

Farbschichtkonsolidierung

Von der Wirkung vernebelter Festigungsmittel auf matte Gouachefarben

Bei der Restaurierung von Gouachen auf Papier und Pergament wurden Farbschichten mit vernebelten Gelatinelösungen konsolidiert. Ziel einer vergleichenden Studie war es, die Wirkung von vier verschiedenen Festigungsmitteln auf matten Farbaufstrichen zu untersuchen. Farbmessungen, visuelle Vergleiche und einfache mechanische Tests dienten dazu, Veränderungen festzustellen. Die künstliche Alterung der Proben sollte helfen, das Langzeitverhalten der aufgetragenen Festigungsmittel besser einzuschätzen.

Gouache paintings on paper and parchment were consolidated using misted solutions of gelatin. The aim of this feasibility study was to further investigate the effect of four different consolidants on matt paint layers. Evaluation was carried out by measuring color, comparing the visual appearance and simple mechanical tests. Artificial aging of the samples was used to gain a better understanding of long term treatment effects.

Das Festigen von matten Farbschichten auf Papier oder Pergament stellt für Restauratoren immer wieder eine Herausforderung dar. Die losen oder abpudernden Schichten sollen wieder auf ihrem Träger haften, aber das Erscheinungsbild der Farbe darf nicht verändert werden. Das Arbeiten mit durch ein Ultraschallgerät vernebelten Lösungen stellt eine Alternative zur herkömmlichen Festigung mit dem Pinsel dar (Maheux 1995: 19; Dignard 1997: 127, Michalski 1997: 109). Niedrigviskose Festigungsmittel werden in mehrfacher Anwendung aufgebracht. Durch die geringe Teilchengröße kann das Festigungsmittel besser in die Farbschicht eindringen und lose Pigmentkörner oder Farbschollen fixieren. Viele Restauratoren konnten positive Erfahrungen mit diversen Ultraschall- und Druckluftverneblern machen (Maheux 1995: 19; Dignard 1997: 127; Dierks-Staiger 1997: 276, Cahaner 1999: 11, Grantham 1999), andere stehen „modischen und teuren“ Geräten skeptisch gegenüber. Zum Beispiel wurde bei einem Seminar mit russischen Kollegen der flächige Auftrag von Festigungsmitteln, im Gegensatz zum lokalen Aufbringen mit einem dünnen Pinsel, beanstandet (Russian-Austrian Workshop, Moskau, 2000). Die Wahl eines geeigneten Festigungsmittels ist ein weiterer Anlaß für hitzige Debatten, wie eine Diskussion bei dem Kolloquium „Restaurierung der Habsburger-Miniaturen“ gezeigt hat (Kolloquium, Wien, 1999).

Obwohl es schon einige Untersuchungen zu diesem Thema gibt, sind noch immer viele Fragen offen: Kommt es bei mehrmaligem Auftrag vernebelter Lösungen zu einer Änderung des Erscheinungsbildes matter Farben? Eignet sich Methylcellulose für die Festigung von matten Gouachefarben am besten? Wie verhalten sich Gelatine- und Methylcelluloselösungen im Vergleich zueinander? In welchem Ausmaß verändern sich die gefestigten Farbschichten bei der Alterung?

Der vorliegende Artikel möchte bisherige Arbeiten zusammenfassen, von praktischen Erfahrungen berichten und die Ergebnisse einer vergleichenden Studie präsentieren. Auf Mustern von fünf verschiedenen Pigmenten wurden vier verschiedene Festigungsmittel – Methylcellulose, Hydroxypropylcellulose (Klucel), Gelatine und Hausenblasenleim – mit einem Aerosolgenerator aufgebracht. Die Wirkung der Behandlung wurde durch Farbmessung, visuellen Vergleich der Proben und einfache mechanische Tests vor und nach künstlicher Alterung beurteilt.

Bisherige Untersuchungen und Beobachtungen

Maheux & McWilliams 1995

Die Methode, Festigungsmittel durch Ultraschall zu vernebeln, wurde 1990 am Canadian Conservation Institute (CCI) zur Festigung von pudrigen Malschichten auf ethnographischen Objekten entwickelt. In der Papierrestaurierung des CCI wird ein modifiziertes Gerät meist in Kombination mit dem Saugtisch eingesetzt. In einer Versuchsreihe wurden von Maheux und McWilliams Festigungsmittel zur Konsolidierung von Gouachefarben getestet (Maheux 1995: 19). 1%ige vernebelte Gelatinelösungen (Fisher Scientific, 100 Bloom Gelatin) führten bei Testaufstrichen zu einer ausreichenden Festigung. 0,25%ige Methylcelluloselösung (Methocel A4C) ließ sich gut vernebeln, bewirkte aber eine schwächere Bindung. 0,5%ige Lösungen von Klucel G in Ethanol führten nach dem Verdampfen des Alkohols dazu, daß sich Farbschollen wieder hoben und die Farbe auszutrocknen schien. Die Gouache „Black Sun“ von Michael Snow wurde nach vorheriger Befeuchtung auf dem Saugtisch mit einer 1%igen Gelatinelösung durch Ultraschallvernebelung konsolidiert (Maheux 1995: 19). In weiteren am CCI durchgeführten Restaurierungen (Dignard 1997: 127) wurden 0,25%ige Methylcelluloselösungen (Methocel A4C) zur Festigung von Farbschichten eingesetzt.

Michalski und Dignard 1997

Von Michalski und Dignard wurden die Veränderungen untersucht, die verschiedene vernebelte Festigungsmittel bei Aufstrichen moderner Pigmente verursachen können. Getestet wurden Chromgelb, Ultramarin, Elfenbeinschwarz, Umbra, roter Ocker, grüne Erde und Kreide. Die Pigmente wurden ohne Zusatz eines Bindemittels nur mit Wasser angerührt und auf Glasplatten aufgestrichen. Folgende Lösungs- und Festigungsmittel wurden mit dem Ultraschallvernebler aufgebracht: Wasser, Ethanol, 0,5 % Gelatine (Speisegelatine), 0,5 % Primal AC-33, 0,5 % Methylcellulose (400 cp), 0,5 und 0,125 % Paraloid B-72 in Ethanol. Farbveränderungen wurden mit einem Chromameter (CR-200, Minolta) gemessen und in Helligkeits- (L) und Farbänderung (ΔE) angegeben. Der Erfolg der Malschichtfestigung wurde auf zwei Arten getestet: In Kontakt mit einem weißen Löschkarton wurden die

Proben durch ein Stahlmahlwerk gedreht. Der Abrieb wurde mit einem steifen Pinsel getestet, der bei konstanter Geschwindigkeit und bei konstantem Druck über die Farbfäche fährt. Farbveränderungen hingen stark vom Pigment ab. Bei den mechanischen Tests bewirkten viermalige Anwendungen von 0,5 % Gelatine und 0,5 % Methylcellulose bei allen Pigmenten die beste Konsolidierung. Michalski und Dignard schließen aus ihren Untersuchungen, daß bei schwachgebundenen Farben mit dem Ultraschallvernebler geringe Konzentrationen von Festigungsmitteln eingebracht werden können, die zu keinen wahrnehmbaren Farbveränderungen führen, aber dennoch eine Festigung der Farbschicht bewirken. Nach den Ergebnissen ihrer Studie empfehlen sie wässrige Gelatinelösungen. Je weniger oft die Gelatinelösung aufgetragen werden muß, desto besser. Nur bei Elfenbeinschwarz führte Gelatine zu einer verstärkten Aufhellung, während Methylcellulose keine Farbveränderungen bewirkte (Michalski 1997: 109).

Dierks-Staiger 1997

Im Rahmen der Diplomarbeit von Dierks-Staiger wurde in Zusammenarbeit mit der Firma Becker Preservotec ein medizinischer Ultraschallvernebler für die restauratorische Arbeit modifiziert. Wandentwürfe in Gouachetechnik auf Papier von Guisepe Abbate wurden mit dem neuen Aerosolgenerator gefestigt. Die Gouachen wurden vor der Behandlung vier Stunden lang befeuchtet (95 % relative Luftfeuchtigkeit) und die Behandlung selbst bei 70 % relativer Luftfeuchtigkeit durchgeführt, um die Bildung von Rändern und ein zu rasches Austrocknen zu vermeiden. Als Festigungsmittel wurde eine 0,25%ige Methylcelluloselösung (Culminal MC 400) mit einem Zusatz von 10 % Isopropanol verwendet. Die vernebelte Lösung wurde fünf- bis zehnmal aufgetragen. Es kam zu keinen optischen Veränderungen der Farbschicht. Dierks-Staiger beschreibt die erzielte mechanische Festigung als sehr gut (Dierks-Staiger 1997: 276).

Cahaner und Manus 1999

Cahaner und Manus setzten vernebelte Festigungsmittel zur Konsolidierung einer indischen Miniatur aus dem 18. Jahrhundert ein, die in deckender Wasserfarbe auf Papier ausgeführt ist. Das Objekt wurde fünf Stunden lang befeuchtet und innerhalb einer Feuchtigkeitskammer bei 75 % relativer Luftfeuchtigkeit konsolidiert. Eine 1%ige Lösung von Hausblasenleim wurde mit einem Ultraschallvernebler einmal ganzflächig aufgetragen. Gefährdete Stellen wurden zusätzlich dreimal gefestigt. Es werden keine optischen Veränderungen beschrieben (Cahaner, Manus 1999: 11).

Grantham 1999

Grantham beschäftigte sich mit der Konsolidierung von Deckfarben auf japanischen Paravents. Drei wasserlösliche Festigungsmittel – Ethylhydroxyethylcellulose (EHEC), *Funori* (Seetang-Gel) und *Nikawa* (japanischer Hautleim) – wurden in ihrer Wirkungsweise miteinander verglichen. Für eine Versuchsreihe fertigte Grantham Faksimiles von traditionell

zubereiteten Farbaufstrichen auf *Kozo*-Papier an. Die Farbproben wurden bei 80 °C und 65 % relativer Luftfeuchtigkeit 15 Tage lang gealtert. Die Papiere wurden anschließend mit der Hand mehrmals eingerollt, so daß ein den Originalen ähnliches Schadensbild entstand. Vor der Konsolidierung wurden die Proben eine Stunde lang in einer Feuchtigkeitskammer befeuchtet (65 % rF). Die Festigungslösungen wurden mit einem modifizierten medizinischen Verneblungsgerät, einem „Sidestream“-Vernebler, aufgebracht. Die Proben wurden in der Feuchtigkeitskammer gefestigt. Die Lösungen trug Grantham zwei- bis sechsmal auf. Über die verwendeten Konzentrationen liegen keine genaueren Angaben vor. Ein Teil der Proben wurde nach der Festigung nochmals künstlich gealtert. Die Proben wurden durch visuelle Beobachtung miteinander verglichen. Für eine quantitative Analyse wurden Messungen mit einem Chromameter (CR-300, Minolta) unter Verwendung des L*a*b*-Systems durchgeführt. Zur Auswertung ermittelte Grantham den Wert der kombinierten Farbveränderung ΔE . Die Verbesserung der mechanischen Stärke der Farbaufstriche wurde mit Hilfe eines Post-it-Blocks verglichen. Der Klebestreifen des Post-it-Papiers wurde einmal auf Transparentpapier gedrückt und dann auf eine Farbprobe gelegt. Mit einer Messingrolle wurde über den aufgelegten Klebestreifen gefahren und dieser dann abgezogen. Als Ergebnis der kolorimetrischen Analysen verursacht *Nikawa* (Hautleim) die größten Farbveränderungen, während EHEC und eine Kombination von EHEC und *Funori* keine nennenswerten Verschiebungen der Farbwerte zeigten. ΔE -Werte über 1,0 wurden als unannehmbare Veränderungen gewertet. Sechs Anwendungen von EHEC sowie dreimal EHEC, gefolgt von dreimal *Funori*, bewirkten keine ΔE -Werte über 1,0. Nur bei dunklem Braun kam es bei sechs Aufträgen zu stärkeren Farbveränderungen. Sechsmaliges Auftragen von *Nikawa* verursachte bei allen Farben inakzeptable Verschiebungen. Mit der sechsmaligen Anwendung von EHEC konnte ein guter Festigungseffekt erzielt werden, ermittelt mit dem Post-it-Test vor und nach künstlicher Alterung (Grantham 1999).

Hansen 1993

Die positiven Erfahrungen bei der Konsolidierung von Farbschichten mit vernebelten Festigungsmitteln werden durch eine Untersuchung von Hansen bestätigt, bei der synthetische Festigungsmittel in einer mit den jeweiligen Lösungsmitteln gesättigten Atmosphäre aufgebracht wurden (Hansen 1993: 1). Nach Hansen können Farbveränderungen durch die Verwendung von niedrigviskosen Lösungen, die gut eindringen und sich gleichmäßig verteilen, minimiert werden. Durch das Arbeiten in einer mit dem Lösungsmittel gesättigten Atmosphäre wird ein zu rasches Verdampfen der Festigungslösung verhindert. Das Festigungsmittel hat Zeit, in die Farben einzudringen. Glanz, Dunkeln der Farben und Randbildungen können durch diese Art der Anwendung vermieden werden. Beim Vernebeln von Festigungsmitteln arbeitet man mit sehr niedrigviskosen Lösungen. Durch den Ultraschall werden die Lösungen in 1–6 μm große Teilchen zerstäubt, welche gut in die Malschicht eindringen können. Durch das Arbeiten in

Räumen oder Kammern mit hoher Luftfeuchtigkeit kann ein zu rasches Verdunsten wässriger Lösungen verhindert werden.

Eigene praktische Erfahrungen

Auch am Institut für Restaurierung der Österreichischen Nationalbibliothek konnten positive Erfahrungen mit dem Vernebeln von Festigungslösungen gemacht werden.

Für orientierende Testversuche fertigten wir Aufstriche mit Schmincke-Gouachefarben auf verschiedene Papiere und auf Pergament an. Die Teststreifen wurden in der Mikrowelle erhitzt und anschließend eingerollt und gefaltet. Die sich ablösenden Farbschichten festigten wir mit Methylcellulose- und Gelatinelösungen. Die Lösungen wurden, ohne vorheriges Befeuchten der Probestreifen, mit einem dünnen Pinsel aufgetragen, mit dem Luftpinsel gesprüht und mit dem Aerosolgenerator der Firma Becker Preservotec vernebelt. Ziel dieser Untersuchungen war der Vergleich der verschiedenen Applikationstechniken. Die vernebelten Lösungen drangen besser in die Farbschichten ein, ohne letztere dabei zu zerstören, und führten zu geringeren optischen Veränderungen. Gelatinelösungen zeigten eine stärkere Klebkraft, ohne an der Oberfläche Glanz zu erzeugen.

Aufgrund dieser ersten positiven Ergebnisse mit dem Vernebeln von Festigungsmitteln wurde der Aerosolgenerator bei

mehreren Restaurierungen, die im folgenden näher beschrieben werden, eingesetzt. Gute eigene Erfahrungen mit photographischer Gelatine in der Photorestaurierung und beim Einsatz als Festigungsmittel führten dazu, daß hauptsächlich Gelatinelösungen (photographische Gelatine Rousselot, Type B, 258 Bloom, SKW Biosystems) vernebelt wurden. Beim Vernebeln von Methylcelluloselösungen kam es zu starker Schaumbildung in der Vernebelungskammer. Lösungen von photographischer Gelatine lassen sich bis 0,5 % gut vernebeln, Methylcelluloselösungen (Methocel A4C, Dow Chemicals) nur bis 0,25 %. Mit Gelatine konnte mit weniger Applikationen (zwei- bis dreimaliger Auftrag) eine ausreichende Festigung der Farbschichten erzielt werden. Bei den Testversuchen stellten wir optisch keinen Unterschied zwischen mit Gelatine und mit Methylcellulose gefestigten Farben fest.

Fallstudien: Gouache auf Papier

Auf zwei von der Kaiserin Maria Theresia, der Gattin Franz I., gemalten Blättern, Gouache auf Papier, war es zu Farbhebungen und zu starken Farbverlusten gekommen. Die Darstellungen mit den Titeln „Dem Mond vertraue ich die Leiden der Abwesenheit“ und „Le Feu de mes pensées ne s'éteindra qu'avec ma vie“ befinden sich im Besitz der Porträtsammlung der Österreichischen Nationalbibliothek. Die sich in Schollen abhebenden Farbschichten wurden insgesamt viermal mit einer 0,25%igen Gelatinelösung gefestigt. Die Lösung, der Ethanol zugesetzt wurde (4:1), wurde mit dem Aerosolgenerator vernebelt. Das Objekt wurde vor dem Festigen in der Feuchtigkeitskammer befeuchtet. Die Anwendung führten wir auf dem Saugtisch durch. Nach jeder Festigung wurde das Blatt beschwert getrocknet.

Eine Gouachemalerei auf Papier aus Privatbesitz (Abb. 1) wies viele lose Farbschollen und abpudernde Farbschichten auf. Eine ehemals klimatisch schlechte Lagerung hatte die Haftung der dick und in mehreren Schichten aufgetragenen Farben stark beeinträchtigt (Abb. 2). Nach vorheriger Befeuchtung des ganzen Blattes wurden die losen Farbschichten mit einer 0,5%igen vernebelten Gelatinelösung mehrmals gefestigt. Große Farbschollen mußten durch lokales Aufbringen einer höherprozentigen Gelatinelösung nochmals gefestigt werden. Unter dem Mikroskop wurden diese Stellen mit



1 Gouache aus Privatbesitz.



2 Detail der unbehandelten Gouache.



3 Detail der Gouache nach der Festigung.

einer 1%igen und 2%igen Gelatinelösung niedergelegt. Nach Vornetzen mit Ethanol wurde das Festigungsmittel mit einem Pinsel (00, 000) aufgebracht (Abb. 3).

Der Codex 8626 mit dem Titel „Bilder aus dem türkischen Volksleben“ aus den Beständen der Handschriftensammlung der Österreichischen Nationalbibliothek stammt aus dem letzten Viertel des 16. Jahrhunderts. In dem Ganzpergamentband sind die bildlichen Darstellungen in Gouachemalereien auf Papier ausgeführt. An Stellen, an denen die Farben dick aufgetragen sind, zeigen sich Sprünge in der Malschicht. Auf einigen Seiten hoben sich Farbschollen ab, es war schon zu kleineren Malschichtverlusten gekommen. Abhebende Farbschichten und Fehlstellen wurden mit einer 0,5%igen Gelatinelösung, die mit dem Aerosolgenerator vernebelt wurde, einmal gefestigt. Nach dem Festigen wurden die betreffenden Stellen beschwert getrocknet. Größere Farbschollen wurden ein zweites Mal unter dem Mikroskop mit einer 1%igen Gelatinelösung gefestigt, die mit dem Pinsel aufgetragen wurde.

Fallstudien: Gouache auf Pergament

Auf dem Blatt 8 des Codex min. 50 (Vol. XII) der Handschriftensammlung sind recto Infantin Isabella Clara Eugenia und verso Erzherzog Albrecht dargestellt. Die zwei ovalen Porträts auf Pergament sind auf einer 51 x 38,5 cm großen Pergamentseite in der Mitte beidseitig aufgeklebt und von einer

Rahmenmalerei umgeben. Die Gouachemalerei auf Pergament weist im Bereich der dekorativen Hintergrundgestaltung schwere Schäden auf. Die dick aufgetragenen Farben zeigen Abriebspuren, lose Farbschichten und in vielen Bereichen Verluste an der Malschicht, besonders bei Weiß- und Blautönen. Die Haftung zum Pergament ist schlecht, was auf eine ungenügende Vorbereitung des Bildträgers und einen geringen Bindemittelgehalt der Farben schließen lässt. Großflächige matte Stellen könnten durch eine frühere Festigung entstanden sein. Gefährdete Bereiche wurden nach vorherigem Befeuchten des Pergaments mit einer 0,5%igen Gelatinelösung gefestigt. Das Festigungsmittel wurde zweimal mit dem Aerosolgenerator aufgetragen. Einzelne Stellen wurden ein drittes Mal mit einer 1%igen Gelatinelösung, die mit dem Pinsel aufgebracht wurde, unter dem Mikroskop gefestigt.

Im Rahmen des großen Projektes der Restaurierung der Habsburger Miniaturen aus dem Besitz der Porträtsammlung der Österreichischen Nationalbibliothek (Abb. 4) nahm die Konsolidierung der Malschichten einen wichtigen Platz ein. Pudernde Gouachefarben auf Pergament wurden bei den Miniaturen mit 0,5–1%iger Gelatine aus Schweinehaut für die Mikrobiologie (Fluka Nr. 48724, 250 Bloom, Type A) mittels der Vernebelungstechnik gefestigt. Bei der letzten Restaurierung der Bildnisse um 1850 waren alle Pergamentminiaturen über verzinkte Metallplatten gespannt worden, um das Pergament faltenfrei zu halten. Einige Pergamente waren sehr stark – vergleichbar Trommelfellen – gespannt und drohten zu zerreißen. In manchen Fällen war es schon zu Einrissen gekommen. Bei fünf Pergamentminiaturen mit Gouachemalerei hatte sich die Farbschicht partiell vom Träger gelöst, so daß große Hohlräume entstanden waren (Abb. 5). In diesem Zustand war es undenkbar, die Miniaturen zur Entspannung in eine Klimakammer zu legen, denn bei der hohen Luftfeuchtigkeit wäre die hohle Gouacheschicht eingebrochen und es wäre zu großen Verlusten gekommen. In einem ersten Schritt wurde eine 1%ige Gelatinelösung mehrere Male auf die gefährdete Farbschicht in trockenem Zustand vernebelt. Nach dieser ersten Sicherung wurden die Pergamente von den Metallplatten gelöst. Erst in einem dritten Schritt konnte die Malschicht am Saugtisch an den Pergamentträger gebunden werden. Hierfür wurde eine



4 Porträt einer unbekanntenen Dame, Miniaturmalerei auf Pergament (Nr. 9, Tableau 43) aus dem Besitz der Porträtsammlung der Österreichischen Nationalbibliothek.



5 Detail der unbehandelten Miniatur.



6 Detail der Miniatur nach der Festigung.

0,5%ige Gelatinelösung mit dem Aerosolgenerator aufgebracht (Abb. 6).

Diskussion

In vielen Diskussionen mit Kollegen wurde der Einsatz verschiedener Festigungsmittel debattiert. Anlässlich des Kolloquiums „Die Konservierung und Restaurierung der Habsburger-Miniaturen“ (Kolloquium 1999) gab es eine klare Lagerbildung zwischen Anhängern von Gelatine und jenen von Celluloseethern. Als Argumente für den Einsatz von Methylcellulose sprechen die gute Alterungsbeständigkeit, das matte Auftrocknen und die gute Resistenz gegenüber Mikroorganismen. Gegen Gelatine wird ins Treffen geführt, daß Gelatine anfälliger gegenüber Mikroorganismen ist, zu stärkerem Glanz führt, mehr gilbt und zu größeren Spannungen führt. Für den Einsatz von Gelatine spricht die höhere Klebkraft und die lange Erfahrung, die man mit diesem Klebemittel hat. Als dritte Partei treten die Anhänger von Hausenblasen- oder Störleim mit den Argumenten auf, daß diese Fischleime eine bessere Klebkraft als Gelatine haben und ein klarer definiertes Produkt seien. Bei Gelatine kenne man die Ausgangsstoffe nicht. Den legendären originalen russischen Störleim umgibt eine schon geradezu mystische Aura. Als Argumentationshilfe für die Gelatine sei ein kurzer Exkurs gestattet.

Exkurs: Gelatine

Gelatine wird wie tierischer Leim aus Kollagen gewonnen. Kollagen ist unlösliches Faserprotein und der Hauptbestandteil von Knochen, Binde- und Zellgewebe. Kollagen enthält einen hohen Anteil von cyclischen Aminosäuren, Hydroxyproline und Proline. Durch Hydrolyse wird Kollagen in ein wasserlösliches Produkt umgewandelt. Tierische Haut- und Knochenabfälle werden mit heißem Wasser und verdünnten Säuren oder Basen behandelt. Type-A-Gelatine wird durch Säurebehandlung hergestellt, Type-B-Gelatine durch alkalische Behandlung. Chemische Bindungen werden durch diese Prozesse gebrochen, und es entstehen kürzere Ketten von Aminosäuren. Die Länge der Ketten kann variieren und hängt von der Behandlung ab. Für die Herstellung von Gelatine werden im Vergleich zu tierischem Leim milde Prozesse verwendet. Das gewonnene Produkt ist eindeutig definiert. Man kann unterschiedliche Reinheitsgrade, Herstellungstypen und Gelstärken beziehen. Die reinste Form von Gelatine ist photographische Gelatine, für die Gelatine vom Typ B verwendet wird.

Kollagen enthält eine Vielzahl von Aminosäuren. Die Ladung der Moleküle kann mit dem pH-Wert variieren. Der Punkt, an dem diese Ladungen ausgeglichen sind, der isoelektrische Punkt, ist bei verschiedenen Gelatinearten unterschiedlich. Bei Type-A-Gelatine liegt die isoelektrische Region zwischen pH 7–9, bei Type-B-Gelatine zwischen pH 4,7–5. Eine der wichtigsten Eigenschaften von Gelatine ist die Fähigkeit, reversible Gele zu formen. Die Gelstärke wird in Bloom angegeben und kann zwischen 50 und 300 variieren.

Ausgangsmaterial für photographische Gelatine, Type-B, sind meistens Knochen und Haut von Rindern. Die entfette-

ten und zermahlene Knochen werden über mehrere Wochen (6–20) mit Kalk und Wasser behandelt. Der Rohstoff wird gründlich gewaschen und mit heißem Wasser behandelt, um die lösliche Gelatine zu erhalten. Gelatine mit der höchsten Gelkraft und der niedrigsten Farbigkeit wird bei der ersten Extraktion erhalten. An photographische Gelatine werden sehr hohe Anforderungen gestellt, daher werden Rohmaterial und Herstellung sehr genau kontrolliert. Speisegelatine wird aus Type-A-Gelatine hergestellt. Das Rohmaterial ist meist Schweinehaut (Rose 1984: 1, Ullmann's 1989: 307).

Auch Hausenblasen- oder Störleim wird aus Kollagen gewonnen, aus einem sehr reinen Ausgangsprodukt, der Schwimmblase des Fisches, die nur aus Kollagen besteht. Fischleim hat ein niedrigeres Molekulargewicht als Gelatine und bildet bei Raumtemperatur kein Gel (Rose 1984: 45).

Gelatine wurde zwischen 1400 und 1800 zur Leimung von Papier verwendet. Nach La Lande wurde der Leim von Abfällen, die man bei Gerbern, Lederbleichern und Fleischern erhielt, hergestellt. Verwendet wurden Schnitzel von Leder, Ohren, Schnauzen, Füßen und Gedärmen von vierfüßigen Tieren, außer von Schweinen. La Lande empfiehlt für gute Papiere Abfälle von Ziegen-, Lamm- und Schaffellen (La Lande 1762: 380). Barrett untersuchte den Einfluss von Gelatine auf die Haltbarkeit von historischen Papieren (Barrett 1995: 173). Aus den Ergebnissen seiner Messungen folgert er, daß pH-Wert, Calciumgehalt und Gelatine zusammenwirken und ein System bilden können, das die Haltbarkeit von Papier erhöht. Viele Buchrestauratoren haben in langjähriger Praxis festgestellt, daß mit Gelatine geleimte Papiere eine sehr gute Haltbarkeit aufweisen. Einige von ihnen empfehlen daher das Nachleimen von gewässerten Papieren mit Gelatine.

In der Photographie wurde Gelatine erstmals von Richard Maddox 1871 zur Beschichtung von Glasplattennegativen eingesetzt. Die Gelatine erfüllt dabei mehrere Aufgaben. Sie dient als Bindemittel und als Träger der Silberhalogenidkristalle. Sie hält die fein verteilten Kristalle in Schwebelage und befestigt sie auf dem jeweiligen Träger (Papier, Film oder Glas). Die Gelatine beeinflusst die Entstehung des latenten Bildes durch die Wirkung als Halogenakzeptor. Die Gelatineschicht darf keinen nachteiligen Effekt auf die Silberkristalle haben. Während der Verarbeitung von photographischem Material können Lösungen in die Gelatine eindringen und mit den Silberhaliden reagieren. Chemikalien müssen aus der Gelatineschicht auch wieder entfernbar sein. Die Qualität der photographischen Emulsion wird maßgeblich von der Art der Gelatine beeinflusst. Da Gelatine ein Naturprodukt ist, dessen Eigenschaften variieren, wird in der photographischen Industrie mit einem standardisierten Gelatinetyp gearbeitet, mit dem jeder neue Ansatz verglichen wird (Junge 1989: 43, Stroebel et al. 1986: 262). Die hohen Anforderungen, die an photographische Gelatine gestellt werden, bringen es mit sich, daß diese Gelatine sehr gezielt kontrolliert und geprüft wird. Die Rohstoffe werden genauer ausgewählt als bei Speisegelatine. Von jeder Produktionseinheit kann ein Analysenzertifikat angefordert werden.

Eigene experimentelle Untersuchungen

Literaturstudium, Erfahrungen, die bei Festigungen gesammelt wurden, und Diskussionen mit Kollegen führten dazu, daß wir die Wirkung vernebelter Festigungsmittel auf matte Gouachefarben genauer betrachten und miteinander vergleichen wollten. Durch eine systematische Versuchsreihe sollten subjektive und rein empirische Schlußfolgerungen überprüft werden. Die Versuchsanordnung sollte stark an der Praxis orientiert werden. Pigmente wurden daher für die Farbaufstriche mit Bindemitteln angerieben. Die Auswahl der Klebstoffe beschränkte sich auf solche, die in der Papierrestaurierung gebräuchlich sind und schon bisher für Festigungen eingesetzt wurden: Methylcellulose, Hydroxypropylcellulose (Klucel G), Gelatine und Hausenblasenleim. Konzentration und Anzahl der Anwendungen entsprechen den in der Praxis gewonnenen Erfahrungen. Bei den Versuchen sollten keine extremen Situationen hervorgerufen werden. Ein Teil der Farbaufstriche wurde vorgealtert, um die Reaktion der Festigungsmittel auf gealterte Schichten simulieren zu können. Ein anderer Teil der Farbaufstriche wurde nach der Behandlung gealtert, um das Verhalten der Klebstoffe im Verlaufe einer Alterung abschätzen zu können. Reines ungeleimtes Baumwollfilterpapier, Whatman Nr. 1, wurde in 1%igen Lösungen der einzelnen Festigungsmittel getränkt, getrocknet und anschließend künstlich und natürlich gealtert. Dadurch sollten dessen mögliche Farbveränderungen untersucht werden. Die Proben wurden durch Farbmessungen, visuelle Beurteilung durch mehrere Personen und mechanische Tests ausgewertet.

Experimenteller Teil

In Anlehnung an die Versuche von Michalski wurden von folgenden fünf Pigmenten Farbaufstriche gemacht: Elfenbeinschwarz, Umbra natur, roter Ocker, grüne Erde und Ultramarin (Kremer). Durch die Wahl bereits getesteter Pigmente sollte ein besserer Vergleich mit vorhergegangenen Untersuchungen ermöglicht werden. Nach einem Rezept von Monika Rosshap-Sadek (Rosshap-Sadek 1998) wurden die

Gouachefarben selbst angerieben. Das Bindemittel bestand aus Gummi Arabikum. Zugewetzt wurden ferner Glycerin, Ochsen-galle und Nelkenöl [1]. Ein Teil Pigment (ca. 3 g) wurde mit einem Teil Ochsen-galle und zwei Teilen (1:2) bzw. einem Teil (1:1) Bindemittel vermischt und mit dem Läufer auf einer Glasplatte angerieben. Für jede Farbe fertigten wir Pigmentaufstriche auf drei Blättern Papier (Arches satiné, 185 g) an. Arches satiné ist ein stark geleimtes Baumwollpapier, das sich aufgrund der glatten Oberfläche gut für den Auftrag von Gouachefarben eignet. Auf dem ersten Blatt wurde die Farbe einmal mit dem Pinsel aufgestrichen (fünf Reihen mit je drei Farbrechtecken). Auf dem zweiten Blatt wurde die Farbe zweimal aufgestrichen, um eine bessere Deckung zu erzielen. Auf dem dritten Blatt wurde Farbe im Verhältnis Pigment zu Bindemittel 1:1 zweimal aufgestrichen, um einen dicken, bindemittelarmen Farbauftrag zu simulieren. Die Blätter der Gruppe III festigten wir nach einer zuvor erfolgten künstlichen Alterung (Tab. 1).

Die Festigungsmittel – Gelatine, Hausenblasenleim, Methylcellulose (Methocel A4C) und Hydroxypropylcellulose (Klucel G) – wurden mit dem Aerosolgenerator AG 2000 (Becker Preservotec) vernebelt (Tab. 2). Als einheitliche Konzentration wählten wir ursprünglich 0,5 %. Leider ließen sich nicht alle Konsolidierungsmittel mit dieser Konzentration vernebeln. Für die Aufträge von Methocel und Klucel G mußte eine Konzentration von 0,25 % verwendet werden. Da sich das Vernebeln einer alkoholischen Lösung von Klucel G schwierig gestaltete, verwendeten wir eine 0,25%ige wässrige Lösung. Die Konsolidierungsmittel wurden einmal, fünfmal und zehnmal möglichst gleichmäßig aufgebracht (Tab. 3). Während der Anwendung eines Festigungsmittels deckten wir die übrigen Farbfelder mit einer Folie ab. Die erste Reihe Farbaufstriche auf jedem Blatt blieb unbehandelt. Die zweite Reihe wurde mit einer 0,5%igen Photogelatinelösung (Rousselot, 258 Bloom, Type B, SKW Biosystems) behandelt. Die dritte Reihe wurde mit Methylcellulose Methocel A4C (Dow Chemicals) 0,25 % gefestigt. Die vierte Reihe wurde mit einer 0,5%igen Lösung Hausenblasenleim (Kleindorfer) behandelt.

Tab. 1 Übersicht der Farbproben.

Gruppe	Vor-alterung	Verhältnis Pigment: Bindemittel	Farb-auf-striche	Behand-lung	Nach-alterung
I	nein	1:2	1x	Festigung	nein
II	nein	1:2	2x	Festigung	ja
III	ja	1:1	3x	Festigung	nein

Tab. 3 Anwendung der Festigungsmittel.

Festigungsmittel	Konzentration	Auftrag
Photogelatine	0,5 %	1x, 5x, 10x
Hausenblasenleim	0,5 %	1x, 5x, 10x
Methocel A4C	0,25 %	1x, 5x, 10x
Klucel G in Wasser	0,25 %	1x, 5x, 10x

Tab. 2 Übersicht der Festigungsmittel, Angaben der Hersteller.

Festigungsmittel	Viskosität	Gelstärke	pH-Wert
Photographische Gelatine Rousselot, demi-dur, Type B, SKW Biosystems	6,99 cp (3 %, 40 °C)	258 g Bloom	5,80 (45 °C –6,2/3 %)
Fluka-Gelatine für die Mikrobiologie, hohe Gelstärke, Nr. 48724, Type A, Fluka		240–270 g Bloom	4,0–6,0 (67 mg/ml, 25 °C)
Methocel A4C Premium EP, Dow Chemicals	350–550 cp (2 %, 20°C)		5,5–8,0 (1 %)
Klucel G, Hercules	140–400 cp (2 % in Wasser, 25 °C)		5,0–8,0
Hausenblasenleim, Kleindorfer			

In der fünften Reihe wurde Klucel G (Hercules) 0,25 % in Wasser aufgebracht (Abb. 7).

Whatman-No.1-Papiere (13 x 18 cm) tauchten wir in 1%igen Lösungen von Klucel G in Ethanol, Methocel A4C, Photogelatine Rousselot, Gelatine für die Mikrobiologie und Hausenblasenleim und ließen sie an der Luft trocknen (vgl. Tab. 3). Wir wollten ermitteln, ob Gelatine von Typ A (Fluka) und Typ B (Rousselot) sich unterschiedlich verhalten. Am nächsten Tag wurden die Stücke in der Feuchtigkeitskammer befeuchtet und zwischen Vliesen, Löschkartons und Filzen getrocknet. Gruppe I der Whatmanpapiere wurde in Plastikhüllen im Dunkeln aufbewahrt. Gruppe II wurde auf Photokarton (300 g, Hahnemühle) montiert und vier Monate lang (16. Juni bis 15. Oktober 1999) am Glas eines westseitigen Fensters montiert. Gruppe III wurde künstlich gealtert.

Die künstliche Alterung wurde am Institut für Papier- und Zellstoffchemie der Technischen Universität Graz durchgeführt. Alle drei Gruppen der Farbproben und die Gruppe III der Whatmanpapiere wurden für 37,5 Tage bei 80 °C gealtert. Die Luftfeuchtigkeit zirkulierte in einem Rhythmus von drei Stunden zwischen 90 und 30 % (Abb. 8).

Auswertung

Farbmessungen

Die Farben der Gouacheaufstriche und der getränkten Whatmanpapiere wurden am Institut für Farbenchemie mit einem Gretag SPM 50 Spektralphotometer (Gretac Ltd., CH-8105 Regensdorf, Schweiz) gemessen. Gruppe I wurde nach erfolgter Festigung gemessen, Gruppe II nach der Festigung und ein zweites Mal nach künstlicher Alterung, Gruppe III nach Voralterung und anschließender Festigung. Die getränkten Whatmanpapiere und eine unbehandelte Kontrolle wurden vor und nach der natürlichen bzw. künstlichen Alterung gemessen. Von jeder Probe wurden 10 Messungen durchgeführt und jeweils Mittelwert und Standardabweichung berechnet. Als Ausgabemodus wurde das CIE L*a*b* System gewählt [2]: L = Helligkeit; C = Sättigung; h = Bunttonwinkel.

Der Bunttonwinkel beschreibt den Farbton einer Farbe und wird in Winkelgraden eines Kreises angegeben: bei 0° rot, bei 90° gelb, bei 180° grün, bei 270° blau. Der Mittelpunkt des Kreises gibt den Unbuntton an. Die Sättigung wird als Entfernung vom Mittelpunkt des Kreises angegeben, wobei der Mittelpunkt gleich 0 (geringste Brillanz einer Farbe) und der Rand des Kreises gleich 100 (höchste mögliche Brillanz einer Farbe) sind. Die Helligkeit wird durch die dritte Koordinate beschrieben, die normal zur Ebene des Kreises steht. 0 gibt die geringste Helligkeit (schwarz), 100 die höchste (weiß) an.

Bei den ungealterten Whatmanpapieren verursachten die Festigungsmittel im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle keine nennenswerten Farbunterschiede. Nach der natürlichen Alterung im Fenster ergaben die Meßergebnisse bei Helligkeit (L) und Bunttonwinkel (h) keine bedeutenden Abweichungen. Bei der Sättigung (C) wies die mit Hausenblasenleim getränkte Probe einen geringeren Wert als die Kontrolle auf. Nach der künstlichen Alterung blieben die Helligkeits- und Bunttonwerte ähnlich dem unbehandelten Papier. Bei der Sättigung sind die Unterschiede groß und mit bloßem Auge deutlich wahrnehmbar. Photogelatine, Fluka-Gelatine und Hausenblasenleim führen nach der Alterung zu einer wesentlich höheren Sättigung, wobei Fluka-Gelatine den höchsten Wert erzielt. Die hohe Sättigung erscheint bei der visuellen Betrachtung wie eine Vergilbung. Es kommt aber zu keiner Verschiebung des Bunttones Richtung gelb, sondern „nur“ zu einer Veränderung der Farbtönsättigung. Die geringere Farbveränderung, die von der Photogelatine (Type B) hervorgerufen wird, werten wir im Vergleich zur Fluka-Gelatine (Type A) als positiv.

Die Festigungsmittel führten zu Änderungen bei Helligkeit (L) und Sättigung (C), aber bis auf eine Ausnahme (Gelatine auf Elfenbeinschwarz, Gruppe II) zu keinen signifikanten Farbtonveränderungen (Verschiebungen des Bunttonwinkels). Die Wirkung der vernebelten Lösungen ist abhängig vom Pigment, vom Bindemittelgehalt und von der Dicke des Farbauftrages. Zur übersichtlicheren Interpretation



der Daten wurde die Änderung des Gesamtfarbwertes ΔE herangezogen. Die ΔE -Werte der gefestigten Farbaufstriche wurden mit den ΔE -Werten der unbehandelten Proben verglichen. Es wurde der Mittelwert der drei Kontrollaufstriche ermittelt und von dem Wert der jeweiligen Probe subtrahiert. Eine Auflistung der Unterschiede im Vergleich zu den unbehandelten Proben findet sich nach Farben geordnet in den Tabellen 4–8. Bei der Evaluierung der Daten orientierten wir uns an den Grenzwerten, die Michalski angibt (Michalski 1997: 109), und an jenen, die für die Bewertung von Farbunterschieden bei Druckfarben in der Industrie verwendet werden (Franke 1993: 278). Differenzen zwischen 0,5 und 1,5 wurden als gering eingestuft. Unterschiede zwischen 1,5 und 3,0 wurden als deutlich bewertet und solche über 3,0 als sehr deutlich (Michalski nimmt als Grenzen 1,6 und 3,2).

Bei den Elfenbeinschwarzaufstrichen führt die Festigung mit Methylcellulose zu deutlichen Veränderungen: in der Gruppe I nach zehnmalem und in der Gruppe II schon nach fünfmaligem Auftrag. Nach der Alterung der Proben von Gruppe II weist die zehnmal mit Methocel gefestigte Probe den größten Farbunterschied zur Kontrolle von allen Farbproben auf. Mit einer Differenz von 4,43 liegt der Wert deutlich über der 3,0-Marke. Die Differenz wird durch eine

Erhöhung der Helligkeit hervorgerufen, die mit bloßem Auge sichtbar ist. Die mit Methocel gefestigten Proben (Gruppe II gealtert, fünf- und zehnmale Anwendung) wirken grauer als die Kontrolle (Tab. 4).

Bei den Aufstrichen in Umbra führt der fünf- und zehnmale Auftrag von Gelatine in der Gruppe III zu einer deutlichen Veränderung. Hausenblasenleim (zehnmal) bewirkt in Gruppe II nach der Alterung und in Gruppe III eine signifikante Differenz. Klucel führt in der Gruppe I bei einmaligem Auftrag zu einem deutlichen Unterschied, wobei in diesem Fall das Meßergebnis durch einen ungleichmäßigen Farbauftrag beeinflußt ist (Tab. 5).

Auf den Testblättern der Farbe Ocker zeigen sich nur in der Gruppe II durch Gelatine (fünf- und zehnmale Anwendung) hervorgerufene Änderungen. Nach der Alterung liegen die Differenzen unter 1,5 (Tab. 6).

Mit dem Pigment grüne Erde ist der Farbauftrag in der Gruppe I sehr unregelmäßig, die Pinselstriche sind deutlich sichtbar. Bei den Meßergebnissen kommt es daher zu großen Standardabweichungen. In der Gruppe I zeigen sich nach zehnmaler Anwendung von Gelatine, fünfmaliger von Methocel und zehnmaler von Hausenblasenleim deutliche Unterschiede im Vergleich zur Kontrolle. Die Helligkeit hat

Tab. 4 Elfenbeinschwarz: Änderung des Gesamtfarbwertes im Vergleich zur Kontrolle (ΔE Probe – ΔE Kontrolle).

Festigung	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe II gealtert	Gruppe III
Gelatine 1x	-0,64	0,54	0,13	0,01
Gelatine 5x	-0,45	0,31	-0,08	0,07
Gelatine 10x	-0,97	-0,76	-0,88	-0,09
Methocel 1x	-1,4	-0,07	-0,43	0,19
Methocel 5x	-1,49	-1,56	-2,5	0,3
Methocel 10x	-1,95	-2,28	-4,43	0,2
Hausenblase 1x	-0,62	0,34	0,67	0,08
Hausenblase 5x	-0,51	0,67	0,77	0,03
Hausenblase 10x	-0,87	0,44	0,04	-0,15
Klucel 1x	-1,21	0,4	0,29	0,42
Klucel 5x	-1,01	0,06	-0,24	0,27
Klucel 10x	-1,51	0,28	0,16	0,12

Tab. 5 Umbra: Änderung des Gesamtfarbwertes im Vergleich zur Kontrolle (ΔE Probe – ΔE Kontrolle).

Festigung	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe II gealtert	Gruppe III
Gelatine 1x	-0,4	0,12	-0,17	-0,77
Gelatine 5x	-0,05	-0,38	-0,54	-1,51
Gelatine 10x	-0,97	-0,53	-0,89	-1,64
Methocel 1x	-0,4	-0,2	-0,26	-0,44
Methocel 5x	-0,36	-0,92	-0,9	-0,55
Methocel 10x	-1,26	-1,21	-1,3	-1,08
Hausenblase 1x	-0,18	0,19	-0,53	-1,42
Hausenblase 5x	-0,46	0,51	-1,31	-1,17
Hausenblase 10x	-1,28	-0,72	-2,23	-2,06
Klucel 1x	-2,8	0,44	-0,01	-1,23
Klucel 5x	-1,3	0,3	-0,03	-0,99
Klucel 10x	-1,21	0	-0,23	-1,33

Tab. 6 Ocker: Änderung des Gesamtfarbwertes im Vergleich zur Kontrolle (ΔE Probe – ΔE Kontrolle).

Festigung	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe II gealtert	Gruppe III
Gelatine 1x	-0,68	-1,05	0,11	0,14
Gelatine 5x	-0,85	-1,71	-0,55	-0,81
Gelatine 10x	-1,37	-1,87	0,04	0,29
Methocel 1x	-1,11	-0,49	-0,26	-0,28
Methocel 5x	-1,07	-0,82	-0,23	0
Methocel 10x	-0,91	-0,97	-0,37	0
Hausenblase 1x	-0,98	-0,96	-0,68	-0,42
Hausenblase 5x	0,35	-0,85	-0,48	0,08
Hausenblase 10x	0,46	-0,69	-0,44	0,05
Klucel 1x	1,17	-0,48	-0,3	0,18
Klucel 5x	0,61	-0,91	-0,34	-0,16
Klucel 10x	0,29	0,17	-0,32	-0,04

Tab. 7 Grüne Erde: Änderung des Gesamtfarbwertes im Vergleich zur Kontrolle (ΔE Probe – ΔE Kontrolle).

Festigung	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe II gealtert	Gruppe III
Gelatine 1x	1	1,33	0,11	1,9
Gelatine 5x	-1,47	1,1	0,07	1,2
Gelatine 10x	-2,45	0,91	0,37	0,69
Methocel 1x	-0,82	-0,05	0,72	0,25
Methocel 5x	-3,58	-0,04	0,36	1,73
Methocel 10x	-0,57	0,97	-0,21	0,05
Hausenblase 1x	-0,84	1,31	-0,6	1,35
Hausenblase 5x	-1,12	-0,75	0,31	2,08
Hausenblase 10x	-1,88	-0,05	0,02	1,14
Klucel 1x	1,17	-0,2	1,06	-0,2
Klucel 5x	0,76	0,65	-0,41	0,72
Klucel 10x	-0,12	0,43	0,17	0,95

abgenommen. Die Gelatine- und Methocelproben wirken auch mit bloßem Auge dunkler. Die Differenz bei Methocel liegt über 3,0 (3,58). In der Gruppe III führt die einmalige Anwendung von Gelatine und die zehnmahlige von Hausenblasenleim zu signifikanten Unterschieden (Tab. 7).

Auf den Farbaufstrichen mit Ultramarin bewirkten alle Festigungsmittel nur geringe Differenzen zur Kontrolle. Die Unterschiede liegen unter 1,5 (Tab. 8).

Faßt man alle Farbveränderungen zusammen, so führt Methocel bei unserer Versuchsanordnung zweimal zu starken Unterschieden ($\Delta E > 3,0$). Gelatine bewirkt fünfmal eine Differenz zur Kontrolle ($\Delta E > 1,5$), Methocel viermal, Hausenblasenleim dreimal und Klucel G einmal.

Statistische Analyse

Von Cornelia Gabler vom Institut für Ernährungswissenschaft der Veterinär-Universität Wien wurde eine Multivarianten-Varianz-Analyse der Farbdaten durchgeführt. Da sich die Farbunterschiede in einem geringen Bereich bewegen, war die vorliegende Probenzahl für eine genaue statistische Analyse zu gering. Bei der Analyse aller Elfenbeinschwarz-Daten zeigt sich bei den ΔE -Werten ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den mit Methocel gefestigten Proben und allen übrigen. Bei Ocker ist der Unterschied zwischen Kontrolle und mit Gelatine gefestigten Aufstrichen am größten. Bei Umbra sind die ΔE Werte von Kontrolle und Methocel am ähnlichsten. Bei Ultramarin läßt sich keine allgemeine Tendenz ablesen. Bei grüner Erde gibt es keine signifikanten Unterschiede.

Visueller Vergleich

Vier Restauratoren, die am Institut für Restaurierung der Österreichischen Nationalbibliothek arbeiten und nicht an dem vorliegenden Projekt beteiligt waren, verglichen die gefestigten Farbmuster untereinander und mit den unbehandelten Proben. Zwei Restauratoren konnten keine Unterschiede zwischen den verschiedenen Aufstrichen feststellen. Ein Restaurator stellte fest, daß die mit Klucel G vernebelten Farben den geringsten Unterschied zur Kontrolle aufweisen.

Danach rangieren die mit Gelatine gefestigten Aufstriche. Methocel und Hausenblasenleim bewirken größere Differenzen. Die vierte Restauratorin stellte bei Elfenbeinschwarz und Ocker Unterschiede zwischen den Mustern fest. In der Gruppe II (nach der Alterung) von Ocker sah sie eine Veränderung bei fünf- und zehnmal mit Gelatine gefestigten Aufstrichen, in der Gruppe III bei fünfmal mit Gelatine, fünfmal mit Methocel und fünfmal mit Hausenblase vernebelten Proben. Bei Elfenbeinschwarz wurde in der Gruppe I die einmal mit Gelatine vernebelte Probe und in der Gruppe II (nach der Alterung) die fünfmal und zehnmal mit Methocel vernebelten Proben als verändert angesehen. Die Restauratoren, die Unterschiede feststellten, waren sich einig, daß diese Unterschiede nur bei sehr genauer Beobachtung bei verschiedenen Lichtverhältnissen (Streiflicht, Tages- und Kunstlicht) sichtbar sind.

Mechanische Tests

Wie aus der zitierten Literatur (Michalski 1997: 127, Grantham 1999) ersichtlich, ist es schwierig, den Erfolg der mechanischen Festigung zu quantifizieren. Beim Vergleich von Festigungsmitteln sollten jedoch nicht nur optische Werte berücksichtigt werden, sondern auch das eigentliche Ziel einer Festigung: das Fixieren von losen Farbschichten und Pigmentkörnern auf dem Träger. In Ermangelung einer größeren Versuchsanlage wurden zwei einfache Tests durchgeführt, um den Abrieb und den Abdruck der Gouacheaufstriche zu vergleichen.

Baumwollhandschuh

Mit einem weißen Baumwollhandschuh wurde mit leichtem Druck über die unbehandelten und die zehnmal gefestigten Muster gefahren. Auch in der Untersuchung von Hansen wird eine ähnliche Evaluierung empfohlen (Hansen 1993: 1). Bei Umbra bewirken Gelatine und Hausenblasenleim in der Gruppe I eine ausreichende Festigung. Nach der Vernebelung mit Methocel und Klucel G kreiben die Farben ab. Am Handschuh ist Farbabrieb sichtbar. In der Gruppe II (nach der Alterung) haften auch nach der Gelatine- und Hausenblasenfestigung Farbspuren am Handschuh, nach der Festigung mit Methocel aber noch mehr und am meisten bei den mit Klucel G vernebelten Aufstrichen. In der Gruppe III sind die mit Gelatine und Hausenblasenleim behandelten Proben gut gefestigt. Bei Methocel und Klucel G gibt es Abriebspuren am Handschuh. Die Gruppen I und II von Elfenbeinschwarz verhalten sich ähnlich wie Umbra. In der Gruppe III sind die mit Hausenblasenleim gefestigten Aufstriche am stabilsten. Gelatine und Methocel führen zu ähnlichen Ergebnissen. Bei Klucel G kreibt die Farbe am meisten ab. Bei Ocker Gruppe I kommt es nach der Festigung mit Methocel und Klucel G noch zu Farbabrieb, aber deutlich geringer als bei der unbehandelten Kontrolle. In der Gruppe II gibt es bei den mit Gelatine und Hausenblasenleim behandelten Aufstrichen Abriebspuren, aber in geringerem Ausmaß als nach der Behandlung mit Methocel und Klucel G. In der Gruppe III verhindert keine Festigung Abrieb. Die Klucelproben sind am schlechtesten

Tab. 8 Ultramarin: Änderung des Gesamtfarbwertes im Vergleich zur Kontrolle (ΔE Probe – ΔE Kontrolle).

Festigung	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe II gealtert	Gruppe III
Gelatine 1x	1,07	-0,16	0,29	-0,38
Gelatine 5x	0,9	-0,2	0,08	0,73
Gelatine 10x	0,68	0,12	-0,04	0,11
Methocel 1x	0,76	-0,18	-0,12	0,78
Methocel 5x	0,59	0,43	-0,05	0,87
Methocel 10x	0,99	0,8	-0,03	0,29
Hausenblase 1x	0,35	0,16	0,45	0,91
Hausenblase 5x	-0,02	-0,9	-0,52	0,24
Hausenblase 10x	1,46	-1,15	-1,22	0,09
Klucel 1x	0,63	0,2	0,53	0,83
Klucel 5x	-0,03	0,02	-0,33	1,03
Klucel 10x	0,26	0,26	-0,23	0,74

gefestigt. Bei Ultramarin haftet in allen drei Gruppen Farbe am Handschuh, am geringsten bei den mit Hausenblase gefestigten Aufstrichen. Auch bei grüner Erde gibt es bei allen Proben Abriebspuren, an den mit Gelatine und Hausenblasenleim behandelten in geringerem Ausmaß.

Generell führt die Verwendung von Gelatine- und Hausenblasenleimlösungen (0,5 %) zu einer besseren Festigung matten Gouacheaufstriche als Methocel und Klucel G. Die Farben kreiden entweder überhaupt nicht mehr ab oder zumindest in geringerem Ausmaß als nach der Festigung mit Methocel und Klucel (0,25 %).

Kupferdruckpresse

Analog zu den Untersuchungen von Michalski wurde auch der Farbdruck bestimmt. Zu einem Abdruck von Farbe kann es z.B. bei Gouachen kommen, die übereinander in einer Kassette gelagert sind. In der Meisterschule für Graphik der Akademie der Bildenden Künste wurde das Verhalten der Farbmuster unter hohem Druck in einer Kupferdruckpresse getestet. Alle Farbmusterblätter wurden einzeln in Kontakt mit einem trockenen Whatmanpapier durch eine Kupferdruckpresse gedreht. Die Presse war auf besonders hohen Druck eingestellt. Alle Bleistiftbeschriftungen und die Wasserzeichen des Papiers haben sich auf die Whatmanpapiere übertragen.

Der Farbdruck war bei Elfenbeinschwarz, Ocker und Umbra gering, bei grüner Erde aber am geringsten. Die meisten Farbpartikel wurden bei den Ultramarinaufstrichen übertragen (Abb. 9). Wieder verglichen vier Restauratoren die Farbdrucke auf den Whatmanpapieren und klassifizierten den Festigungserfolg der einzelnen Mittel. Ein Restaurator stellte generell fest, daß nach der Behandlung mit Gelatine und Hausenblasenleim keine oder die geringsten Abdrucke sichtbar sind. Die drei anderen Restauratoren und einer der Autoren reichten 36mal Hausenblasenleim und 33mal Gelatine an die beste Stelle. Eine ausreichende Festigung wurde 11mal bei mit Methocel vernebelten Proben festgestellt.

Schlußfolgerungen

Faßt man die Ergebnisse der Farbmessungen, deren statistische Auswertung und die visuellen Vergleiche zusammen, so bewirkten vernebelte Methylcelluloselösungen die häufigsten Farbveränderungen im Verhältnis zu den Kontrollaufstrichen. An zweiter Stelle rangiert Gelatine, gefolgt von Hausenblasenleim. Klucel G führte zu den geringsten Farbveränderungen. Die Farbunterschiede liegen innerhalb eines kleinen Bereichs. Durch die Festigungsmittel wird die Helligkeit und die Sättigung beeinflusst. Es kommt interessanterweise zu keinen Farbtonverschiebungen, d.h., der Bunttonwinkel wird kaum verändert. Die künstliche Alterung bewirkt keine maßgeblichen Differenzen: weder im Farbton noch beim mechanischen Verhalten der Farbaufstriche. Beim Bunttonwinkel konnte keine durch die Festigungsmittel hervorgerufene Vergilbung festgestellt werden. Diese Feststellung bestätigt auch die Messung der mit Festigungsmitteln getränkten Whatmanpapiere. Nach der Alterung veränderte sich die Sättigung, aber nicht der Bunttonwinkel.

Der Festigungseffekt ist bei den Klucelproben (0,25 %) am niedrigsten. Methocel (0,25 %) bewirkt eine stärkere Festigung als Klucel G. Mit Gelatine und Hausenblasenleim wird eine höhere mechanische Stabilität erzielt als mit Methylcellulose. Gelatine und Hausenblasenleim sind in ihrer Wirkung auf Abrieb und Abdruck der Farben ähnlich, wobei Hausenblasenleim zu einer etwas besseren Haftung der Pigmente führt.

Die Farbunterschiede, die durch die fünf Festigungsmittel hervorgerufen werden, sind abhängig vom Pigment, vom Bindemittelgehalt und von der Dicke des Farbauftrages. Veränderungen an matten Gouachefarben können bei der praktischen Anwendung nicht vollkommen ausgeschlossen werden. Das Aufbringen von niedrigviskosen, vernebelten Festigungslösungen hat jedoch den Vorteil, daß geringe Konzentrationen schrittweise in die Farbschichten eingebracht werden. Die Gouacheschicht kann nach jeder Anwendung beurteilt und die Behandlung fortgesetzt oder beendet werden.

Bei der vorliegenden Versuchsreihe bestätigten sich die Vorbehalte gegenüber Gelatine als Festigungsmittel nicht. Gelatine bewirkte keine stärkeren Veränderungen der Malerschicht als Methylcellulose. Wird photographische Gelatine eingesetzt, so arbeitet man mit einem sehr genau definierten Produkt, dessen schwankende Eigenschaften anhand aktueller Analysedaten kontrolliert werden können. Die Wahl eines Festigungsmittels wird sicherlich immer davon abhängen, mit welchem Mittel der jeweilige Restaurator vertraut ist und wessen Wirkung er gut einschätzen kann. Uns geben die Ergebnisse dieser vergleichenden Studie mehr Sicherheit beim Einsatz verdünnter Gelatinelösungen, mit denen wir in der Praxis gute Erfahrungen machen konnten.



9 Abdruck, den die Ultramarinproben der Gruppe I auf einem Whatmanpapier hinterließen.

Verwendete Materialien

Pigmente: Umbra natur cyprisch 40610, Elfenbein schwarz 47150, Ultramarin dunkel 45010, Grünerde italienisch 40820, Französischer Ocker RTFLES 40020 (Dr. Georg Kremer, Farbmühle, D-88317 Aichstetten/Allgäu).

Papier: Arches satinés, 185 g (Lehrmittelstelle der Akademie der Bildenden Künste Wien, Schillerplatz 3, A-1010 Wien); Whatman Nr. 1 (Comesa, Medizin und Laborbedarf, Baldassergasse 1, A-1210 Wien).

Methylcellulose: Methocel A4C, Dow Chemicals (Colorcon Ltd., Murray Rd., St. Paul's Cray, Orpington, Kent BR5 3QY, England).

Hydroxypropylcellulose: Klucel G (Art et Conservation, 33, av. Trudaine, F-75009 Paris).

Photographische Gelatine: Rousselot (SKW Biosystems, 4, place des Ailes, F-92641 Boulogne Billancourt Cedex).

Fluka-Gelatine: Fluka Biochemika Nr. 48724, Gelatin from porcine skin (Merck, Zimbaggasse 5, A-1140 Wien).

Hausenblasenleim: Nr. 40 500 (Gabi Kleindorfer, Aster Str. 8, Kapfing, D-84186 Vilsheim).

Vernebelungsgerät: Aerosolgenerator AGS 2000 (Becker-Presevotec GmbH, Max-Eyth-Str. 51, D-71364 Winnenden).

Danksagung

Die Autoren danken Prof. Rudolf Eichinger für die Durchführung der künstlichen Alterung, Frau Cornelia Gabler für die statistische Analyse, Herrn Kruckenhauser für das „Drucken“ der Farbaufstriche und den Restauratoren Uta Landwehr, Christa-Maria Schuster, Wolfgang Kreuzer und Walter Ruhm für die kritische Begutachtung der Proben.

Anmerkungen

- [1] Bindemittel: 1 Teil Gummi Arabikum (1+3 in Wasser gelöst), 3 Teile Glycerin, 10 Tropfen Ochsen-galle, 10 Tropfen Nelkenöl; Gouachefarbe: 1 Teil Pigment (3 g), 1 Teil Ochsen-galle, 2 Teile Bindemittel.
- [2] Die Farbmetrik basiert auf dem Spektrum des sichtbaren Lichts, wobei jede Farbe sich spektral zerlegen und genau definierten Wellenlängen zuordnen lässt. Um Farben genau zu bestimmen, wurde eine Vielzahl von Farbmaßsystemen oder Farbräumen entwickelt. Davon hat sich der CIELAB-Farbraum weltweit durchgesetzt. Das CIE L*a*b* System (System der Commission International de l'Eclairage) hat als Koordinaten allerdings nur L (Lightness = Helligkeit), a* (red chromaticity = Rot-Grün-Achse) und b* (yellow chromaticity = Gelb-Blau-Achse), wobei die Helligkeitsachse auf der durch die a- und b-Achsen definierten Ebene (Farbkreis) senkrecht steht. Ferner wird in diesem System der Sättigungsgrad einer Farbe bestimmt, der im Farbkreis von außen nach innen abnimmt; der Mittelpunkt des Farbkreises wird als Unbuntpunkt bezeichnet. In dem verwendeten Gerät wird eine Wolframlampe, gasgefüllt, verwendet; die Messgeometrie beträgt 45°/0° (Ringoptik).

Literatur

Barrett, Timothy; Mosier, Cynthia (1995): The Role of Gelatine in Paper Permanence. In: *Journal of the American Institute for Conservation*, Vol. 34, No. 3, S. 173–186.

Cahaner Mac, Manus Noa (1999): Consolidation of Media on Paper. In: *Journal of the Scottish Society for Conservation and Restoration*, Vol. 10, Nr. 2, S. 11–16.

Dierks-Staiger, Regine; Hassel, Barbara; Becker, Ernst; Banik, Gerhard (1997): Konsolidierung von Gouachemalerei auf Papier mit Hilfe von Aerosolen. In: *Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung*, Nr. 11, Heft 2, S. 276–285.

Dignard, Carole; Douglas, Robyn; Guild, Sherry; Maheux, Anne, McWilliams, Wanda (1997): Ultrasonic Misting, Part 2, Treatment Applications. In: *Journal of the American Institute for Conservation*, Vol. 36, Nr. 2, S. 127–141.

Franke, Werner (Hrsg.) (1993): Prüfung von Papier, Pappe, Zellstoff und Holzstoff, Bd. 2, Mikroskopische und photometrische Verfahren. Springer-Verlag, Berlin.

Grantham, Sandra; Cummings, Alan (1999): The Consolidation of Flaking and Powdering Gouache-Type Paint Layers on a Paper Sample. In: *The Broad Spectrum, Conference at the Chicago Art Institute*, October 1999, Vortragsmanuskript, Zitat mit freundlicher Genehmigung der Autorin.

Hansen, Eric F.; Lowinger, Rosa; Sadoff, E. (1993): Consolidation of Porous Paint in a Vapour-Saturated Atmosphere. In: *Journal of the American Institute for Conservation*, Vol. 32, No 1, S. 1–14.

Junge, Karl-Wilhelm (1989): *Fotografische Chemie*, 5. Aufl., VEB Fotokinoverlag, Leipzig.

Kolloquium (1999): Die Konservierung und Restaurierung der Habsburger Miniaturen, Österreichische Nationalbibliothek, Wien, Oktober 1999.

La Lande, Joseph Jérôme Jean le Français de (1762): Die Kunst Papier zu machen. In: *Schauplatz der Künste und Handwerke*, Bd. 1, S. 380–388.

Maheux, Anne F.; McWilliams, Wanda (1995): The Use of the Ultrasonic Misting for the Consolidation of a Flaking Gouache Painting on Paper. In: *The AIC Book and Paper Group Annual*, Vol. 14, S. 19–25.

Michalski, Stefan; Dignard, Carole (1997): Ultrasonic Misting. Part I, Experiments on Appearance, Change and Improvement in Bonding. In: *Journal of the American Institute for Conservation*, Vol. 36, Nr. 2, S. 109–126.

Rose, Carolyn L.; Von End, David W. (1984): Protein Chemistry for Conservators. *American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works*, Washington, S. 1–17, 39–47.

Rosshap-Sadek, Monika (1998): Zur Problematik von Rissen, Schwarzretusche und Malschichtfestigung: Gouachemalerei auf Papier, Entwurf von Koloman Moser, Wettbewerbsprojekt zur Ausgestaltung der Heiligen-Geistkirche in Düsseldorf, um 1907. Diplomarbeit an der Akademie der Bildenden Künste Wien.

Russian-Austrian Workshop (2000): *Sharing Knowledge and Skills*. Stadtarchiv und Historisches Museum, Moskau, 28. Mai bis 3. Juni 2000.

Stroebel, Leslie; Compton, John; Current, Ira; Zakia, Richard (1986): *Photographic Materials and Processes*. Focal Press, Boston.

Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry (1989), 5. Aufl., Vol. 12, Weinheim, S. 307–317.

Autoren

Christa Hofmann, Studium an der Akademie der Bildenden Künste Wien, Meisterschule für Konservierung und Restaurierung, Fellowship am Conservation Analytical Laboratory, Smithsonian Institution, Praktika in Photorestauration in Amerika und Frankreich, seit 1992 am Institut für Restaurierung der Österreichischen Nationalbibliothek als Graphik- und Photo-restauratorin tätig.

Mag. Christa Hofmann, Institut für Restaurierung, Österreichische Nationalbibliothek, Josefsplatz 1, A-1015 Wien, Tel. +43-1-53410-347, Fax +43-1-53410-321, Christa.Hofmann@onb.ac.at

Verena Flamm, diplomierte Krankenschwester, Operationschwester für Hirnchirurgie, im zweiten Bildungsweg Studium an der Akademie der Bildenden Künste, Meisterschule für Konservierung und Restaurierung, 1994 Diplomarbeit über die Restaurierung zweier gotischer Baurisse auf Pergament. Seit 1990 als Graphikrestauratorin im Kupferstichkabinett der Akademie der Bildenden Künste und im eigenen Atelier tätig, 1996–2000 Restaurierung der Habsburger-Miniaturen der Österreichischen Nationalbibliothek. Spezialgebiete: Pergament und Elfenbeinminiaturen.

Mag. Verena Flamm, Kupferstichkabinett der Akademie der Bildenden Künste, Makartgasse 3, A-1010 Wien, Tel. +43-1-58130-4013, Fax +43-1-58130-4031, verena.flamm@i-one.at

Gertrud Kadlec, Studium Biochemie an der TU-Wien, 1998/99 Assistentin am Institut für Farbenchemie, Akademie der Bildenden Künste Wien, seit 1999 Übersetzung von Patenten.

Dr. Gertud Kadlec, Mariahilferstr. 170/8, A-1150 Wien, g.kadlec@aon.at

Manfred Schreiner, Studium Technische Chemie an der TU-Wien, Univ.-Ass. am Institut für Farbenlehre und Farbenchemie an der Akademie der Bildenden Künste Wien, seit März 2000 Ordinarius für Farbenlehre und Farbenchemie, derzeit auch Vorstand des Instituts für Wissenschaften und Technologien in der Kunst an der Akademie der Bildenden Künste in Wien; Forschungsprojekte auf dem Gebiet der zerstörungsfreien Materialanalyse von Kunstwerken (Schwerpunkt: Röntgenfluoreszenzanalyse), Korrosion von mittelalterlicher Glasmalerei, archäologischem Glas und archäologischen Objekten aus Kupferlegierungen, zeitliche Veränderungen von Materialien der graphischen Kunst.

Prof. Dr. Manfred Schreiner, Institut für Farbenchemie, Akademie der Bildenden Künste, Schillerplatz 3, A-1010 Wien, Tel. +43-1-58816-200, Fax +43-1-58816-121, mschreiner@fch.akbild.ac.at