

Kapillarreinigung

Eine schonende Methode der Feuchtreinigung in der Papierrestaurierung

Thema dieses Artikels sind die Grundlagen und der Einsatz der Kapillarreinigung in der Papierrestaurierung. Dazu wird eine Kapillareinheit aus Acrylglas vorgestellt und die Eigenschaften eines geeigneten Vliesmaterials diskutiert. Im Anschluß werden die Versuche zum Vergleich der in der Papierrestaurierung üblichen Badbehandlung mit der Behandlung unter Verwendung einer Kapillareinheit und des Kapillarlieses „Paraprint OL 60“ aus Viskosefasern beschrieben. Hierzu wurden verschiedene Pigmente und Farbstoffe als Aquarell- und Gouachefarbe auf historische und moderne Papierqualitäten appliziert. Demineralisiertes Wasser und ein Wasser-Ethanol-Gemisch wurden als Lösemittel für die Versuche verwendet. Es zeigte sich, daß die Kapillareinheit eine vielversprechende Methode für die Restaurierung wasserempfindlicher Objekte darstellt. Schließlich wird ein wasserempfindliches historisches Objekt in der Kapillareinheit gereinigt.

This paper presents the uses and discusses some fundamentals of capillary cleaning in paper conservation. In the first instance, the construction of an acrylic capillary unit is described and properties of a suitable capillary fleece are discussed. Following this, the experiments concerning the comparison of a common immersion treatment with the capillary unit using the capillary viscose fleece “Paraprint OL 60” are outlined. For this comparison, different pigments and dyes were applied as water-colour and as gouache on historical and modern paper qualities. Demineralised water and a mixture of water and ethanol were used as solvents for the treatments. As a result, the capillary unit seems to be a promising tool for the treatment of water sensitive artefacts. Finally, a sensitive historical object is cleaned utilizing the capillary unit.

Die Kapillarreinigung ist eine bisher wenig erforschte schonende Methode der Feuchtreinigung sowohl von sehr fragilen und stark beschädigten Objekten als auch von wasserempfindlichen Malereien wie Aquarellen und Gouachen. Sie stellt eine sinnvolle Alternative zu den gängigen Methoden der Feuchtreinigung dar, die – neben der Behandlung auf dem Unterdrucktisch oder auf der Wasserspiegeloberfläche und dem Einsatz von Kompressen – zumeist im Reinigungsbad erfolgt, und ermöglicht es, mit geringem Zeit- und Materialaufwand und niedrigen Kosten effizient, schonend und nicht zuletzt geräuscharm zu arbeiten. Anwendbar ist die Kapillarreinigung auf Papiere, die permeabel bzw. semipermeabel für Lösemittel sind; denkbar wären aber auch Textilien oder andere planliegende Materialien, aus denen Verunreinigungen, Wasserränder, freie Säuren, Klebmittelrückstände u.ä. entfernt bzw. reduziert werden sollen, ohne eine empfindliche Malschicht bzw. Oberflächenbehandlung zu beschädigen.

Über die bislang größten Erfahrungen auf dem Gebiet der Kapillarreinigung verfügt die von Peter Zajicek geleitete Restaurierungswerkstatt der State Library of South Australia in Adelaide, wo eine als Kapillareinheit (capillary unit) bezeichnete Apparatur konstruiert und zum Patent angemeldet wurde (Zajicek und Tinwell 1990; Chantry 1993). Allgemein wird der Prozeß dort nur zur Unterstützung der Abnahme von Proteinleimen und zur Rückstands Entfernung eingesetzt, während Objekte mit wasserempfindlichen Farben aufgrund der Ungewißheit über die Stabilität der Farbmittel prinzipiell nicht behandelt werden.

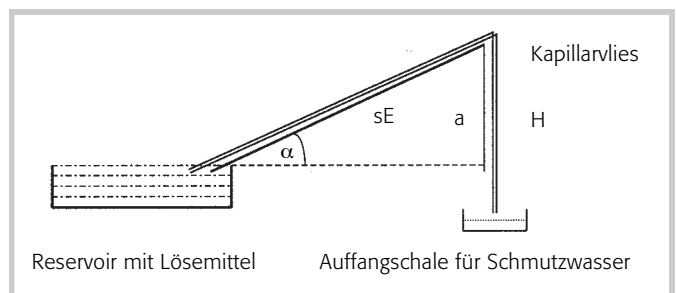
Auf den Ergebnissen Zajiceks aufbauend, sind im Rahmen einer Kölner Diplomarbeit (Tiemer 2000) folgende Schwerpunkte behandelt worden: Auswahl eines geeigneten, marktgängigen Vlieses aus Chemiefasern und Untersuchung seiner kapillaren Eigenschaften, Optimierung der Parameter der Kapillareinheit, Eignung verschiedener Lösemittel und Stabilität wasserempfindlicher Farben bei der Kapillarrei-

nung. Im Ergebnis der Versuchsreihe wurden in der Kapillareinheit wasserempfindliche historische Objekte (handkolorierte Kupferstiche, ein Tapetenfragment mit Leimfarben und eine Gouachemalerei) erfolgreich gereinigt. Der folgende Beitrag faßt wesentliche Ergebnisse dieser Arbeit zusammen.

Funktionsweise der Kapillareinheit

Die Kapillareinheit besteht aus der schiefen Ebene sE [1] aus Acrylglas mit der Anstiegshöhe a (Anstiegswinkel α), auf der das Kapillarlies (poröses Vlies mit kapillaren Eigenschaften) liegt, dessen freies Ende H über den Rand der Ebene hinaus hängt. Das untere Ende reicht ca. 2 cm in das Reservoir, das mit dem Lösemittel (Reinigungsflüssigkeit) gefüllt ist (Abb. 1).

Das Objekt kommt in direktem Kontakt auf dem Vlies zu liegen. Die Reinigungsflüssigkeit zieht infolge von Kapillarkapillareinwirkung durch das Kapillarlies unter dem Objekt vorbei, befeuchtet dieses und transportiert die zu entfernenden Substanzen aus dem Objekt heraus. Dieser komplexe und von zahlreichen Parametern bestimmte Vorgang wird im folgenden als Kapillarreinigung bezeichnet.



1 Schema der Kapillareinheit: α = Anstiegswinkel, sE = schiefe Ebene, a = Anstiegshöhe, H = herabhängendes Ende.

Physikalische Grundlagen

Taucht man ein Rohr sehr kleiner Lichterweite (Kapillare) in eine Flüssigkeit, ist ein Steigen oder Sinken der Flüssigkeit in der Kapillare gegenüber dem äußeren Niveau zu beobachten. Dieser vom Randwinkel der Flüssigkeit abhängige Effekt ist als Folge der Ober- und Grenzflächenspannung um so größer, je kleiner der Radius der Kapillare ist (Hänsel und Neumann 1993: 190f.; Truckenbrodt 1989: 26f.). Auf der Kapillarität beruht die Saugwirkung von Löschpapier, von Schwämmen und anderen porösen Medien wie z.B. den bei der Kapillarreinigung verwendeten Vliesen. In der Restaurierung wird dieser Kapillareffekt bei der Entfernung von Schmutzteilchen aus unzugänglichen porösen Bereichen (Rissen, Poren) mit Hilfe von saugfähigem Material wie Löschpapier oder einem Kompressenmaterial (z.B. Attopulgit) und einer Flüssigkeit als Transportmittel ausgenutzt.

Treibende Kraft bei der Reinigung in der Kapillareinheit ist der im gesamten Vlies herrschende Unterdruck, der einen kontinuierlichen Sog erzeugt. Die Schmutzpartikel wandern permanent durch Diffusion aus einer Zone hoher Konzentration (im Objekt) in eine Zone niedriger Konzentration (im Vlies – Ausgleich des Konzentrationsgefälles). Betrachtet man die Kapillareinheit (mit Vlies und Objekt) als ein thermodynamisches System, so ist nach Einstellung eines stationären Zustandes ein Gleichgewicht erreicht (Abb. 2).

Dieses Konzentrationsgefälle zwischen Vlies und Objekt bleibt um so wirksamer erhalten, je schneller und konstanter der Schmutz abtransportiert wird. Der Flüssigkeitstransport durch das Vlies ist eine entscheidende Voraussetzung für den Reinigungserfolg.

Auswahl von Vlies und Anstiegswinkel

Die Verwendung von Löschkarton zur Feuchtreinigung, die von McGuinne (1995) beschrieben wird [2], zeigte in der Kapillareinheit keine zufriedenstellenden Ergebnisse, da Verunreinigungen zwar in den Löschkarton diffundierten, in diesem aber nicht wirksam abtransportiert wurden, weil der Fluß des Lösemittels nur sehr schwach war. Die Fasern der Cellulosematerialien quellen beim Feuchten stark an, wobei der anfänglich starke Saugeffekt schnell nachläßt, da die kapillaren Zwischenräume geschlossen werden (Banik und Krist 1989: 119). Weitere Nachteile des Löschkartons sind, daß infolge des unvollständigen Kontaktes zum Objekt Bereiche ungereinigt bleiben und daß dieses wenig flexible Material sich der Kapillareinheit nur schlecht anpaßt.

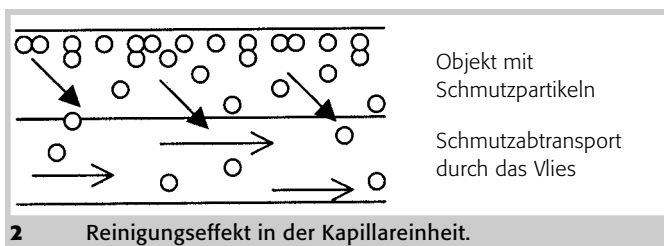
Untersucht wurde daher eine Auswahl von sechs textilen Chemiefaservliesen aus Viskose und Polyester, die gute kapillare Eigenschaften aufweisen. Dabei zeigte sich, daß die

Durchflußmenge im günstigsten Fall um den Faktor 25 höher ist als bei Löschkarton. Der Vergleich der Fließeigenschaften der Vliese erfolgte, indem die Durchflußmenge von Lösemittel in der Kapillareinheit als Zeitfunktion quantifiziert wurde (Tiemer 2000: 31–35). Weitere Anforderungen an ein geeignetes Vlies sind zudem, daß es sich der Kapillareinheit anpaßt, alkalibeständig ist, den gelösten Schmutz aus dem Objekt gleichmäßig und ohne Ausbildung von inhomogenen Fließzonen abtransportiert und für eine weitere Verwendung gut auswaschbar ist. Während des Reinigungsprozesses, der sich über mehrere Stunden hinzieht, sollte es eine hohe Naßfestigkeit, keinerlei Materialveränderungen, weder Austritt von Stoffen noch Ansammeln von Schmutz im Vliesmaterial zeigen. Im Ergebnis dieser Untersuchungen erwies sich das Viskosevlies „Paraprint OL 60“ der Firma Lohmann [3] als am besten geeignet für die Kapillarreinigung, da in ihm eine hohe Durchflußmenge mit guten mechanischen Eigenschaften, wie sie oben gefordert wurden, kombiniert ist. Gegen eine Verwendung der getesteten Polyestervliese sprechen vor allem die relative Inflexibilität der Materialien und die inhomogene Durchfeuchtung und Reinigung der Objekte infolge der Ausbildung von Fließzonen im Vlies.

Weiterhin wurde ein geeigneter Anstiegswinkel α der schiefen Ebene der Kapillareinheit ermittelt. Innerhalb des praxisrelevanten Bereichs von $\alpha = -4^\circ$ bis $+10^\circ$ zeigte sich mit Zunahme des Anstiegswinkels eine linear verlaufende Abnahme der Durchflußmenge. Eine Reinigung bei negativem Anstiegswinkel, bei dem die Durchflußmenge am größten ist, hat zu keinem befriedigenden Ergebnis geführt, da bei den auf dem Vlies zu reinigenden Blättern braune Flecken zurückgeblieben sind. Diese Erscheinung ist vermutlich auf die Verringerung des Sogeffektes bei negativem Anstiegswinkel und eine weniger gute Planlage des Blattes zurückzuführen. Es wurde daher der Anstiegswinkel mit $\alpha = +2^\circ$ möglichst flach gewählt, um bei einer hohen Durchflußmenge gute Reinigungserfolge zu erzielen. Eine Abdeckung der Einheit aus Acrylglas verhindert einen Feuchtigkeitsaustausch durch das Objekt mit der Umgebung sowie das Eindringen von Schmutz aus dem Raum auf die Objektoberfläche und sorgt für eine konstant hohe relative Luftfeuchtigkeit von etwa 90 %, bei der sich das Objekt gut plan legt. Wird unter der schiefen Ebene ein Spiegel positioniert, läßt sich die Kapillarreinigung recto sowie verso beobachten und kontrollieren. Das Vlies sollte mit der Faserausrichtung in der Lösemittelflußrichtung in der Kapillareinheit positioniert werden. Ein leicht spitzes Zuschneiden des herüberhängenden Endes H des Vlieses erhöht die Durchflußmenge und den Abfluß des Schmutzwassers (Abb. 3).

Reinigungsvorgang

Vor der Reinigung empfiehlt sich das Vorfeuchten der Objekte in einer Klimakammer, zu dem die Kapillareinheit selbst benutzt werden kann. Um das Objekt auf die im System herrschende Feuchtigkeit einzustellen, wird es auf ein Polyester-sieb (Scrynel) gelegt, welches auf seitlichen Auflagestützen über dem feuchten Vlies aufliegt. Während moderne und



nicht geschädigte Bildträger für die vollständige Durchfeuchtung in der Kapillareinheit ein Vornetzen mit Ethanol erfordern können, ist für die Praxis der Restaurierung vermutlich davon auszugehen, daß die zu reinigenden Papiere häufig bereits geschädigt und geschwächt (z.B. durch Licht) vorliegen, so daß die Leimung und die Papierfasern weniger stabil sind und zumeist eine hinreichende Benetzbarkeit vorausgesetzt werden kann.

Für den Erfolg der Kapillarreinigung ist es wesentlich, daß der angelöste Schmutz aus dem Objekt vollständig, homogen und ohne partielle Anstauungen an Rändern abtransportiert wird. Um das zu erreichen, wird bei der Reinigung von Objekten auf dem Unterdrucktisch mit Löschkarton empfohlen, die Blattränder der Objekte stets mit feuchtem, saugfähigem Papier (Kleenex-Reinigungstücher o.ä.) zu erweitern. Die Reinigung in der Kapillareinheit zeigte an Versuchsobjekten aber, daß weder an alten und verschmutzten Blatträndern noch an Rändern eines Anobienfraßes eine Schmutzansammlung erfolgt. Der Grund hierfür ist vermutlich, daß der Schmutz aus dem Objekt auf kurzem Weg direkt in das Vlies und weniger durch das Objekt hindurch abtransportiert wird. Ebenso scheint die Benetzung des Objektes mit dem Lösemittel vorwiegend über den Kontakt mit dem Vlies und weniger über den Wassereintritt am unteren Ende der schiefen Ebene zu erfolgen. Dementsprechend ist es offensichtlich nicht relevant, ob dort eine frisch gerissene oder eine alte und weniger saugfähige Blattkante zu liegen kommt.

Reinigungsflüssigkeiten

Wasser dient in der Feuchtreinigung als Löse-, Quell- und Transportmedium schlechthin und wird auch in der Kapillarreinigung präferiert. Als weitere mögliche Lösemittel wurden ein Ethanol-Wasser-Gemisch (25 % und 50 %) und ein Essigsäure-Wasser-Gemisch (3 %) untersucht. Bei Ethanol (25 %) verringerte sich der Durchfluß durch das Vlies im Vergleich mit demin. Wasser etwa um die Hälfte (–51 %) und bei Ethanol (50 %) fast vollständig (–88 %). Ethanol ist weniger polar als Wasser, da der nichtpolare Anteil im Molekül größer ist, so daß sich die Kapillarwirkung verringert. Das Vlies wird von dem Ethanol-Wasser-Gemisch insgesamt gut durchfeuchtet und bleibt in seiner Struktur stabil. Dementspre-

chend ist die Kapillarreinigung mit dem Lösemittel Ethanol (25 %) möglich, weil die im Vergleich mit Wasser geringe Durchflußmenge des Alkohols durch das bessere Lösevermögen kompensiert wird, so daß insgesamt eine gute Reinigungsleistung resultiert. Dennoch erscheint es sinnvoll, Ethanol nur zur Hydrophilisierung von schwer benetzbaren Objekten einzusetzen, die Kapillarreinigung selbst jedoch mit demin. Wasser durchzuführen.

Bei Essiglösung (3 %) trat eine geringe Reduzierung der Durchflußmenge um ca. 15 % auf, die darauf zurückzuführen ist, daß sich die saure Lösung (pH 2) an das Viskosevlies anlagerte und somit schlechter floß. Die Reinigung mit Essiglösung (3 %) ist eine anwendbare Methode bei säureunempfindlichen Objekten, die von Wasserrändern und entsprechend löslichen Klebmittelrückständen gereinigt werden sollen. Bei Objekten mit stark wasserempfindlichen Malerschichten ist die Kombination der Reinigung mit demin. Wasser und partiell aufgebrachtener Essiglösung zu bevorzugen.

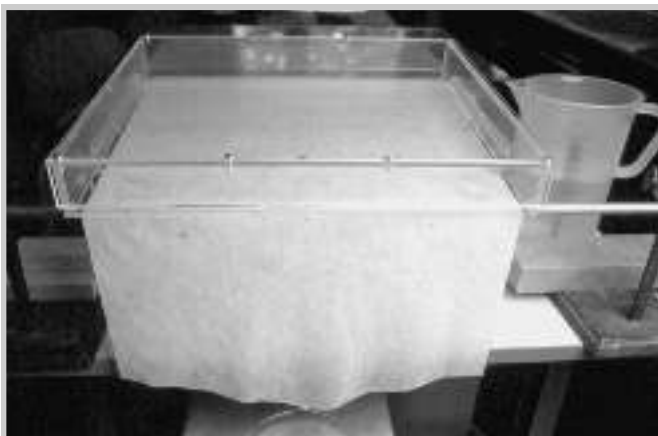
Stabilität wasserempfindlicher Farben

Das Ziel der nachfolgend beschriebenen Versuchsreihe war es, die Eignung der Kapillareinheit für Objekte mit wasserempfindlichen Farben zu untersuchen, deren Feuchtreinigung in der Papierrestaurierung ein allgemeines Problem darstellt. Dazu wurde die Farbstabilität bei der Kapillarreinigung mit der konventionellen Reinigung im Bad am Beispiel von deckend und lasierend aufgetragenen Aquarell- und Gouachefarben verglichen. Die Untersuchung erfolgte anhand von Proben der unten genannten Bildträger und Farbmittel. Hierbei wurde bewußt auf eine künstliche Alterung verzichtet, um von einer möglichst großen Wasserempfindlichkeit ausgehen zu können. Beide Reinigungsmethoden wurden mit demin. Wasser und mit Ethanol-Wasser-Gemisch (25 %) getestet.

Probenherstellung

Der Erfolg der Kapillarreinigung wird in erheblichem Maße von Faser, Struktur und Leimung der Bildträger beeinflusst, da diese Komponenten die Durchfeuchtung bestimmen. Daher wurden fünf für die Aquarell- und Gouachemalerei relativ typische Bildträger herangezogen (vgl. allgemein Cohn 1977). Als moderne, eher dicke Bildträger wurden Fotokarton (Hadern), Aquarellpapier (Baumwolle) und Echtbüttenpapier (Baumwolle mit Hadernanteil), als historische, relativ dünne Bildträger Zeichenpapier (Hadern) und Büttenpapier (Hadern mit Baumwollanteil) verwendet. Ihre mehr oder weniger starke Leimung und Verschmutzung erlaubten es somit, unterschiedliches Wasseraufnahmevermögen und Verhalten der Farbmittel zu beobachten.

Die Farben wurden in einer für die Farbpalette repräsentativen Auswahl der Farbtöne Blau, Rot, Gelb, Schwarz und Weiß auf den Bildträgern vermalt. Verwendet wurden jeweils Aquarell- und Gouachefarben, um verschiedene Grade der Wasserempfindlichkeit darzustellen. Zudem wurden zwei unterschiedliche Arten der Farbmittelanfertigung verglichen: in Anlehnung an traditionelle Herstellung selbsterstellte



3 Kapillareinheit.

Farben und moderne Farben [4]. Für die selbsterstellten Farben wurden die Pigmente Miloriblauf ($\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$), Rebschwarz (C) und Goldocker ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) sowie Bleiweiß ($2 \text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$, nur für Gouache) und der rote Farbstoff der Orseilleflechte (*Rocella tinctoria* DC.) verwendet und mit dem Bindemittel Gummi arabicum (*Acacia senegal* [L.] WILLD.) für Aquarellfarben (4 %) und für Gouachefarben (2 %) mit dem hygroskopischen Zusatz Zucker im Verhältnis 4:1 verarbeitet, um die Farben elastischer und besser wasseranlösbar zu machen (Constant-Viguiier 1841). Orseille wurde für die Aquarellfarben mit Gummiwasser angelöst und vermalt und für die eher deckend vermaltten Gouachefarben mit Wasser angelöst und auf Weißkörper – Bleiweiß und Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 1:1 – aufgezogen; die anderen Pigmente hatten genug Körper. Als moderne Aquarellfarben (Fa. Schmincke, Sorte 14) wurden Preußischblau, Krapplack dunkel (auf Alizarinbasis), Lichter Ocker natur (synthetisches Eisenoxidhydrat) und Lampenschwarz (C) sowie als Gouachefarben (Fa. Schmincke, Sorte 12) Preußischblau, Krapplack dunkel, Umbra natur (Erdfarbpigment, Eisenoxidhydrat und Eisenoxidschwarz) und Elfenbeinschwarz (trockene Destillation entfetteter Knochen) herangezogen [5].

Probenbehandlung

Nach dem Vorfeuchten aller Papiere in der Feuchteammer und dem Vornetzen von Fotokarton, Aquarell- und Echttütenpapier durch Aufsprühen von Ethanol (96 %) wurden die Proben mit der langen Seite parallel zum Lösemittelfluß auf das Vlies in der Kapillareinheit gelegt und gereinigt. Die Blätter für die Badbehandlungen wurden nach dem Vornetzen der modernen Bildträger auf Polyestersieben (Scrynel) in die mit Lösemittel gefüllten Wannen getaucht und im Randbereich fixiert, um mechanische Beeinflussungen untereinander zu vermeiden. Die Behandlungsdauer aller Proben betrug drei Stunden.

Meßmethode

Die Proben wurden an definierten Punkten vor und nach der Behandlung meßtechnisch mit Hilfe der Farbspektrometrie (VIS, Spektralphotometer SPM 100, Gretag Imaging Holding AG) untersucht und dokumentiert [6]. Die Helligkeitsveränderungen der Farben durch Farbverlust oder Farbmigrationen wurden durch den Meßwert ΔL^* ($\Delta L^* = L^*_{\text{unbehandelt}} -$

$L^*_{\text{behandelt}}$) erfaßt, wobei ein positiver ΔL^* -Wert einen Farbverlust (heller), ein negativer eine Farbvertiefung (dunkler) bezeichnet. Die qualitative Bewertung des Helligkeitsunterschiedes ΔL^* ist nicht normiert und wird im folgenden nach Loos (1989: 111) vorgenommen [7].

Versuchsergebnisse

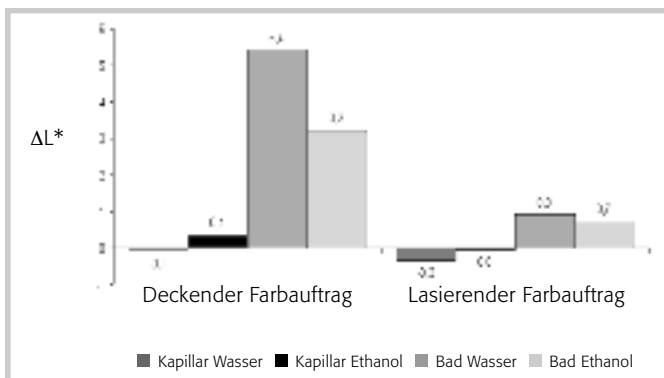
In der Kapillareinheit zeigten die Farben im Mittel aller Bildträger, Farbtöne und Herstellungsarten geringe bis keine Farbverluste. Im Wasserbad traten als sehr deutlich zu bewertende Verluste auf, darauf folgte das Bad mit Ethanol (25 %) mit deutlichen bis sehr deutlichen Verlusten, da die vermaltten Farben bei der Badbehandlung in Wasser löslicher sind als in Alkohol (Abb. 4).

Bei etwa der Hälfte (48,6 %) der Proben war die Kapillarreinigung in Hinsicht auf die Farbstabilität geringfügig bis deutlich besser als das Bad. Bei 43,8 % ließ sich kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Reinigungsmethoden ausmachen. Lediglich bei 7,6 % war das Bad als geringfügig besser als die Kapillarreinigung zu bewerten; der Fall, daß die Kapillarreinigung schlechter oder deutlich schlechter als das Bad war, trat nicht auf. Die wenigen Fälle, bei denen die im Bad behandelten Proben eine geringfügig bessere Farbstabilität aufwiesen, sind vor dem Hintergrund zu betrachten, daß die gemessene absolute Veränderung der Helligkeit bei der Kapillarreinigung $\Delta L^* = 2,4$ nicht überschreitet (Maximalwert) und bei der Interpretation der Meßfehler von $\Delta L^* = 0,5$ zu berücksichtigen ist.

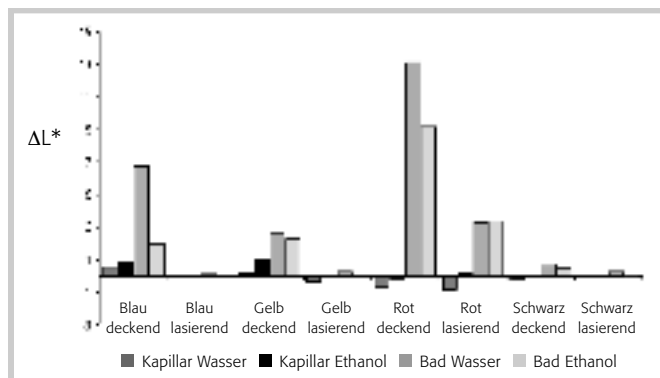
Bei der Reinigung im Bad traten deutliche bis sehr starke Farbmittelverluste auf, während bei der Kapillarreinigung die Farben allgemein stabil blieben bzw. beim empfindlichen Rot geringe Farbvertiefungen auftraten (Abb. 5).

Es läßt sich feststellen, daß allgemein die Löslichkeit deckend aufgebracht Farbmittel im Vergleich mit den lasierend aufgetragenen höher war. Weiterhin zeigte sich für das Bad, daß die verwendeten roten Farbmittel sowohl im deckenden als auch im lasierenden Bereich besonders empfindlich reagierten, gefolgt von Blau und Gelb im deckenden Bereich, während Schwarz insgesamt stabil war und sich nur gering veränderte. Weiß war ebenfalls stabil und zeigte nur im deckenden Bereich bei der Behandlung im Bad abgeplatzte Schollen.

Die Lösemittlempfindlichkeit selbsterstellter Farben war



4 Veränderungen der Helligkeit L^* der Farben infolge der Behandlungen: Mittelwerte aller Farbtöne, Farben und Bildträger.



5 Veränderungen der Helligkeit L^* der Farben infolge der Behandlungen: Aufgliederung nach Farbtönen, Mittelwerte aller Farben und Bildträger.

bei der Kapillarreinigung und im Bad jeweils niedriger als die der im Handel erhältlichen Farben von Schmincke. Bei der Kapillarreinigung zeigten die bindemittelärmeren Gouachefarben eine im Mittel etwas geringere Stabilität als die Aquarellfarben, da erstere stärker in die Faser des Bildträgers gezogen wurden. Beim Bad gingen die Aquarellfarben infolge des höheren Anteils an wasserlöslichem Bindemittel leichter in Lösung.

Beim Vergleich hinsichtlich der Bildträger wiesen die modernen in der Kapillarreinigung mit demin. Wasser – vermutlich infolge des Vernetzens mit Ethanol – jeweils geringe Farbvertiefungen und die historischen Bildträger im deckenden Bereich geringe Farbverluste auf. Die Stabilität der Farben war nur im Bad sehr wesentlich vom Bildträger abhängig. So blieben im Mittel alle Farben auf dem historischen Zeichenpapier am stabilsten, darauf folgen Büttens-, Echtbüttens- und Aquarellpapier sowie Fotokarton.

Spezielle Problemfälle

Bei der Kapillarreinigung können Farbveränderungen (Änderung der Helligkeit L^* als Ausdruck von Verlusten und Vertiefungen), seitliche Migrationen und Farbdurchschläge auftreten. Von diesen wurden im Versuch nur die Farbveränderungen spektralphotometrisch erfaßt, wohingegen Migrationen und Durchschläge während der Behandlung beobachtet oder anhand der fotografischen Dokumentation nachvollzogen wurden. Die weitaus größte Anzahl der Veränderungen bei der Kapillarreinigung erfolgte in Form von geringen bis sehr deutlichen Farbvertiefungen insbesondere bei Rot, in Einzelfällen auch in geringer bis deutlicher Weise bei Blau und Gelb. Diese Vertiefungen traten in erster Linie bei den selbstgestellten Farben auf und sind vermutlich darauf zurückzuführen, daß insbesondere das wasserlösliche Orseille als Farbstoff in das Papiervlies eingezogen ist bzw. die Bestandteile der Farbe, insbesondere das Bindemittel, innerhalb der Farbschicht verschoben wurden, so daß diese optisch dunkler

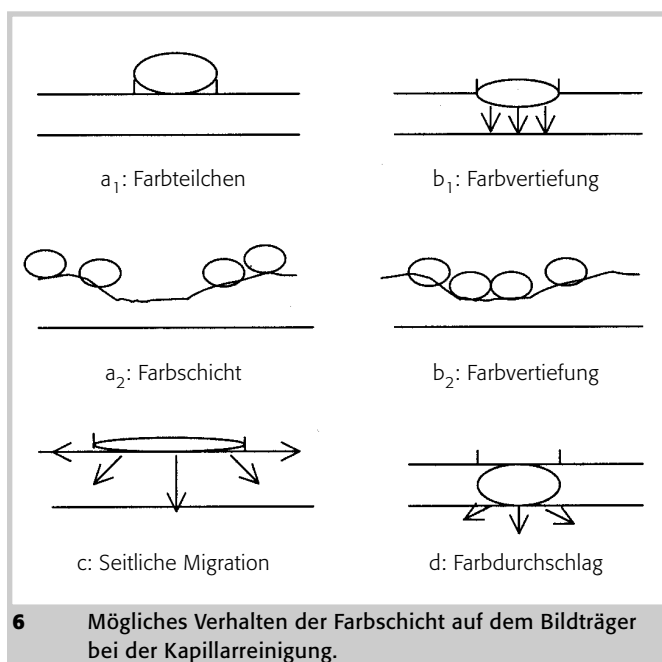
erscheint (Abb. 6a₁ und 6b₁). Eine weitere Erklärung könnte sein, daß die Vermalung der Farben mit dem Pinsel so erfolgte, daß die Farbschicht zunächst relativ uneben aufgetrocknete und sich infolge der Feuchtreinigung verschob und eine glattere Oberfläche erzielte, die somit dunkler erscheint (Abb. 6a₂ und 6b₂).

Seitliche Migrationen der Farben in das Papiervlies (leichter Schleier am Farbrand von 1 bis 2 mm; Abb. 6c) traten bei selbsterstelltem Rot (Orseille) und hier stärker bei der Kapillarreinigung mit Ethanol als bei demin. Wasser und insbesondere bei den modernen, dickeren Bildträgern Aquarellpapier und Fotokarton auf, für die ein stärkeres Vernetzen mit Ethanol erforderlich war. Nach dem Trocknen waren diese Migrationen, die vorwiegend auf die Netzwerke des Alkohols zurückzuführen sind, kaum bis gar nicht mehr sichtbar. Bei demin. Wasser hingegen ist das infolge des Kapillarflusses auftretende Konzentrationsgefälle zwischen Objekt und Vlies größer. Die seitlichen Migrationen der Farben waren geringer, so daß es zumeist zu Farbvertiefungen kam.

Farbdurchschläge durch Diffusion der Farben in das Papiervlies, die auf der Rückseite der Bildträger sichtbar waren (Abb. 6d), traten gleichfalls nur beim Rot der selbstgestellten Farben (Orseille) auf und waren insbesondere bei der Reinigung mit Ethanol (bei allen Bildträgern), in geringerem Ausmaß aber auch bei demin. Wasser (bei den dünnen historischen Bildträgern Zeichen- und Büttenspapier und bei Aquarellpapier) zu beobachten. Ihnen stehen jedoch keine vom Meßgerät erfaßten Aufhellungen (Farbverluste) auf der Oberfläche recto gegenüber, für das Orseille der selbstgestellten Gouachefarben wurde im Gegenteil eine geringe Farbvertiefung ermittelt. Der Grund dafür ist wiederum in erster Linie im Kontakt mit Ethanol bei der für die modernen Bildträger notwendigen Hydrophilisierung und der Reinigung mit Ethanol zu suchen, da Orseille in Ethanol gut löslich ist.

Schlußfolgerungen

Im Ergebnis dieser Versuche läßt sich festhalten, daß die Kapillarreinigung wasserempfindlicher Farben eine bei weitem schonendere Methode als die Reinigung im Bad darstellt und daß dabei demin. Wasser als Lösemittel geringere Nebeneffekte als Ethanol aufweist. Daher ist diese Methode auch bei empfindlichen Farbmitteln anwendbar. Es empfiehlt sich jedoch eine Minimierung des Ethanoleinsatzes bei ethanol-löslichen Farbsystemen. Der Unterschied zwischen beiden Reinigungsmethoden besteht darin, daß beim Bad allgemein sehr starke Farbmittelverluste auftreten, da die Farben das hauptsächliche Bestreben haben, in Lösung zu gehen. Bei der Kapillarreinigung hingegen können, insbesondere bei wasserempfindlichen Farben, geringe Vertiefungen auftreten, wie sie sich in ähnlicher Weise auch bei der Reinigung auf dem Unterdrucktisch zeigen. Die Ergebnisse der Versuchsreihe, die an ungealterten Proben mit sehr großer Farbempfindlichkeit gewonnen wurden, lassen den Schluß zu, daß die Kapillarreinigung an Objekten, deren Farben natürlich gealtert und daher vermutlich stabiler sind, eine geeignete Möglichkeit zur Feuchtreinigung darstellt.



Anwendungsbeispiel

Das Fragment einer Tapete in den Maßen etwa 25 x 7 cm (um 1800) trägt einen Mehrfarbendruck mit wasserempfindlichen Leimfarben auf 0,25 mm dickem Hadernpapier. Es stammt von einer Tapete im klassizistischen Stil und trägt recto zwei aus Akanthusblättern gebildete quadratische, auf der Spitze stehende Blütenmotive, die durch Zierleisten mit Perlband gerahmt sind. Der Schablonendruck erfolgte nacheinander in den Farbtönen Hellblau, Hellbraun, Braun, Dunkelbraun und mit abschließender Weißhöhung (alle Farbabstufungen enthalten Weißzusatz), wobei nach dem Ergebnis der Messungen mit dem Farbmeßgerät und dem Röntgendiffraktometer (Stadip, Stoe & Cie GmbH) für das Blau ein Gemisch aus Kreide (CaCO_3) als Aufhellung der reinen Farbe bzw. als Füllstoff und Azurit ($2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$) sowie vermutlich das stark färbende Berlinerblau, für das Braun das Erdpigment Brauner Ocker (Fe_2O_3) mit Kreide und wenig Bleiweiß und für die Weißhöhung Kreide und ein geringer Anteil an Bleiweiß verwendet wurden. Verso trägt das Fragment ein gedrucktes D in schwarzem Ton (Rußpigment), was vermutlich die Tapetenbahn angibt (vierte Bahn einer Folge).

Auf dem Tapetenfragment befanden sich verso Stärkekleisterrückstände in braunem Ton und ein starker Wasserscha-

den in Form brauner Schmutzränder, die recto durch die Leimfarben hindurch sichtbar waren (Abb. 8). Am oberen Rand des Fragmentes war die Tapete in scharfer Begrenzung stark vergilbt, was auf eine Überlappungsstelle hinwies; das vorliegende Fragment war demnach in diesem Bereich mit Kleister und Tapete überklebt gewesen (Abb. 7 und 9). Das fragile Papier war verbräunt, mit einer Oberflächenelektrode (Knick Digital-pH-Meter 646, Fa. Ingold) wurde verso der pH-Wert mit pH 4,5 im sauren Bereich ermittelt. Die teils nur noch schwach gebundenen Farbmittel, insbesondere das Braun, verhielten sich extrem hygroskopisch und wasserempfindlich.

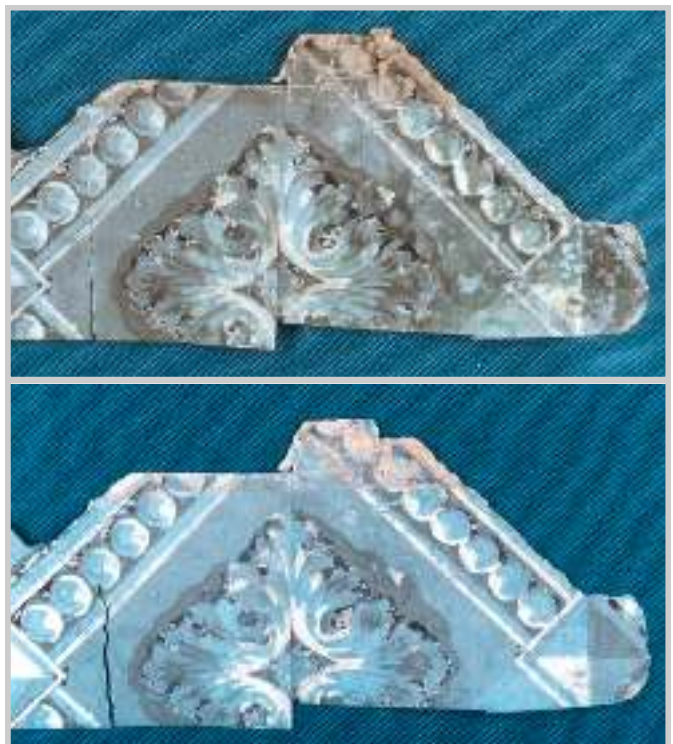
Nach der Trockenreinigung wurde das Objekt in der Klimakammer bei 90 % r.F. für 5 Stunden vorgefeuchtet, wobei es sich entspannte und gut plan legte, so daß ein Vornetzen nicht erforderlich war. Danach wurde das Fragment mittig unter langsamer Verdrängung der Luft zwischen Objekt und dem bereits feuchten Vlies auf der schiefen Ebene aufgelegt. Als Lösemittel wurde demin. Wasser (ca. 20 °C) verwendet. Die Reinigungsdauer in der Kapillareinheit betrug 4,5 Stunden. Das Fragment feuchtete schnell und homogen durch, so daß der Schmutzabtransport sofort sichtbar erfolgte. Im feuchten Zustand zeigten sich die Farben stark aufgequollen, das dunkelbraune Pigment war nur noch sehr schwach gebunden und das Papier extrem fragil. Daher wurde das Fragment nach der Reinigung zusammen mit dem Vlies zum Trocknen gelegt, um die mechanische Belastung des im feuchten Zustand nur schwer handhabbaren Papiers möglichst gering zu halten und einer Beschädigung bzw. einem Verlust des Materials vorzubeugen. Nach dem offenen Trocknen wurde das Fragment mit geringer Restfeuchte zwischen



7 Tapetenfragment, Gesamtansicht recto: Vorzustand mit Wasserrändern und Verschmutzungen (oben); Zustand nach der Kapillarreinigung (unten).



8 Tapetenfragment, Gesamtansicht verso: Vorzustand mit Klebemittelrückständen (oben); Zustand nach der Kapillarreinigung (unten).



9 Tapetenfragment, Detailansicht recto: Vorzustand mit Wasserrändern und Verschmutzungen (oben); Zustand nach der Kapillarreinigung (unten).

Polyestervlies (Parafil) und Löschkarton leicht gepreßt und geglättet. Nach der Feuchtreinigung stellte sich der pH-Wert bei pH 8,5 ein.

Das Papier wurde insgesamt gut gereinigt, der gelbliche Rand stark reduziert, und die braunen Wasserränder wurden vollständig aus dem Papier und insbesondere auch aus den Leimfarben entfernt. Die stark hygroskopischen und teils nur wenig gebundenen Farbmittel sind trotz starker Durchfeuchtung stabil geblieben und erstrahlen im – für Leimfarben typischen – hellen pastellartigen Ton (Abb. 7 und 9). Verso wurden die Klebemittelrückstände vollständig entfernt, und das Papier wurde somit sichtbar aufgehellt (Abb. 8).

An dem Tapetenfragment mit fragilem Papier und stark empfindlicher Farbschicht hat sich die Reinigung in der Kapillareinheit als sehr effektive und vor allem schonende Behandlungsmethode erwiesen. Durch die Abnahme und Trocknung des Objektes auf dem Vlies konnte die mechanische Belastung gering gehalten werden.

Schlußbemerkungen

Insgesamt hat die Kapillarreinigung in den durchgeführten Versuchen an ungealterten Proben und insbesondere bei der Anwendung der dabei gesammelten Erfahrungen auf die Reinigung eines historischen Objektes mit demin. Wasser gute bis sehr gute Erfolge gezeigt. Somit kann ihr Einsatz für die Feuchtreinigung wasserempfindlicher Objekte durchaus empfohlen werden. Die Behandlungsdauer beträgt allgemein wenigstens zwei bis drei Stunden und richtet sich im wesentlichen nach der Größe und Benetzbarkeit des Bildträgers, dem Grad der Verschmutzung und der Wahl des Lösemittels. In Zukunft wäre die Eignung der Kapillarreinigung auch an Objekten wie Pastell- und Kohlezeichnungen, Papieren mit modernen Tinten und Textilien zu erproben und die Kapillareinheit zu einem entsprechend größeren und benutzerfreundlicheren System weiterzuentwickeln.

Danksagung

Dank gilt dem Betreuer meiner Diplomarbeit Prof. Dr. Robert Fuchs, FH Köln, für die Anregung und Förderung des Themas. Dr. Doris Oltrogge, FH Köln, danke ich für ihre freundliche Unterstützung bei farbmittelspezifischen Fragen und Dr. Oliver Hahn, FH Köln, für seine Hilfe bei der Durchführung der naturwissenschaftlichen Untersuchungen. Mein besonderer Dank gilt Peter Zajicek, State Library of South Australia, der mir seine Erfahrungen zur Verfügung stellte und ein unermüdlicher Berater war. Weiterhin danke ich Ruth Schmutzler, Frankfurt/Main, und Birgit Reißland, Amsterdam, für ihre wertvollen Hinweise.

Materialien und Bezugsquellen

Viskosevlies Paraprint OL 60 (60 g/m²) der Fa. Lohmann Vliesstoffe GmbH & Co. KG, Poststr. 29, D-56269 Dierdorf.

Polyestersieb, Siebgewebe Scrynel (400 g/m²), und Polyestervlies, Parafil (30 g/m²), erhältlich bei G. Kleindorfer, Aster Str. 9, D-84186 Vilsheim.

Löschkarton (550 g/m², pH 8,5), erhältlich bei Karthäuser-Breuer GmbH, Lichtstr. 26, D-50825 Köln.

Ethanol, Ethylalkohol (99 %), und Essigsäure 100 % (Eisessig), 60,05 g/mol, der Fa. E. Merck, Frankfurter Str. 250, D-64271 Darmstadt.

Moderne Papiere: Fotokarton (220 g/m², pH 9,3) und Echttütenpapier (130 g/m², pH 9,6) der Bütenfabrik Hahnemühle, Hahnestr. 3, D-37582 Dassel. Aquarellpapier, Ref. Nr. 628024 von Selecta Hahnemühle (200 g/m², pH 9,3) der Schleicher & Schuell GmbH, Grimsehlstr. 23, D-37574 Einbeck.

Historische Papiere: Altbestand, etwa 18./19. Jh.; Buchseiten (ca. 65 g/m², pH 5,5–6,0), Zeichenpapier (ca. 100 g/m², pH 4,0–4,5) und Bütenpapier (ca. 85 g/m², pH 6,0–6,5).

Pigmente, Pflanzendrogen und Gummi-arabicum-Pulver der Fa. Kremer Pigmente, D-88317 Aichstetten/Allgäu.

Aquarell- und Gouachefarben der Fa. H. Schmincke & Co. KG, Otto-Hahn-Str. 2, D-40699 Erkrath.

Anmerkungen

- [1] Die Größe der Kapillareinheit mit einer Länge von 33 cm und einer Breite von 39 cm wurde für Objekte im Format bis A4 konzipiert und erprobt. Eine für die gewählten Parameter geeignete Länge des herüberhängenden Endes ist $H = 23$ cm.
- [2] McGuinne 1995 beschreibt eine in situ erfolgte Feuchtreinigung am Beispiel eines gebundenen frühen persischen Manuskriptes auf Pergament, dessen verschmutzte Vorsätze mit feuchtem Löschpapier gereinigt wurden, ohne sie aus dem Buchverband herauszulösen.
- [3] Dieses Vlies zeigte im Test bessere Ergebnisse als das nicht mehr hergestellte Viskosevlies Water Filter Paper (ca. 62 g/m²) der James Hardie Irrigation PTY. Ltd., Beverly South Australia 5009, das an der State Library Verwendung findet. Untersucht wurde auch das im Handel erhältliche Polyestervlies capillary matting (160 g/m²), zu beziehen bei G. Kleindorfer, das jedoch wegen seiner Inflexibilität und inhomogenen Durchfeuchtung nicht empfohlen werden kann.
- [4] In dem beschriebenen Versuch waren für die 5 Bildträger und 4 Farben (Aquarell und Gouache, jeweils selbsterstellt und im Handel erhältlich) 20 Probenträger erforderlich, für 4 Behandlungen entsprechend 80 Probenträger. Da jeweils 4 (5) Farbtöne untersucht wurden, ergaben sich 320 (und 20mal Weiß) Farbproben; bei jeweils deckendem und lasierendem Farbauftrag insgesamt 680 Farbproben. Diese wurden jeweils am Rand und mittig gemessen, so daß 1360 Meßwerte vor der Behandlung und ebenso viele danach erfaßt wurden.
- [5] Benennung, soweit die Bestandteile der Farben im Produktblatt der Fa. Schmincke angegeben werden.
- [6] Das Objekt wird mit einer Glühlampe (Lichtart A, Wolframlampe 2 W, 1/2 s) bestrahlt (Meßgeometrie 45° Beleuchtung/0° Messung, 2° Normalbeobachter). Die gemessene Reflexion wird auf D65 – Licht (Tageslicht) umgerechnet. Die Kalibrierung erfolgt mit dem Weißstandard (Bariumsulfat, DIN 5033, Farbmessung, Tl. 9, Weißstandard für Farbmessung und Photochemie, 04.1991).
- [7] E_{ab}^* bezeichnet nach DIN 6174 (Farbmetrische Bestimmung von Farbabständen bei Körperfarben nach der CIELAB-Formel, 01.1979) den Farbabstand,
$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$
 Der L^* -Wert bezeichnet auf einer Skala von 1 (hell) bis 100 (dunkel) die Helligkeit einer Farbe, a^* die Rot-Grün-Buntheit und b^* die Gelb-Blau-Buntheit. Da bei dem Versuch keine Bunttonveränderungen zu erwarten waren, wurden die a^* - und b^* -Werte vernachlässigt. Die Bewertung der Veränderung der L^* -Werte erfolgt in Analogie zu dem Schema für die Bewertung des Farbabstandes ΔE^* , das Loos (1989: 111) gibt: $\Delta L^* < 0,2$ nicht wahrnehmbar; 0,2–0,5 sehr gering; 0,5–1,5 gering; 1,5–3,0 deutlich; 3,0–6,0 sehr deutlich; 6,0–12 stark; >12 sehr stark.

Literatur

- Banik, G., und Krist, G. (Hrsg.) (1989): Lösungsmittel in der Restaurierung. 3., erw. und verb. Aufl., Wien: Der Apfel.
- Chantry, J. (1993): The Capillary Unit, a workshop aid to the conservation of water-sensitive items. In: Paper Conservation News. Vol. 68, No. 12, S. 11.
- Cohn, M. B. (1977): Wash and Gouache. A Study of the Development of the Materials of Watercolor. Cambridge MA: Center for Conservation and Technical Studies.
- Constant-Viguier, St. Fr. (1841): Handbuch der Miniatur- und Gouache-Malerei. Quedlinburg/Leipzig: Basse.
- McGuinne, N. (1995): A method for in situ capillary washing. In: Paper Conservation News. Vol. 74, No. 6, S. 13.
- Hänsel, H., und Neumann, W. (1993): Physik; Bd. 1, Mechanik und Wärmelehre. Heidelberg u.a.: Spektrum Akademischer Verlag.
- Loos, H. (1989): Farbmessung, Grundlagen der Farbmessung und ihre Anwendungsbereiche in der Druckindustrie. Itzehoe: Beruf und Schule.
- Tiemer, S. (2000): Kapillarreinigung – Untersuchungen zu ihren Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten in der Papierrestaurierung. Diplomarbeit, Fachhochschule Köln im Fachbereich Restaurierung und Konservierung von Kunst- und Kulturgut.
- Truckenbrodt, E. (1989): Fluidmechanik; Bd. 1, Grundlagen und elementare Strömungsvorgänge dichtebeständiger Fluide. 3., überarb. Aufl., Berlin u.a.: Springer.
- Zajicek, P., und Tinwell, D. (1990): A Cleaning Method and Apparatus. Australian Patent Application 644215.

Autorin

Susanne Kirchner geb. Tiemer, Ausbildung und Tätigkeit als Physikalaborantin an der Akademie der Wissenschaften in Berlin, Ausbildung als Buchbinderin in Sonder- und Einzelfertigung in Berlin, Tätigkeit in Weimar, Volontariat in der Papierrestaurierung des Restaurierungszentrums Düsseldorf, Studium an der FH Köln, Fachbereich Restaurierung und Konservierung von Schriftgut, Graphik und Buchmalerei mit Diplomabschluß im Jahre 2001, Praktika in Wien und Erfurt, seit 2001 tätig als Papierrestauratorin an den Zentralen Restaurierungswerkstätten der Museen der Stadt Erfurt.

Susanne Kirchner, Zentrale Restaurierungswerkstätten der Museen der Stadt Erfurt, D-99084 Erfurt, Hospitalplatz 15, Tel. +49-361-6462020, Fax +49-361-6421128, tiemer@surfeu.de