenfolie in einem Stück aus der Polyesterfolie, kann man sie ganz stark biegen, ohne dass sie bricht, was auf eine große Elastizität des Klebstoffes hindeutet. Für die Klebstoffbereitung 3 g Folie und 7 ml in demineralisiertem Wasser unter stetigem aber leichtem Rühren bei 30–35°C lösen. Hausenblasenklebstoff, der mit Hausenblasen-Folie zubereitet wird, ist so sehr schnell verfügbar.

Die Klebstofflösung wird warm verarbeitet.

Anwendung nach Atelier Strebel AG (2018):

Klebearbeiten an hochstehenden Lederteilen – reduziert die Gefahr einer dunklen Verfärbung von vegetabil gegerbtem Leder.

Quellen:

Atelier Strebel AG, Martin Strebel CH-5502 Hunzenschwil: Zubereitung von Störleim (2018).

https://www.atelierstrebel.ch/_tmc_daten/File/7_Zubereitung_von_Stoerleim.pdf

Haupt, T.: *Zubereitung von Störleim*. Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung 18 (2004): S. 318–328.

Ergänzung: Hausenblase/Störleim, gereinigt, dünne Stäbchen, Kremer Pigmente (Art. 63114)

Da die Zubereitung des Leims sehr aufwendig ist, hat die Fa. Kremer-Pigmente gebrauchsfertige und lagerfähige Leim-Stäbchen hergestellt. Die getrocknete Hausenblase (Art. 63110) wurde dafür zerkleinert und in demineralisiertem Wasser gequollen, geknetet, im Wasserbad geschmolzen, gefiltert und dann zu Stäbchen gegossen. Die Kremer Hausenblase kann nach Bedarf zerkleinert, in warmem Wasser aufgelöst und gebraucht werden.

Quelle:

Kremer Pigmente, Aichstetten

<https://www.kremer-pigmente.com/de/hausenblase-gereinigt-63114.html>

Störleim ist auch in Chips (Leimfolie) aus zertifizierter deutscher Produktion, d. h. als bereits aufbereitetes und getrocknetes Leimkonzentrat, für die schnelle Zubereitung in definierter Konzentration bei GMW (Art. 40501) erhältlich.

<https://gmw-shop.de/klebstoffe/124/stoerleim-in-chips-10g>

Klebstoff: Pergamentleim

Klebstoffgruppe: Protein (hydrolisiertes Kollagen)

Vertrieb: Schababfälle von Carl Wildbrett, Waldstr. 20, D-86399 Bobingen
Kremer Pigmente, D-88317 Aichstetten
<https://www.kremer-pigmente.com/de/pergamentleim-63035.html>

Zubereitung:

Schababfälle aus der Pergamentherstellung werden in kleine Stückchen – etwa in der Größe von Fingernagelschnipseln – in eine dreifädige Gaze eingenäht. Das Säckchen mit den Pergamentschnipseln in demineralisiertes Wasser (20°C) eingehängt – die Mengenverhältnisse liegen bei ca. 1:4, d.h. ein Teil geschabtes Pergament, vier Teile Wasser und ca. 12 Stunden quellen gelassen. Danach wird im Wasserbad auf 50 – 60°C erwärmt und das Gemisch für 24 Stunden bei dieser Temperatur ziehen gelassen.

Achtung die Temperatur bei der Herstellung darf 65°C nicht überschreiten.

Das Wasser, das dabei verdunstet, wird ersetzt, so dass die Mengenangabe von 1:4 erhalten bleibt. Nach der Extraktion in der Wärme wird das Säckchen entfernt und der wässrige Extrakt durch ein feines Sieb filtriert, um Schwebstoffe zu entfernen.

Zur Verbesserung der Haltbarkeit des so erzeugten Pergamentleims und um sein Penetrationsvermögen bei der Anwendung zu verbessern, kann der Leimlösung ein Drittel Ihres Volumens an Isopropanol (Propanol-2) zugesetzt werden.

Quellen:

Jurek Stankiewicz (Prag): *persönliche Mitteilung*.

Flamm, V. : *Die Restaurierung von großformatigen gotischen Baurissen auf Pergament und ihre Lagerung*. IADA Preprints (1995).

http://www.iada-home.org/ta95_029.pdf

Anwendung nach Flamm (1995):

Klebearbeiten an Pergament*)

*) *Wegen zu starker Zugkraft des P-Leims empfiehlt Flamm für das Beim Zusammenkleben von Pergamentblättern zu ein Gemisch des Leims mit Tylose, das keinen Zug ausübte und eine gute Klebkraft hatte: 3 Teile Pergamentleim, 1 Teil Tylose MH 1000 von Fluka-Chemie. Die Tylose wird 15 g auf 1000ml Wasser angesetzt.*

Klebstoff: Caseinleim

Klebstoffgruppe: Protein (alkalisch aufgeschlossenes Milcheinweiss)

Vertrieb: Kremer Pigmente, D-88317 Aichstetten
<https://www.kremer-pigmente.com/de/casein-63200.html>

Zubereitung:

Variante 1, Aufschluss mit Borax*)

40g Caseinpulver (z. B. *Kremer Art 63200*) werden in 125 ml kaltem Wasser dispergiert und 12 Stunden quellen gelassen. Anschließend wird dem Ansatz eine schwach alkalische Borax-Lösung (18g in 125 ml Wasser) zugefügt und die Mischung unter gelegentlichem Rühren 60 min stehen gelassen bis ein sämiger Brei entstanden ist. Der Klebstoff soll im Kühlschrank verwahrt werden und kann zur Zugabe von einigen Tropfen Nelken- Lavendel- oder Rosmarinöl, bzw. durch Zusatz von 1 ml ethanolischer Tributylzinnoxidlösung (2% w/w) konserviert werden.

Variante 2, Aufschluss mit Ammoniumhydrogencarbonat / Ammoniak

40g Caseinpulver werden in einem relativ großen Gefäß in 200ml kaltem Wasser dispergiert. Anschließend wird die Mischung erwärmt. Dem erwärmten Ansatz wird eine Lösung von 12g Ammoniumhydrogencarbonat (NH_4HCO_3) in wenig kaltem Wasser langsam unter Rühren zugesetzt (alternativ können auch 40 Tropfen einer wässrigen Ammoniaklösung (NH_3 25% w/w) dem erwärmten Ansatz zugesetzt werden.

Vorsicht – die Mischung braust beim Zusetzen der Lösung von NH_4HCO_3 oder Ammoniak auf!

Der Aufschluss des Caseins ist mit dem Ende der Gasentwicklung abgeschlossen. Der aufgeschlossene Caseinleim soll vor der Verwendung einen Tag offen im Abzug stehengelassen werden, damit überschüssiges Ammoniak entweichen kann.

Der Klebstoff soll im Kühlschrank bei ca. 4°C verwahrt werden und kann zur Zugabe von einigen Tropfen Nelken-, Lavendel- oder Rosmarinöl, bzw. durch Zusatz von 1 ml ethanolischer Tributylzinnoxidlösung (2% w/w) konserviert werden.

***) Borax ist als Fruchtschädigend klassifiziert, daher soll heute von seinem Einsatz für den alkalischen Caseinaufschluss abgesehen werden und statt Borax Ammoniumhydrogencarbonat oder Ammoniak verwendet werden.**

Rezepturen übernommen aus:

Sandner, I., Bünsche, B., Schramm H.-P., Meier, G. und Voss, J.: *Konservierung von Gemälden und Holzskulpturen*. 1. Auflage, Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften (1990): S. 33.

Klebstoff: *Polyvinylalkohol PVAL (Mowiol®)*
Stammlösung für Sicherungsverklebungen

Klebstoffgruppe: *synthetischer Thermoplast*

Hersteller: *Hoechst AG, Frankfurt/Main*

Vertrieb: *Kremer Pigmente, D-88317 Aichstetten*
als Granulat und auch als 15% w/w) Lösung
<https://www.kremer-pigmente.com/de/polyvinylalkohol-pva-fest-67700.html>
Talas, Brooklyn, NY
<https://www.talasonline.com/Polyvinyl-Alcohol>

Verarbeitung:

Zur Herstellung einer 10% (w/w) Lösung von Polyvinylalkohol (PVA oder besser PVAL) werden 180 ml kaltem Wasser 20 g PVAL-Granulat (z. B. *Kremer 67600*) zugesetzt und bei ca. 70°C im Wasserbad unter ständigem, moderatem Rühren gelöst. Man erhält eine wasserklare Lösung, die nach Bedarf mit Wasser verdünnt werden kann.

Die Herstellung der oben genannten 10% (w/w) PVAL-Lösung in der Mikrowelle (nach Woods) erweist sich als schwierig. Die Lösung, die man in der Mikrowelle zum Kochen bringen soll, kocht sehr schnell über. Das anschließende fünfminütige Sieden der Lösung in der Mikrowelle ist erst nach einer kurzen (Zwischen-) Abkühlung möglich und soll bei einem Energieeintrag von nur 100 Watt erfolgen. Ein Problem bei der Herstellung einer PVAL Lösung in der Mikrowelle liegt darin, dass die vollständige Auflösung des PVAL Granulats während der kurzen Heizperioden nur schwer zu erreichen ist.

Literatur:

Kremer Download Details: <https://www.kremer-pigmente.com/media/pdf/67700-67760.pdf>

Kremer Sicherheitsdatenblatt: <https://www.kremer-pigmente.com/media/pdf/67700-67760.pdf>

Quellen:

Sandner, I., Bünsche, B., Schramm H.-P., Meier, G. und Voss, J.: *Konservierung von Gemälden und Holzskulpturen*, 1. Auflage, Berlin: Verlag der Wissenschaften (1990): p. 45.

Woods, C.: *Polyvinylalcohol adhesive solution: Information and description for production and use*. (1997).
<http://cool.conservation-us.org/byauth/woods/pva.html>

Klebstoff: *Aquazol*® [Poly(2-Ethyl-2-Oxazolin)]
Klebstoffgruppe: *Synthetischer Thermoplast*
Hersteller: *Polymer Chemistry Innovations inc.*
<https://www.polychemistry.com/>
Vertrieb: *Kremer Pigmente, D-88317 Aichstetten*
<https://www.kremer-pigmente.com/de/aquazol-500-63905.html>

Verarbeitung:

Aquazol® (auch PEOX) ist ein synthetisches Polymer, das außer in Wasser in polaren organischen Lösemitteln gelöst werden kann. Aquazol®-Lösungen werden hergestellt, indem in einem Becherglas die ausgewogene Menge des Granulats in das der prozentuellen Zusammensetzung einer Lösung entsprechende Lösemittelvolumen [% w/v] eingetragen wird. In der Literatur sind Lösungskonzentrationen von 10–20% angeführt. Als Lösemittel können demineralisiertes Wasser, ein geeignetes polares organisches Lösemittel oder ein Gemisch aus Beiden eingesetzt werden. Anschließend wird das Becherglas mit einem Uhrglas abgedeckt und die Mischung gelegentlich moderat durchgerührt, bis der Feststoff vollständig gelöst ist. Der Lösungsprozess nimmt nur wenige Stunden in Anspruch, anschließend ist die klare Aquazol®-Lösung gebrauchsfertig. Die Lösung ist schwach gelblich gefärbt. Der pH einer wässrigen Aquazol® Lösung liegt bei 6,4.

Anwendungen:

Stabilisierung brüchiger Textilien (Seide),
Malschichtkonsolidierung,
Bindemittel in Aquarellfarben (Retouchefarben),
Klebstoff als Substitut für PVAL,
Klebstoff für remoistenable tissues .

Literatur:

Lechuga, K.: *Aquazol-coated remoistenable mending tissues*. In: Proceedings of Symposium 2011: Adhesives and Consolidants for Conservation: Research and Applications, October 17–21, Ottawa, Canadian Conservation Institute (CCI)
<https://slidex.tips/download/information-archived-on-the-web>

Quellen:

<https://www.polychemistry.com/wp-content/uploads/2019/05/Aquazol-Product-Sheet.pdf>
<https://www.polychemistry.com/wp-content/uploads/2019/05/Aquazol-Commercial-Applications.pdf>
Kremer Download Details: <https://www.kremer-pigmente.com/media/pdf/63901-63905.pdf>
Kremer Sicherheitsdatenblatt: https://www.kremer-pigmente.com/media/pdf/63902_SHD.pdf
Aquazol 200 <http://polykon.fh-potsdam.de/polymer.php?id=752>
Aquazol 500 <http://polykon.fh-potsdam.de/polymer.php?id=1187&page=eigenschaften>

Lascaux Konsolidierungsmedium

Klebstoff: *Feindisperse, wässrige Acrylcopolymerisat-Dispersion (25% w/w Feststoff)*

Klebstoffgruppe: *Acrylat-Copolymer auf Basis von Methylacrylat, Butylacrylat, Methylmethacrylat und Styrol, die Dispersion enthält nichtionogene Tenside, Entschäumer und Biozide als Zusätze*

Hersteller: *Lascaux Colours & Restauro, Barbara Diethelm AG
Zürichstrasse 42, CH-8306 Brüttisellen*

Vertrieb: *Lascaux Colours & Restauro, Barbara Diethelm AG,
Zürichstrasse 42, CH-8306 Brüttisellen*
<https://lascaux.ch/de/unsere-produkte/art-handling-and-restauro/kunsthharze-and-dispersionen>
Kremer Pigmente, D-88317 Aichstetten
<https://www.kremer-pigmente.com/de/lascaux-medium-fuer-konsolidierung-81012.html>
Talas, Brooklyn, NY
<https://www.talasonline.com/Lascaux-Medium-For-Consolidation>

Anwendung:

Festigung von abgebautem Leder (roter Verfall) mit Lascaux Medium f. Konsolidierung 10% in Butanol (Müller et al. 2017).

Literatur:

Marriott, S.: *Lascaux 4176 – Medium for Consolidation*. The Picture Restorer (Autumn 2010): S. 34–35.

Müller, J., Pataki, A. und Brandt, S.: *Festigungsmittel zur Behandlung von abgebautem Leder* (2017).
http://www.papierrestaurierung.abk-stuttgart.de/wp-content/uploads/2017/05/Mueller_BA_Leder_2017.pdf

Quellen:

https://lascaux.ch/dbFile/3736/u-1.4e2/Lascaux_Kunsthharze_und_Dispersionen.pdf

<https://www.kremer-pigmente.com/media/pdf/81012.pdf>

Heiss-Siegel- (Schmelz-)Kleber (nichtwässrig)

Klebstoff: *Acrykleber 498 HV*

Klebstoffgruppe: *Thermoplastische copolymerere Butyl-Methacrylat-Dispersion*

Hersteller: *Lascaux Colours & Restauro, Barbara Diethelm AG
Zürichstrasse 42, CH-8306 Brüttisellen*

Vertrieb: *Lascaux Colours & Restauro, Barbara Diethelm AG,
Zürichstrasse 42, CH-8306 Brüttisellen*
<https://lascaux.ch/de/unsere-produkte/art-handling-and-restauro/kleber-and-klebewachse>
Kremer Pigmente, D-88317 Aichstetten
<https://www.kremer-pigmente.com/de/lascaux-acrykleber-498-hv-81002.html>

Herstellung eines thermisch siegelbaren Montage-Tissues mit Lascaux® 498 HV (Sheesley 2011)

1. Brush a thin and even layer of Lascaux® 498 HV onto a piece of silicon coated polyester film and dry the adhesive with a hair dryer. Silicon coated polyester is recommended to help facilitate separation of the mending strips from the polyester film. Expedited drying is recommended to prevent dirt or debris from accumulating in the adhesive surface.
2. Lay a piece of thin Japanese paper across the dry Lascaux film. Reactivate the adhesive with a tacking iron at medium heat through a piece of silicon release paper.
3. Once the Japanese paper is adhered to the Lascaux film, cut the sheet into narrow strips.
4. Peel the polyester away to reveal the adhesive just before positioning the strips on the verso of the primary support. The strip should bridge the tear with the adhesive against the verso of the primary paper support.
5. Reactivate the adhesive with a tacking iron at medium heat through silicon release paper or with a local brush application of ethanol.

Anwendungen

Acrykleber 498 HV ergibt einen zähelastischen Film und ist extrem zugfest. Geeignet für Nass- und Trockenapplikationen (reaktivieren mit Lösungsmitteln), Standard-Typ für Doublierungen und Marouflagen, siehe auch Lascaux Information:

https://lascaux.ch/dbFile/3586/u-d16f/Lascaux_Kleber_und_Klebewachse.pdf
<https://www.kremer-pigmente.com/media/pdf/81000-81004.p>

Board slotting (Zimmern 2001)

Riss-Schließung von Transparentpapier (Brückle et al. 2012)

Beschichtetes Japanpapier mit Lösemitteln und thermisch aktivierbar – “Precoated Repair Tissue”

https://www.conservation-wiki.com/w/images/c/c6/Lascaux_498_HV_Tissue_2019.pdf

https://www.conservation-wiki.com/w/images/3/39/Lascaux_498_HV_Lascaux_303_HV_Tissue_2019.pdf

Quellen:

Brückle, I., Penz, A., Homburger, H. und Glück, E.: *Sicherung von Rissen auf Transparentpapier*, in: *Papier–Linie–Licht. Konservierung von Architekturzeichnungen und Lichtpausen aus dem Hans-Scharoun-Archiv*; E. Glück, I. Brückle, E.-M. Barkhofen (Hrsg.), Akademie der Künste Berlin (2012) pp. 43–47.

Sheesley, S.: *Practical applications of Lascaux acrylic dispersions in paper conservation*, BPG 30 (2011) pp. 79–81.
<http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v30/bp30-10.pdf>

Anderson, P. und Puglia, A.: *Solvent-set book repair tissue*, BPG 22 (2003) pp. 3–8.
<https://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v22/bp22-02.pdf>

Zimmern, F., Hassel, B., Becker, E. und Banik G.: *“Board Slotting” – eine maschinenunterstützte Buchrestaurierungsmethode*. https://www.iada-home.org/ta99_081.pdf

Klebstoff: **BEVA® 371 (Lascaux)**
Heißsiegelkleber

Klebstoffgruppe: **Thermoplast aus drei Hauptkomponenten: Klebrigmachendes Harz (Polyethylenvinylacetat und Cellolyn), makromolekulares Rückgradpolymer (Keton N), Wachsanteil (Paraffin), ca. 40% Feststoff in einem Gemisch aus aliphatischen und aromatischen Lösemitteln.**

Hersteller: Lascaux Colours & Restauro, Barbara Diethelm AG
Zürichstrasse 42, CH-8306 Brüttisellen

Vertrieb: Kremer Pigmente, D-88317 Aichstetten
<https://www.kremer-pigmente.com/de/beva-371-heissiegel-kleber-1-l-87030.html>
Lascaux Colours & Restauro, Barbara Diethelm AG,
Zürichstrasse 42, CH-8306 Brüttisellen
<https://lascaux.ch/de/unsere-produkte/art-handling-and-restauro/kleber-and-klebewachse>

Zusammensetzung wie in Sandner et al. (1990) angegeben – nicht notwendigerweise ident mit heutiger Formulierung von BEVA® 371 (Lascaux)

Elvax 150 (Polyethylenvinylacetat-Copolymer)	500 g
AC Copolymer (Polyethylenvinylacetat-Copolymer)	150 g
Keton N (Cyclohexanonharz)*	300 g
Cellolyn 21 (Hydroabiethylphthalat)	40 g
Paraffin (Wachs)	100 g
gelöst in:	
Toluol (Toluol) und	1 000 g
Petroleumbenzin / Siedegrenzbenzin 100/140	800 g

*) heute ersetzt durch Laropal K80

Anwendung

Riss-Sicherungen an Plandokumenten (Reikow-Räuchle et. al. 2000)

Literatur

Berger, G.A. und Russel, W.: *Conservation of paintings: Research and innovations*. London: Archetype (2007).

Kronthal, L., Levinson, J., Dignard, C., ChaO, E. und Down, L.: *BEVA 371 and its use as an adhesive for skin and leather repairs: Background and a review of treatments*. JAIC 42/2 (2002) S. 341–362.

<http://cool.conservation-us.org/jaic/articles/jaic42-02-009.html>

Reikow-Räuchle, M., Thobois, E., Becker, E. und Banik, G.: *Die konservatorische Bearbeitung umfangreicher Plansammlungen – der Nachlass des Architekten Leopold Bauer (1872–1938) in der Albertina-Architektursammlung, Wien*, in: Bestandserhaltung Werkstoffe und Technologie, G. Banik (Hrsg.), Stuttgart: SABK (2000) pp. 41–44.

Quellen:

Sandner, I., Bünsche, B., Schramm H.-P., Meier, G. und Voss, J.: *Konservierung von Gemälden und Holzskulpturen*. 1. Auflage, Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften (1990) S. 53.

Knight, E: *Gustav Berger's original formula products for art conservation*. (2012).

http://www.apatina-restaurierungsbedarf-chemikalien-online-kaufen.at/WebRoot/Store/Shops/es10669144/4F37/E161/71E3/AD64/13F3/50ED/8961/8F0B/en_1_BERGERS_PRODUCTS.pdf

Beva® 371 (TALAS)

The only adhesive specifically formulated to meet the requirements of art conservation professionals, and since 1970 is the most widely used over the world. This material has been extensively tested and published in professional literature. Developed as a relining adhesive, it has now been found to have numerous other applications, such as mounting of paper to canvas, textile to textile, canvas to wood. It can be applied by brush, roller, or thinned and sprayed into place. BEVA can be removed from absorbent surfaces using hexane or acetone, provided these solvents do not damage the artwork involved. It is also reversible by heat and low-aromatic solvents.

Beva Film (TALAS)

For easy application, BEVA® 371 solution has been sprayed into film form for easy workability without the use of flammable solvents, and in applications where liquid Beva may not be suitable. Transparent, ideal for relining dark canvas with Mylar or Stabiltex. Very smooth, will not trap air bubbles, not tacky at room temperature, non-toxic, non-flammable. Most often activated by the use of heat thus eliminating the need for ventilation of evaporated solvents. 1mm (0.0010") (12.5 microns) thickness suitable for mounting of lightweight papers and fabrics. 2.5 mm (0.0025") (67 microns) thickness is for use on canvas and heavyweight materials. The 2.5 mm is also available in 54" wide rolls, eliminating the need for multiple strips of adhesive on larger surfaces. This product has the same properties including reversibility as BEVA 371 solution.

The new Beva® 371 27" Master Roll is 510 ft and the new 54" Master Roll is 309 ft, economical alternatives when working large scale. In addition there are ½" rolls. This new size is beneficial when strips of the film need to be used for smaller applications.

Note that this material activates at 65°C.

Quelle:

Talas, Brooklyn, NY

<https://www.talasonline.com/search?keywords=beva%20371>

Festigung und Ergänzungsmöglichkeiten von fraßgeschädigtem Holz

Klebstoffe: 1. Paraloid® B 72, 2. Plexigum® PQ 610, 3. Plexigum® P 28
Heißsiegelkleber

Klebstoffgruppe: synthetische Thermoplaste:

1. Acrylatesterpolymerisat
2. Acrylatpolymer auf Basis von *i*-Butylmethacrylat
3. Copolymer auf Basis Methylmethacrylat and *n*-Butylmethacrylat

Hersteller: Lascaux Colours & Restauro, Barbara Diethelm AG
Zürichstrasse 42, CH-8306 Brüttisellen

Vertrieb: Kremer Pigmente, D-88317 Aichstetten
<https://www.kremer-pigmente.com/de/mal-binde-und-klebmittel/?p=2>
Lascaux Colours & Restauro, Barbara Diethelm AG,
Zürichstrasse 42, CH-8306 Brüttisellen
<https://lascaux.ch/de/unsere-produkte/art-handling-and-restauro/kunsthharze-and-dispersionen>

Verarbeitung:

Das Einbringen erfolgt in einem Arbeitsgang ohne Unterbrechung, sonst beginnt sofort eine Migration der Feststoffe an die Oberfläche durch die Verdunstung des Lösungsmittels und ein weiteres Eindringen von Festigungsmittel ist blockiert.

Wässrige Kleber wie Fischleim sollen nicht verwendet werden, da sofort ein Quelleffekt des Holzes ausgelöst wird.

Hinterfüllung von Fraßgängen:

Wenn Fraßgänge offen liegen, eignen sich Mischungen aus Korkmehl und Plectol® (je höher der Füllstoffanteil, umso weniger Schwund, je höher der Binder- bzw. Klebstoffanteil, umso höher sind Klebkraft und Festigkeit). Beim Unterspritzen feiner Hohlräume wird Kreide statt Korkmehl als Füllstoff eingesetzt.

Ungeeignet sind Holzmehl als Füllstoff und Mischungen aus PVAC und Methylcellulose als Binder bzw. Klebstoffe.

Epoxidharze sollen wegen ihres hohen Dampfdiffusionswiderstands und ihrer Unlöslichkeit nach dem Aushärten nicht verwendet werden.

Quellen:

Sandner, I., Bünsche, B., Schramm H.-P., Meier, G. und Voss, J.: *Konservierung von Gemälden und Holzskulpturen*. 1. Auflage, Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften (1990) S. 300–307.

Ruhnau, B.: *Die Stabilisierung braunfaulen Holzes*. Kölner Beiträge Band 1, München: Siegl (1994).

Mintrop, B.: *Elastische Kitte in der Holzrestaurierung*. Kölner Beiträge, Band 9, München: Siegl (1997).

Mintrop, B.: *Ergänzung, Festigung, Kittung*. Kölner Beiträge, Band 18, München: Siegl (2008).