

Die Verwendung der Lascaux Befeuchtungskammer HC-5 und des Niederdrucktisches¹

Grafische Werke bestehen im Allgemeinen zu über 90% ihres Eigengewichts aus organischem zellulosehaltigem Material. Dieses Material verhält sich in seiner Grösse instabil, das heisst, aufgrund klimatischer Veränderungen ist es ständigen Veränderungen im Mikrogrössenbereich unterworfen. Interne Spannungen können erhebliche Auswirkungen haben, und Veränderungen der Ausdehnung im Bereich von 1/40 sind keine Seltenheit. Mit der Zeit können sich daraus Verzerrungen der Grafik ergeben, schlimmer noch, es können Knicke und grössere Deformationen entstehen. Somit ist es nur eine Frage der Zeit, bis erste Anzeichen von Alterungserscheinungen auftreten, sei es in Form einer Schwächung des Materials gegen allfällige mechanische Einwirkungen, oder in Form von Rissen, die entlang der Papierränder entstehen.

Durch das Doublieren der Grafik auf ein dem Original möglichst entsprechendes Material versucht man im Allgemeinen diesen Schäden entgegenzuwirken. Unglücklicherweise zieht dieser Eingriff die Verwendung weiterer instabiler Materialien (Hautleim oder andere wässrige Leime auf Proteinbasis) mit sich, welche schwerlich reversibel sind und ausserordentlich anfällig auf Mikroorganismen reagieren. Der nicht zu verhindernde Zerfall dieser Materialien führt oft zu einer weiteren Doublierung, und so gibt es zahlreiche grafische Werke, welche mehrere Doublierungen über sich ergehen lassen mussten.

Heutzutage sieht sich die Restauratorin und der Restaurator häufig mit strukturellen Schäden konfrontiert, mit geknicktem und geschrumpftem Papier als direkte oder indirekte Folge vorangegangener Doublierungen. Wasser ist die häufigste Ursache für Zerfallserscheinungen bei grafischen Werken; hingegen, und dies mag widersprüchlich erscheinen, ist Wasser gleichzeitig auch das zweifellos am häufigsten verwendete Mittel/Produkt in der Restaurierung. Die Befeuchtung einer Grafik ist eine heikle, jedoch unerlässliche Massnahme bei der Dedoublierung, beim Reinigen oder beim Flächen eines Werkes. Normalerweise werden dafür Bedampfungsgeräte (Heissluft- oder Kaltluftverdampfer) und GORE TEX[®] verwendet. Aufgrund ihrer sehr hygroskopischen Eigenschaft reagieren Papiere und Pergamente sehr schnell auf diese befeuchtenden Massnahmen, deren Konsequenzen die Restauratorin und der Restaurator ständig unter Kontrolle haben sollte, um nicht gewisse Deformationen oder Materialschwächen zu verschlimmern (das Vorhandensein wasserempfindlicher Medien kommt als erschwerendes Kriterium noch hinzu). Da Wasser gleichermaßen verheerende wie auch nützliche Auswirkungen haben

kann, ist die Beherrschung dieses Elementes deshalb wesentlich. Der Niederdrucktisch¹ und die Befeuchtungskammer, welche wir an dieser Stelle vorstellen, sind zwei Geräte, deren kombinierte Verwendung den erwünschten Anforderungen entspricht.

Die Befeuchtungskammer HC-5

Die Befeuchtungskammer HC-5 ist ein Gerät, welches es dem faserartigen Gewebe eines Werkes ermöglicht, sich zu entspannen. Es erlaubt auch das Quellen von vorhandenem Leim, und dies auf behutsame und sehr kontrollierte Weise, jedenfalls auf unvergleichbar weniger «traumatisierende» Art als jede andere Methode. Das zu behandelnde Werk bleibt durch die verglaste Tür der Befeuchtungskammer sichtbar. Es scheint nach der Behandlung erstaunlich wenig feucht, denn es absorbiert nur jene Feuchtigkeitsmenge, die es zu seiner Entspannung auch unbedingt benötigt. Diese nur schwach eingebrachte Feuchtigkeit erlaubt es der Restauratorin und dem Restaurator auch jene Werke behandeln zu können, die keine andere Befeuchtungsmethode ertragen würden. Hinzu kommt die Tatsache, dass die Gefahr von Verzerrungen oder Deformationen viel geringer ist bei Werken, welche in der Befeuchtungskammer behandelt werden, als bei jenen, die mit konventionellen Methoden behandelt worden sind. Die relativ lange Befeuchtungsdauer (bis zu 24 Stunden) erlaubt ein perfektes und gleichmässiges Durchdringen der Feuchtigkeit in die Papierfaser. Auf diese Weise bewahrt das Papier einen gewissen Widerstand gegen Materialermüdung und -schwächung, wodurch die Gefahr von Rissen während der Behandlung vermieden wird.

Hydrophilie oder Hydrophobie des Papiers

Aus chemischen und physikalischen Gründen ist Wasser ein äusserst aktives Lösemittel für Papier, da letzteres sehr wasseranziehend und porös ist. Die Struktur des Papiers wird aus Zelloschichten gebildet, welche ein mehr oder minder dichtes kapillares Netz bilden, je nach Herstellungsart des Papiers: Papier ist ein heterogenes Material, da die einzelnen Zellulosefasern unterschiedlich gross und dick sind und kristalline wie amorphe Bereiche aufweisen. Die stark zerfaserten² Fasern sind in höherem Masse

¹ Dieser Text ist eine Synthese aus verschiedenen, von Olivier Masson publizierten Artikeln, sowie eines Auszugs der Diplomarbeit von Valérie Luquet (Vgl. Bibliografie).

² Das Zerfasern wird mit Hilfe von Klingen in wässriger Umgebung durchgeführt und hat eine Verkleinerung der einzelnen Fasern zur Folge. Durch die Verfaserung entsteht ein feinstes Fasergeflecht; sie löst auch ein Trennen der Fäserchen dort aus, wo die internen Verbindungen am schwächsten sind.

wasseranziehend aber auch geschmeidiger, wodurch ein kompakteres Papier entsteht. Sind die Fasern mehrheitlich zerfasert, so vermögen die grösseren Fasern auszuflocken, das heisst sie verbinden sich untereinander und geben dem Papier eine unregelmässige Struktur.

Ein stark glänzendes Papier ist viel kompakter und somit weniger porös als nicht glänzendes Papier (wichtigstes Unterscheidungsmerkmal zwischen Pauspapier und Aquarellpapier). Durch die Verbindung der Leimung mit der Zellulose wird das Papier hydrophob, so dass die Farben in wässriger Technik nicht auslaufen können.

Die Verbindungen des Wassers mit dem Papier

Gibt man einen Tropfen Wasser auf die trockene Papieroberfläche, wird sich dieser den Kapillargesetzen entsprechend sowohl senkrecht wie auch seitlich zur Papieroberfläche ausdehnen und mit der Zellulose zahlreiche Wasserstoffverbindungen eingehen. Nach James Caze³ wird das Wasser so stark durch die Zellulose gebunden, dass selbst ein bei 100°C getrocknetes Papier noch zwischen 0,5 und 1,0% Wasser enthält. Das Wasser geht intermolekulare und intramolekulare Verbindungen mit der Zellulose ein. Dies sind auch jene Verbindungen welche ihm Stabilität verleihen und es der Kette aus Polymeren erlaubt, Mikrofasern, Fäserchen und schliesslich Fasern zu bilden, bevor es zum eigentlichen Fasergeflecht des Papiers wird. Je nach Qualität der Fasern enthält ein Papier zwischen 15% und 30% Wasser in einer gesättigten Umgebung.

Das Wasser wird auf verschiedene Arten im Papier gebunden und man bezeichnet es entsprechend «kolloidales Wasser», «kapillares Wasser» oder «überschüssiges Wasser», je nach Bindungsebene:

Kolloidales Wasser (entspricht ungefähr 3-4% des im Papier enthaltenen Wassers) ist durch Wasserstoffverbindungen stark mit den Molekülen der Zellulose verbunden und wird bei restauratorischen Massnahmen praktisch nie angetastet. Tatsächlich besitzt dieses Wasser auch nicht die genau gleichen physio-chemischen Eigenschaften wie das sogenannte «freie» Wasser. Es enthält eine aussergewöhnlich hohe Dichte, zeigt bei Erstarrung eine andere Temperatur auf und verhält sich nicht wie ein Lösemittel. Es reagiert praktisch nicht auf wässrige Behandlungen und besitzt nicht den gleichen Dampfdruck.

Kapillares Wasser ist jenes Wasser, welches durch Wasserstoffverbindungen in den Kapillaren zurückgehalten wird. Der Anteil des kapillaren Wassers hängt von der relativen Luftfeuchtigkeit ab und bewegt sich somit im Gleichgewicht zwischen Papier und Atmosphäre. Bei klimatischen Schwankungen variiert es ständig, da es unaufhörlich in einem Austausch zwischen Papier und Atmosphäre begriffen ist. Beim Flächen eines Werkes ist dieses kapillare Wasser für uns von Bedeutung, da es dem Papier seine Flexibilität verleiht.

³ Vgl. Bibliografie

Das überschüssige Wasser tritt dann im Papier auf, wenn der kritische Feuchtigkeitspunkt erreicht ist; es entspricht einer gesättigten Faser. Erreicht wird dieses Feuchtigkeitsniveau durch das Baden des Papiers oder indem eine grössere Wassermenge über dem Papier zerstäubt wird. Dabei wird das Papier transparent indem sich der Brechungsindex verändert. Das ins Papier eindringende Wasser wird sich an erster Stelle mit den amorphen Bereichen der Zellulose verbinden, welche stärker reagieren, fragiler sind und leichteren Zugang bieten. Die Polymerketten vergrössern in dem Moment ihren Abstand und erleichtern dadurch das Hydrieren anderer Bereiche. Erkennbar wird dieses Hydrieren durch das Anquellen der Fasern und durch die Veränderung der Papiergrösse.

Beschreibung der Lascaux Befeuchtungskammer HC-5

Grösse: 158 x 108 x 55 cm. Gehäuse aus Aluminium, einbrennlackiert.

Die Kammer ist mit einer verglasten Türe bestückt welche Zugang zum Gitter aus Nylon ermöglicht. Die Kammer ist mit einer Deckenbeleuchtung ausgestattet. Das zu behandelnde Werk wird auf das Nylongitter gelegt; dazwischenliegende Löschpapiere hindern den austretenden Dampf bei Kontakt mit dem Nylongitter zu kondensieren und dadurch auch mit dem Werk in Berührung zu kommen. Ein Ultraschallbefeuchter, mit einem flexiblen Rohr aussen an der Kammer angeschlossen, erzeugt einen gleichmässigen kalten Aerosol-Dampf. Der kalte Dampf zirkuliert um das zu behandelnde Werk und quellt langsam die Leimschichten auf, wodurch das Papier sich nach und nach entspannt. Mit einem Hygrostat wird die Feuchtigkeit in der Kammer kontrolliert.

Der in der Kammer platzierte Ventilator erhöht die kinetische Energie der Wassermoleküle, reduziert die Gefahr der Kondensation und ermöglicht eine homogene Verteilung des Dampfes im Bereich des behandelten Werkes. Um ein konstantes Klima zu gewährleisten, ist es ratsam, den Ventilator auf kleiner Rotationsstufe einzustellen. Eine erhöhte Geschwindigkeit würde zu einer Abkühlung der Luft führen und dadurch zu einer Kondensation des Wassers an der Decke der Kammer. Um dieser Gefahr vorzubeugen, ist eine Deckenheizung eingebaut. Die Heizung ist so konzipiert, dass minimale Temperaturen eingestellt werden können, um nicht die Oberfläche des Werkes zu trocknen. Eine zu hohe Temperatur würde zur Verminderung der relativen Luftfeuchtigkeit führen und die ausreichende Befeuchtung des Papiers für eine erfolgreiche Behandlung ausschliessen. Ausserdem ist es ratsam, die Deckenbeleuchtung während einer längeren Behandlung auszusalten, um nicht die Temperatur in der Kammer zu erhöhen.

Das Hydrieren bringt im Allgemeinen eine mehr oder minder grosse Ausdehnung der Materie mit sich. Nun aber haben nicht alle zusammengesetzten Materialien eines Werkes die gleichen hydrophilen Eigenschaften.

Eine zu schnelle Befeuchtung kann folglich katastrophale Konsequenzen haben. Mit Hilfe des Hygrostates ist eine sehr behutsame progressive Befeuchtung möglich, so dass bei einzelnen Komponenten des Werkes (Träger, Leime, Bindemittel, Pigmente, etc.) deren Schnelligkeit zu Hydrieren berücksichtigt werden kann. Die Befeuchtung kann somit nach der am langsamsten hydrierenden Komponente ausgerichtet werden. Der Hygrostat stellt eine unentbehrliche Sicherheit bei der restauratorischen Behandlung dar, da er den gewünschten Feuchtigkeitspegel beliebig lang aufrecht erhalten kann. Um die Kondensation des Wassers zu vermeiden, wird empfohlen, die Feuchtigkeit in der Kammer langsam und stufenweise zu erhöhen (was sich auch durch die Erhöhung der Rotationsdrehzahl des Ventilators erreichen lässt).

Test der Einstellung

Eine relative Luftfeuchtigkeit von 100% kann in etwa 12 Minuten erreicht werden. Die optimale Verteilung der Feuchtigkeit dank der Luftumwälzung konnte mit Hilfe von Tests nachgewiesen werden: mit Kobaltsalz imprägnierte Filterpapiere zeigen im trockenen Zustand eine blaue Färbung, sie verfärben sich zu Rosa sobald die relative Luftfeuchtigkeit steigt. Die Testergebnisse zeigten eine vollkommen gleichmässige Erhöhung der Feuchtigkeit von einem Kammerende zum anderen.

Befeuchtung eines Papiers

Der vom Ultraschallgerät erzeugte Aerosol-Dampf dringt in das Papier ein, wird durch die Porenwände absorbiert und bildet eine monomolekuläre Schicht, bevor er in diesen verengten Bereichen kondensiert und die Kapillaren füllt. Das im flüssigen Zustand befindliche Wasser füllt zuerst die grossen Poren. Es findet nun aber die Umkehrung des Prozesses statt (der Dampf kondensiert zuerst in den feinsten Kapillaren). Für diese Befeuchtungsmethode wird eine weit geringere Wassermenge benötigt als bei einer traditionellen Befeuchtung. Es gibt kein überschüssiges Wasser, da das Papier sich nahezu im Gleichgewicht befindet mit der relativen Luftfeuchtigkeit. Das Papier entspannt sich und wird flexibel und die Veränderung seiner Dimension/Grösse ist eine geringere als wenn es mit einer traditionellen Befeuchtungsmethode behandelt worden wäre.

Bei der traditionelleren Befeuchtung erreicht das Papier seinen kritischen Feuchtigkeitspegel und enthält überschüssiges Wasser. Die Trocknung an der Luft des mit Wasser vollgesogenen Papiers lässt sich dabei in drei Phasen unterteilen: Verdunsten des überschüssigen Wassers an der Papieroberfläche. Dieser Vorgang geht schnell vor sich und kann je nach Feuchtigkeit, Temperatur und Luftumwälzung beschleunigt werden. Glanz und relative Transparenz des Papiers sind erkennbare Charakteristika dieses Vorgangs; bei Erreichen des kritischen Feuchtigkeitspunktes verringert sich die Verdunstungsgeschwindigkeit. Das Wasser verdunstet zuerst im

Innern des Papiers und nicht mehr an seiner Oberfläche. Die Moleküle müssen demnach mehr Energie aufbringen um vom flüssigen in den gasförmigen Zustand zu wechseln, da das faserige Papiergeflecht sich wieder schliesst und der kapillare Druck sich erhöht. Die Verdunstungsgeschwindigkeit ist dabei sowohl von den äusseren Konditionen wie auch von den mehr oder weniger hydrophilen Eigenschaften des Papiers abhängig. Zu diesem Zeitpunkt hat das Papier die Tendenz, sich zu wellen, da es nicht auf homogene Weise trocknet und dadurch Spannungen entstehen, innerhalb derer die Fasern sich wieder neu anordnen müssen.

Die Verdunstung sinkt praktisch auf Null und entspricht somit der Herstellung des Gleichgewichts zwischen Papier und relativer Luftfeuchtigkeit.

Bei der Befeuchtung mittels Befeuchungskammer hingegen entsteht kein überschüssiges Wasser, die Befeuchtung ist viel homogener und weniger brüsk. Die erste Trocknungsphase, wie sie bei der traditionellen Methode beschrieben wurde, existiert somit nicht für diese Papiere. Auch hat das Papier weniger die Tendenz, sich während des Trocknungsprozesses zu deformieren, vor allem wenn die Trocknung verlangsamt wird und in einer kontrollierten Atmosphäre stattfindet.

Möchte man, dass das Papier eine grössere Menge an Wasser aufnimmt, genügt es nicht, das Niveau der relativen Luftfeuchtigkeit zu erhöhen, es muss vielmehr auch die Umgebung gesättigt sein, da dies von der Temperatur abhängig ist. Befindet sich die Befeuchungskammer in einem zu kalten Raum, wird die maximale Wasserdampfmenge, welche die Kammer aufnehmen kann nicht ausreichen, um eine gute Befeuchtung zu gewährleisten. Ausserdem besteht die Gefahr, dass eine gewisse Dampfmenge kondensiert, wenn das Ultraschallgerät zu stark eingestellt ist. Die optimale Temperatur ausserhalb der Kammer bewegt sich somit zwischen 17 und 22°C. Obwohl die Luftumwälzung in der Befeuchungskammer gleichmässig ist, kann der Fall eintreten, dass das Papier an seiner Oberseite feuchter ist als an seiner Auflagefläche, vor allem wenn das Werk auf Löschpapier aufliegt. Dieser Feuchtigkeitsunterschied kann bei der Restaurierung von Nutzen sein. Das Werk kann seinen Eigenschaften und spezifischen Problemstellungen entsprechend, mit der Bildseite nach oben oder nach unten auf das Löschpapier gelegt werden. Um sehr empfindliche Papieroberflächen (zum Beispiel eine Gouache, welche ausbluten kann) zu schützen, kann man das Werk mit der Bildseite nach unten auf dem Löschpapier fixieren, und so den direkten Kontakt der Malschicht mit der Feuchtigkeit vermeiden.

Die Dedoublierung nach der Befeuchtung

Ist der Leim der Doublierung vollständig erweicht, kann mit der Dedoublierung begonnen werden. Der doubletierte Träger lässt sich vom Original mit Hilfe eines Skalpell oder eines Teflonspachtels, welchen man

zwischen die beiden Schichten einführt, trennen. Wenn immer möglich sollte das Werk bei diesem Vorgang die Bildseite nach oben zeigen, um eine mögliche Beschädigung zu vermeiden. Die Dedoublierung sollte in einem Arbeitsgang ohne Unterbruch durchgeführt werden, damit der reaktivierte alte Leim nicht vorzeitig eintrocknet.

In vielen Fällen kann der dublierte Träger bei der Dedoublierung vollständig erhalten werden, da er sich oft als ausreichend resistent erweist, selbst dann wenn eine hohe Feuchtigkeitseinwirkung benötigt wird um alte Leime zu erweichen. Es ist jedoch darauf zu achten, dass die Dehnungskapazität des dublierten Trägers nicht grösser ist als jene des Originals, da sonst die Gefahr von Rissen besteht. Dieses Risiko besteht in erhöhtem Masse, wenn der Träger nur entlang der Ränder auf das Original dubliert worden ist. In diesem Fall muss der dublierte Träger vor der Befeuchtung mechanisch ausgedünnt werden. Obwohl sich im Allgemeinen alle wasserlöslichen Leime in der Feuchtigkeitskammer erweichen lassen, erweisen sich bestimmte Leime als ausserordentlich hartnäckig. In diesem Falle bietet es sich an, während der letzten Befeuchtungsstunden die Deckenheizung einzuschalten oder ein Heissdampfgerät (Typ Steamy) während der Dedoublierung zu benutzen.

Das Reinigen von Stockflecken

Die Reinigung von Stockflecken auf Pastellzeichnungen kann erhebliche Probleme bereiten. Man beginnt mit der Befeuchtung des Werkes während etwa 6-8 Stunden, bevor es auf dem Niederdrucktisch behandelt wird. Sind die Papierfasern durch die Befeuchtung gequollen, wird die Zeichnung mit der Bildseite nach oben auf den Niederdrucktisch gelegt und während einiger Minuten mit leichtem Unterdruck angesogen. Die Flecken werden dadurch vom feuchten Werk in das darunter liegende Löschpapier dringen. Das noch feuchte Werk muss alsdann wieder in die Befeuchtungskammer gelegt werden, während die Löschpapiere auf dem Niederdrucktisch ausgewechselt werden. Dieser Vorgang muss, wenn nötig, öfters wiederholt werden. Es ist wichtig, das Werk während der Behandlungsdauer niemals vollständig trocken zu lassen, da dadurch die Stockflecken nur tiefer in das Papier eindringen und danach schwer wieder löslich sind.

Die Veränderung der Farbwerte

In traditionellen wässrigen Medien gebundene Farben enthalten Bindemittel wie Gummi arabicum, Eiweiss, Gelatine, Eigelb, etc. und Weichmacher wie Honig, die beim Altern tendenziell dehydrieren. Manchmal werden die Farben daraufhin stumpfer und matter. In manchen Fällen ist es möglich, durch die Behandlung in der Befeuchtungskammer diese Art von Bindemittel oder Weichmacher zu regenerieren, so dass die Farben wieder an Glanz und Tiefe gewinnen.⁴ Es lässt sich nicht voraussagen, wie lange diese Farbenregenerierung

⁴Vgl. M.K. Weidner 1993 und A.F. Maheux und W. McWilliams 1995.

anhalten kann. In Abhängigkeit des Erhaltungszustandes des betreffenden Werkes werden die Farben ver-

mutlich erneut verblässen und über kurz oder lang stumpf werden.

Zusammenfassung der Vorteile der Befeuchtungskammer

1. Die Feuchtigkeitsmenge lässt sich genau kontrollieren.
2. Die Feuchtigkeit verteilt sich vollkommen homogen über dem Papier. Sie benetzt nicht die Papieroberfläche, sondern dringt tief und gleichmässig in die Papierfasern ein und verhindert auf diese Weise Spannungen und Deformationen.
3. Ungleichmässige Spannungen und Deformationen des Papiers können während der Befeuchtung behandelt werden.
4. Die Behandlung kann augenblicklich unterbrochen werden, wenn das Werk gefährdet ist (Zerfliessen von Farben etc.).
5. Heikle Objekte (wie Pastelle oder andere sehr schwach gebundene Farben) können mit der Bildseite nach oben behandelt werden, so dass diese empfindlichen Oberflächen in keinerlei Berührung mit irgendwelchen Fremdkörpern kommen. Von grossem Vorteil ist diese Tatsache auch für Farbschichten mit einem hohen Bindemittelanteil.
6. Das Werk kann während der Behandlungsdauer durch die verglaste Türe beobachtet werden.
7. Die Dedoublierung (Entfernen eines Hilfsträgers) ist eine der wichtigsten Massnahmen, welche sich erfolgreich und in grösster Sicherheit mit Hilfe der Befeuchtungskammer durchführen lässt.

Der Lascaux Niederdrucktisch

Das Lösen eines Fleckens

Weist ein Werk lösliche Flecken auf, so lassen sich diese durch das Baden oder punktuelle Behandeln wieder auflösen. Die Behandlungsweisen richten sich jeweils nach dem Erhaltungszustand des Werkes. Selbst wenn punktuell durchgeführte Massnahmen im ersten Moment weniger drastisch erscheinen mögen, darf nicht vergessen werden, dass beim Auftragen eines Wassertropfens ins Zentrum eines Fleckens die Gefahr von einer Ring- oder Kranzbildung besteht, indem die angelösten Teile gegen die äussere Grenzlinie der befeuchteten Zone wandern. Der Niederdrucktisch ist ein äusserst wertvolles Gerät, welches dieses Risiko in erheblichem Ausmass mindern kann. Ein Flecken besteht aus mehr oder weniger löslichen Materialien, welche die Poren des Papiers verstopfen. Ein entsprechendes, auf die Papieroberfläche aufgetragenes Lösemittel wird sich durch die Kapillarkräfte ausdehnen und die Bestandteile des Fleckens lösen. Das Lösemittel wird sich nach sämtlichen Richtungen des Papiers ausdehnen, von den feuchten Bereichen hin zu den trockenen Bereichen. Seine Ausdehnung in

die vertikale Richtung fällt im Gegensatz zur seitlichen Ausdehnung sehr kurz aus; hinzu kommt die Tatsache, dass die horizontale Ausrichtung der Fasern letztere begünstigt. Je mehr Lösemittel aufgetragen wird, desto mehr wird es den Flecken anlösen, sich jedoch auch über den Fleckenbereich hinaus ausdehnen. Der Lösemitteltropfen wird zuerst an seiner Peripherie trocknen, da hier der Oberflächenaustausch mit der Luft am grössten ist, die angelösten Bestandteile werden dort verbleiben, wo die Flüssigkeit sie mitgezogen hat und an dieser Stelle einen Fleckenkranz bilden. Die Wahl des geeigneten Lösemittels ist somit nicht nur von seiner Lösekraft abhängig, sondern auch von seinem Vermögen, in das Papier einzudringen um die gelösten Bestandteile aufzunehmen und möglichst schnell zu verdunsten, um keinen Fleckenkranz zu bilden.

Der Wirkungsbereich des Niederdrucktisches auf die im Papier zirkulierende Flüssigkeit

Das auf dem Niederdrucktisch liegende Werk befindet sich im Bereich von zwei verschiedenen Kräften, da die Absaugpumpe im Hohlraum des Tisches einen Niederdruck herstellt. Die Luft strömt von den Bereichen mit hohem Druck (atmosphärischer Druck) zu den Bereichen mit niederem Druck (Absaugpumpe). Bei der lokalen wässrigen Behandlung eines Werkes wird somit der Luftdruck von aussen die Flüssigkeit durch den Träger hindurch Richtung Absaugpumpe drücken. Dank des Niederdrucktisches und der auf das Werk ausgeübten nötigen Kraft, kann die Luftdurchfuhr die seitliche Ausdehnung der Flüssigkeit begrenzen und ihr das Eindringen in die kleinsten Kapillaren ermöglichen. Das Risiko einer Aureolenbildung wird stark vermindert, da die zu entfernenden Bestandteile gegen den Absaugtisch gezogen werden (unter der Voraussetzung, dass die Geschwindigkeit, mit welcher das Lösemittel aufgetragen wird, nicht zu hoch ist).

Das Phänomen der Kapillarkräfte im Papier

Die Neigung einer Flüssigkeit, in das Fasergeflecht des Papiers einzudringen, ist abhängig von ihrer Oberflächenspannung, vom atmosphärischen Druck sowie vom Durchmesser der Kapillaren im Papier. Die Benetzbarkeit eines Papiers kann je nach dessen hydrophiler oder hydrophober Leimung sehr variieren, sie steht jedoch auch in Abhängigkeit zur Oberflächenspannung der Flüssigkeit: je grösser deren Oberflächenspannung, desto grösser ist die Tendenz der Flüssigkeit, sich wieder zu einem Tropfen zusammenzufassen, und desto schwieriger ist ihre benetzende Wirkung. Die Verringerung der Oberflächenspannung erleichtert die Benetzung, was jedoch nach dem Gesetz von Jurin⁵ die kapillare Ausdehnung favorisiert. Ein Luftstrom oder eine Flüssigkeit wird ein poröses Material vorzugsweise bei seinen breitesten Poren durchqueren, oder, mit den Worten von Stefan Michal-

ski, werden 90% besagten Mediums nur 1% der Poren durchqueren. Das Papier besteht somit aus einer grösseren Menge an Kapillaren, die für Lösemittel schwer zugänglich sind. Hingegen bewirkt das Wasser durch das Hydrieren der amorphen Bereiche ein Quellen der Fasern, vergrössert dadurch den Abstand zwischen den einzelnen polymeren Ketten, so dass auch schwer zugängliche Bereiche hydriert werden können. Dieser Vorgang tritt jedoch nicht sofort ein, das Quellen der Fasern zieht auch eine Verengung der Kapillaren mit sich, was das Zirkulieren des Wassers erschwert und einen Luftüberdruck in den kleinsten Kapillaren bewirkt.

Dank des Niederdrucktisches breitet sich die Flüssigkeit in den grössten Poren aus, sie wird jedoch auch in die feinsten Kapillaren gedrängt, wenn die Kraft des Niederdruckes höher ist als der Druck der Kapillaren. Durch die Absaugpumpe kann ein Unterdruck von 30mm Hg⁶ hergestellt werden. Normalerweise bewegt sich der benötigte Unterdruck entsprechend der Porösität des Papiers zwischen 7,5 und 25 mm Hg. Timothy Vitale gibt eine Methode an, mit welcher die Durchlässigkeit des Papiers gemessen werden kann, sowie eine Serie von Kurven, mit deren Hilfe der passende Unterdruck in Funktion zur Papierdurchlässigkeit und zur Oberflächenspannung des Lösemittels eingestellt werden kann. Je höher die Durchlässigkeit, desto kleiner ist der benötigte Unterdruck und desto kürzer die Behandlungsdauer.

Die Rolle, welche den zwischen Objekt und Niederdrucktisch liegenden Lösch- oder Filterpapieren zukommt, ist sehr wichtig. Die Löschpapiere sind nicht nur dazu da, die Markierung der Plattenstruktur auf dem Objekt zu vermeiden, sie nehmen vielmehr auch am Phänomen der Kapillarkräfte teil, indem auch sie die Flüssigkeiten und Zerfallsprodukte aufsaugen (unter der Voraussetzung dass sie regelmässig ausgewechselt werden, sobald sie gesättigt sind). Die Löschpapiere reagieren wie ein poröses Material, welches Lösemittel oder Wasser aufnimmt und in Richtung Saugtisch transferiert wobei es verdunstet. Die Verdunstung ist umso schneller, je mehr sich der Unterdruck im Hohlraum des Niederdrucktisches unter 1 atm bewegt. Um den Motor vor Feuchtigkeit zu schützen, empfiehlt es sich, einen Wasserablauf zwischen Tisch und Pumpe einzubauen, damit der Dampf hier kondensiert.

Das Phänomen der Wasserverdunstung

Der flüssige Zustand ist ein ungeordneter und kondensierter Zustand der Materie. Der gasförmige Zustand ist ebenfalls ein ungeordneter, jedoch nicht kondensierter Zustand. Er wird unmittelbar von Temperatur und Druck beeinflusst: ein Gas dehnt sich aus wenn die Temperatur erhöht wird und kondensiert, wenn man es komprimiert. Dies bedeutet, dass bei gleicher Quantität der gasförmige Zustand eine höhere Energie enthält als die flüssige Form (kinetische Energie und potentielle Energie verbunden mit dem benötigten

⁵ Gesetz von Jurin: «Die Höhe welche eine Flüssigkeit im Kapillar erreicht variiert umgekehrt proportional zum Radius des Rohres wo die Flüssigkeit zum Stillstand kommt und direkt proportional zur Oberflächenspannung.»

⁶ 30mm Hg = 1 atmosphäre = 1013 mbars = 1,033 kg/cm²

Aufwand um die Moleküle zu trennen). Eine Flüssigkeit lässt sich durch ihren Siedepunkt bei einem gegebenen Druck definieren. So verdunstet Wasser bei

1 atm und einer konstanten Temperatur von 100°C, bei vermindertem Druck sinkt jedoch auch der Siedepunkt. Bei Erreichen der Siedetemperatur geht der flüssige Zustand in den gasförmigen Zustand über. Die Verdunstung beginnt jedoch bereits vor Erreichen des Siedepunktes. Denn an der Oberfläche einer flüssigen Materie existiert ein freier Raum, der jeweils von einer mehr oder minder grossen Menge des entsprechenden Gases gefüllt ist. Aufgrund ihrer kinetischen Energie können die Moleküle durch Verdunsten aus der flüssigen Oberfläche entweichen. Eine Flüssigkeit kann definiert werden durch ihren Dampfdruck, denn Flüssigkeiten sind mehr oder weniger flüchtig. Die Verdunstungsgeschwindigkeit hängt somit von verschiedenen Faktoren ab:

- vom Dampfdruck
- von der Temperatur welche das Abkühlen einer Flüssigkeit während der Verdunstung verhindert und auf diese Weise einen konstanten Mittelwert an kinetischer Energie der Moleküle aufrecht erhält
- vom Druck
- von der Oberfläche der Flüssigkeit, denn je grösser die Oberfläche ist, desto grösser ist die Zahl der zu gegebener Zeit entweichenden Moleküle
- von der Luftumwälzung, welche verhindert, dass sich der Dampf in unmittelbarer Nähe der Flüssigkeit akkumuliert, worauf seine Verdunstung in der Atmosphäre beschleunigt wird, denn die Moleküle können nicht mehr in den flüssigen Zustand zurückkehren

Entsprechend der Grösse des Niederdrucktisches sind zwei verschiedene Saugarten erhältlich: vertikal oder seitlich. Für grosse Tische empfiehlt sich die seitliche Absaugmethode am Tischrand. Auf diese Art verteilt sich der Absaugvorgang besser und bewirkt eine starke Luftumwälzung, wodurch die Verdunstung beschleunigt und das Trocknen des Papiers vereinfacht wird.

Ersetzen der Aluminiumplatte durch eine poröse Polyethylenplatte

Ersetzt man die perforierte Aluminiumplatte eines Niederdrucktisches durch eine poröse Polyethylenplatte, wird die technische Leistung des Saugtisches erheblich verbessert. Die Oberfläche dieser Polyethylenplatte ist viel glatter als bei jener aus Metall, da der Durchmesser der Poren 250 µm aufweist, im Vergleich zur metallenen mit 1 mm. Wie wir vorgängig festgestellt haben, hängt die Verdunstungsgeschwindigkeit von der Oberfläche der Flüssigkeit ab. Nun ist diese «Oberflächenverdunstung», wie auch die Flüssigkeitsmenge, welche sie aufnehmen kann, bei der Polyethylenplatte weit grösser als bei der Metallplatte. Während einer Anfaserung genügt es, die Absaugpumpe nur kurz anzustellen (ungefähr 10 Sekunden). Denn der Sog, den allein die Polyethylenplatte darauf-

hin beibehält (bei ausgeschalteter Absaugpumpe) ist ausreichend, um die Anfaserung erfolgreich abzuschliessen. Auf diese Weise wird das Risiko, dass sich schmutzige Partikel aus der Atmosphäre (während des Absaugvorganges) auf dem ungeschützten Werk fixieren, erheblich reduziert. (Will man hingegen eine Zeichnung auf dem eingeschalteten Niederdrucktisch trocknen, ist es ratsam das Werk mit einem GORE TEX® zu schützen, um diese Partikel zu filtern).

Transformieren des Saugtisches zu einem Dedoubliertisch

Wie Marilyn Kemp Weidner⁷ aufzeigte, kann der Niederdrucktisch für Doublierungen sehr nützlich sein, dank der Polyethylenplatte ist er hingegen auch als «Dedoubliertisch» sehr hilfreich. Während einer Dedoublierung ist es oft nötig, das Werk zu befeuchten, um den alten Doublierleim zu erweichen. Nach der Befeuchtung des Werkes in der Befeuchungskammer wird es auf den Saugtisch gelegt, wo die Kammer an einen Ultraschallbefeuchter anstelle der Absaugpumpe angeschlossen ist. Die Restauratorin bzw. der Restaurator verfügt dadurch über eine harte glatte Arbeitsunterlage, durch welche hindurch der Dampf das Werk ständig befeuchtet. Die austretende Dampfmenge lässt sich auf den Umfang des behandelten Werkes konzentrieren, indem die restliche Tischoberfläche mit einer undurchlässigen Folie (Hostaphan) abgedeckt wird.

Olivier Masson, Papierrestaurator
Zeltweg 40, CH-8032 Zürich
Valérie Luquet, Papierrestauratorin
place de la Libération 12, F-86310 Saint-Savin

Literatur

Caldaro (N.), "Tests on the effects of the use of ultrasound in the humidification of paper", *The Book and Paper Group Annual*, A.I.C.-B.P.G., 1992, pp. 1-20.

Cazey (J.), *Pulp and Paper*, New York, Interscience publishers, 2ème édition, 1960.

Boissonas (P.B.) und Percival-Prescott (W.), "Some alternatives to lining", *Preprints de la conférence de l'ICOM*, Kopenhagen, 1984.

Bartelt (E.), "Praktische Erfahrungen bei der Restaurierung von Miniaturen", *Maltechnik-Restaur*, Nr. 2, 1980.

Futernick (R.), "Leaf casting on suction table", *Journal of the American Institute for Conservation*, vol. 22, n° 2, 1983, pp. 82-91.

Keyes (K.), "Japanese print conservation, an overview", *IIC Conference*, Kyoto, 1988.

⁷ Vgl. M. K. Weidner 1985.

Keyes (K.), "Some practical methods for the treatment with moisture of moisture-sensitive works on paper", ext. de Conservation of historic and artistic work on paper, Kongress in Ottawa, 1988, pp. 99-107.

Luquet (V.), "Restauration du parchemin: comblage de lacunes avec du parchemin reconstitué", mémoire de fin d'études, Paris, ENP-IFROA, 1998.

Maheux (A.F.), MacWilliams (W.), "The use of the ultrasonic mister for the consolidation of a flaking gouache painting on paper", The Book and Paper Group Annual, A.I.C.-B.P.G., vol. 14, 1995.

Masson (O.), Percival-Prescott (W.), "The use of the Lascaux humidification chamber in the treatment of works on paper", Paper Conservation News, No. 43, 1987, pp. 4-7.

Masson (O.), Percival-Prescott (W.), "L'Utilisation de la chambre d'humidification HC-5 pour le traitement d'œuvres sur papier", Journées d'études de l'A.R.A.A.F.U., Paris, 1989, pp. 207-212.

Michalski (S.), "Suction table, history and behaviour", extr. de Preprints of the 9th annual meeting of the A.I.C., Washington, 1981, pp. 129-136.

Michalski (S.), "The suction table: a physical model", extr. de Preprints of the 12th annual meeting of the A.I.C., Los Angeles, 1984, pp. 102-111.

Monier (V.), Etude sur le séchage des papiers anciens, Mémoire de fin d'études, Paris, I.F.R.O.A., 1992. (consultable à la bibliothèque de l'I.F.R.O.A.)

Perkinson (R.), "Design and construction of a suction table", Journal of the American Institute for Conservation, vol. 20, n° 1-2, fall 1980/spring 1981, pp. 36-40.

Purinton (N.), Filter (S.), "Gore-Tex: an introduction to the material and treatments", The Book and Paper Group Annual of the A.I.C., vol. 11, 1992, pp. 141-155.

Vitale (T.), "Observations on the theory, use, and fabrication of the fritted glass bead, small suction disk device", The Paper Conservator, vol. 12, 1988, pp. 47-67.

Vitale (T.), "Effects of water on the mechanical properties of paper and their relationship to the treatment of paper", extr. de Materials issues in art and archeology III, Materials research society symposium proceedings, vol. 267, Pittsburgh, 1992, pp. 397-428.

Weidner (M. K.), "A vacuum table of use in conservation", Bulletin of the American Institute for Conservation, vol. 20, n° 1-2, 1974, pp. 115-122.

Weidner (M. K.), "The suction table: a ten year review of its development", extr. de Preprints of the 12th annual meeting of the A.I.C., Los Angeles, 1984, pp. 94-101.

Weidner (M. K.), "Water treatments and their uses within a moisture chamber on the suction table", extr. de Preprints of the 13th annual meeting of the American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, Los Angeles, 1985, pp. 127-139.

Weidner (M. K.), Zachary (S.), "The system: moisture chamber/suction table/ultrasonic humidifier/air filter", extr. de Congrès de l'American Institute for Conservation, 1988, pp. 109-115.

Weidner (M. K.), "Treatment of water sensitive and friable media using suction and ultrasonic mist", The Book and Paper Group Annual, A.I.C.-B.P.G., vol. 12, 1993, pp. 75-84.

Paper and Water: A Guide for Conservators
Gerhard Banik and Irene Bruckle (Autors).