

Schriften des Instituts für Dokumentologie und Editorik – Band 3

# **Kodikologie und Paläographie im digitalen Zeitalter 2**

---

## **Codicology and Palaeography in the Digital Age 2**

herausgegeben von | edited by

Franz Fischer, Christiane Fritze, Georg Vogeler

unter Mitarbeit von | in collaboration with

Bernhard Assmann, Malte Rehbein, Patrick Sahle

2010

BoD, Norderstedt

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de/> abrufbar.

© 2011

Online-Fassung

Herstellung und Verlag der Druckfassung: Books on Demand GmbH, Norderstedt 2010

ISBN: 978-3-8423-5032-8

Einbandgestaltung: Johanna Puhl, basierend auf dem Entwurf von Katharina Weber

Satz: Stefanie Mayer und  $\LaTeX$

# Zum Einsatz von Synchrotronstrahlung bei der Wiedergewinnung gelöschter Texte in Palimpsesten mittels Röntgenfluoreszenz

Daniel Deckers, Leif Glaser

## Zusammenfassung

Gelöschte Schrift in mittelalterlichen Palimpsesthandschriften kann durch zweidimensionale Abbildung geringer Spuren der in den Pergamentblättern enthaltenen Metalle lesbar gemacht werden. Die bisherigen Versuche greifen auf Röntgenstrahlung aus einem Elektronen-Speicherring zurück, sind aber so zeitintensiv, dass nur wenige einzelne Blätter probeweise untersucht werden konnten. Anhand des Versuchsaufbaus und der bisherigen Ergebnisse werden die Perspektiven und künftigen Entwicklungsmöglichkeiten auf dem Weg zu einem regelmäßig und für ganze Handschriften einsetzbaren Verfahren aufgezeigt.

## Abstract

Two-dimensional mapping of trace metals from parchment palimpsest manuscripts facilitates the reading of the erased original writing. Experiments so far rely on high-flux storage ring X-ray radiation but may take up to several days per leaf, which is practically limiting the process to sample examination of single leaves only. This chapter describes the experimental setup and results obtained so far and outlines how future development might lead to a productive workflow that would eventually allow the application of this technology to entire manuscripts.

## 1. Einleitung

Dieser Arbeitsbericht beschreibt Aspekte der Untersuchung von Palimpsesten in einer fortdauernden Kooperation zwischen Paläographen, Physikern und Handschriftenbibliothekaren.<sup>1</sup> Bei bisher drei Messzeiten (jeweils knapp einwöchigen Perioden, während

---

<sup>1</sup> Partnerinstitutionen sind das Hamburger Synchrotronstrahlungslabor (HASYLAB) am Deutschen Elektronensynchrotron (DESY), das Zentrum für Handschriften- und Textforschung »Teuchos« am Institut für Griechische und Lateinische Philologie der Universität Hamburg sowie die Universitätsbibliothek Leipzig; beteiligt sind K. Appel, G. Falkenberg, L. Glaser (HASYLAB), Chr. Mackert (UB Leipzig), Chr. Brockmann, D. Harlfinger und D. Deckers (Teuchos).

deren die Strahlenquelle genutzt werden konnte) wurden griechische Palimpseste untersucht, d.h. hier mittelalterliche Pergamenthandschriften, die wiederverwendete Blätter mit einer gelöschten griechischsprachigen Erstbeschriftung enthalten. Nicht im Detail eingegangen wird auf die im 19. Jh. verbreiteten Methoden zur chemischen Wiedergewinnung der Texte (meist alles andere als schädigungsfrei) oder auf die seit Anfang des 20. Jh. eingesetzten fotografischen Verfahren einschließlich ihrer in den letzten Jahren Verbreitung findenden digitalen Varianten.<sup>2</sup>

Bei den bisherigen Untersuchungen standen grundsätzliche Erkenntnisse zu Anwendungs- und Optimierungsmöglichkeiten des Verfahrens im Vordergrund; entsprechend wird hier vor allem auf die Grundlagen und auf praktische Aspekte eingegangen, wobei weder technische Details noch weitergehende inhaltliche Fragen zu den Einzelfällen Berücksichtigung finden. Beschrieben werden die technischen Grundlagen, der Versuchsaufbau, die Ergebnisse (auch im Vergleich zu optischen Untersuchungsmethoden) und die Perspektiven für den künftigen Einsatz des Verfahrens.

Die untersuchten Handschriften wurden von der Universitätsbibliothek Leipzig zur Verfügung gestellt.

## 2. Technischer Hintergrund

Um Beschreibstoff weiterzunutzen, wurden im Mittelalter bereits beschriebene Blätter aus Handschriften, die beschädigt waren oder nicht mehr benötigt wurden, chemisch oder mechanisch gelöscht und einer Wiederverwendung zugeführt. Der Wert der enthaltenen unteren Texte für die Handschriftenforschung ergibt sich schon daraus, dass wir es dabei gerade mit Material zu tun haben, das nicht als erhaltenswert angesehen wurde, und sei es nur aus materiellen Gründen wie z.B. durch Beschädigung. Im Einzelfall ist der Wert für die Editorik sehr hoch, wenn es sich um sonst nicht oder nur in anderen (insbesondere späteren) Varianten überlieferte Texte handelt, wie z.B. im Falle des berühmten lateinischen *De republica*-Palimpsests.

Spuren der Erstbeschriftung in Palimpsesten können einerseits noch vorhandene Bestandteile der Tinte sein, andererseits bei der Erstbeschriftung verursachte Veränderungen im Beschreibstoff. Eine Untersuchung mit (heute üblicherweise digitalen) fotografischen Verfahren bietet sich an, wenn Spuren der ersten Tinte noch sichtbar sind (digitale Farbaufnahmen oder multispektrale Verfahren mit anschließender Analyse und Bearbeitung der Aufnahmen) oder die Schrift anhand der infolge des früheren Tintenauftrags veränderten Eigenschaften des Pergaments sichtbar gemacht werden kann (insbesondere UV-Fluoreszenzaufnahmen). Voraussetzung ist in ersterem Fall das Vorhandensein von Resten geeigneter Tintenbestandteile im Oberflächenbereich des

---

<sup>2</sup> Zu letzteren geben Deckers/Grusková eine Übersicht mit grundlegenden technischen Daten und Berücksichtigung praktischer Aspekte der Anwendung.

Beschreibstoffs, in letzterem die entsprechende Eigenschaft des Pergaments (Fluoreszenz in unbeschriebenen Bereichen). Nicht selten beschränkt sich die Lesbarkeit auf bestimmte Bereiche (z.B. außerhalb des neuen Schriftspiegels) oder auch auf eine der beiden Seiten des Pergamentblatts; oft sind nur einzelne Buchstaben auszumachen. Bei allen Fortschritten der digitalen Aufnahmeverfahren können diese daher meist nur partielle Ergebnisse liefern und erlauben zudem keine Aussage zu den tatsächlich physisch noch vorhandenen Schriftspuren.

Bei den für den Haupttext zum Einsatz kommenden Tinten in dieser Art von Palimpsesten handelte es sich im Regelfall um sogenannte Eisengallustinten. Mit Röntgenfluoreszenzverfahren lassen sich bereits geringe Reste einzelner chemischer Elemente nachweisen; für diese Tinten scheint zunächst insbesondere der Nachweis des Eisens interessant. Dass eine zweidimensionale, punktweise Abtastung eines Palimpsestblatts mit anschließender Darstellung (etwa als Graustufenbild) der erfassten Messwerte insbesondere zum Eisengehalt (sogenanntes »element mapping«) die Wiedergabe auch der Reste der unteren Schrift erlaubt, hat bereits U. Bergmann am Stanford Linear Accelerator bei der Messung einzelner Blätter des Archimedes-Palimpsests gezeigt. Für die Hamburger Untersuchungen entschieden wir uns, jeweils aufgrund punktueller Einzelmessungen bei den eigentlichen Durchläufen für das Mapping eine größere Zahl interessanter Elemente zu berücksichtigen. Als besonders relevant erwiesen sich Eisen, Kupfer und Zink (Eisengallustinte), Calcium (vgl. Auswertung) und Blei (rote Tinten für Initialen, Schmuckelemente usw.).

Während die grundsätzliche Zusammensetzung und das Alterungsverhalten von Eisengallustinten z.B. von Kolar gut untersucht sind (siehe *Iron gall inks*), gibt es insbesondere zu den frühen Tinten, zur detaillierten Entwicklung der Pergamentherstellung oder gar zu den Löschverfahren kaum Erkenntnisse, die über Einzelfälle hinausgehen. Sofern an einzelnen Handschriften insbesondere im 19. Jh. Chemikalien für Versuche zum Einsatz gebracht wurden, getilgte Texte wieder lesbar zu machen, beeinflussen die Rückstände dieser Chemikalien auch den heutigen Befund. Daher sind die zu untersuchenden Palimpseste, genauer gesagt jede einzelne Palimpsesteinheit in einer Palimpsesthandschrift (oft fanden für einen einzelnen neuen Kodex Blätter aus mehr als einer gelöschten Handschrift Verwendung), für unsere Untersuchung jeweils als Unikat zu behandeln. Dieser Ansatz wurde durch die unten vorgestellten Ergebnisse bestätigt.

### 3. Versuchsaufbau

Für die bisherigen Experimente wurde ein monochromatisierter Photonenstrahl mit einer Anregungsenergie von 18 keV eingesetzt, die Messungen erfolgten mit einem Silizium-Drift-Detektor. Der in Abb. 1 schematisch dargestellte Versuchsaufbau wurde innerhalb der entsprechend abgeschirmten Experimentierstation aufgebaut, in die der

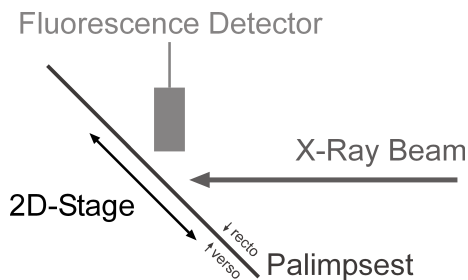


Abbildung 1. Versuchsaufbau (schematisch).

Strahl des DORIS-Speicherrings am HASYLAB über die Hartröntgen-Mikrofluoreszenz-Beamline L geleitet wurde. Das jeweilige Untersuchungsobjekt wurde mit einer Auflösung von ca. 70 Mikrometer in vertikaler und 100 Mikrometer in horizontaler Richtung abgetastet, wobei eine durchschnittliche Abtastgeschwindigkeit von sieben Messpunkten pro Sekunde erzielt werden konnte. Um zunächst eine Vorauswahl der Elemente zu treffen, deren Detektor-Zählraten aus den Sensordaten rechnerisch ermittelt und visualisiert werden sollten, wurden vor den eigentlichen, das ganze Blatt abdeckenden Messungen kleinflächigere Stichproben durchgeführt. Aus den genannten Daten folgt, dass mit den vorliegenden Parametern in einer knapp einwöchigen Messzeit nur der Textbereich von ein bis zwei Blättern (abhängig von ihrer Größe) vollständig abgebildet werden kann.

Da eine gezielte Ablenkung des Röntgenstrahls ab dem Austrittspunkt nur sehr eingeschränkt möglich ist<sup>3</sup>, war es für die Abtastung erforderlich, die jeweilige Handschrift in einer geeigneten Halterung relativ zum Aufbau aus Strahl und Detektor zu verschieben. Hierzu wurden auf einer Bühne mit ausreichend leistungsstarken Schrittmotoren für die jeweilige Handschrift eigens gefertigte bzw. adaptierte Halterungen eingesetzt, die es ermöglichten, die Handschrift im aufgeschlagenen Zustand zu lagern und das zu untersuchende Blatt so zu fixieren, dass eine Abtastung ohne Beeinträchtigung durch die übrigen Teile der Handschrift möglich war. Auf Grund der Beschaffenheit der getesteten Handschrift musste jedoch der jeweilige Messbereich eingeschränkt werden, so dass z.B. eine Messung bis in Falznähe ausgeschlossen war.

Während die Belastung des Pergaments mit Röntgenstrahlung im für die Untersuchungen erforderlichen Umfang konservatorisch vertretbar ist (Young) und auch geeignete Klimabedingungen in der Messkammer geschaffen und aufrecht erhalten werden konnten, stellte die Konstruktion einer geeigneten Halterung eine Herausforderung

<sup>3</sup> Durch den Einsatz spezieller Röntgenspiegel mit einer entsprechenden Steuerung könnte es in Zukunft denkbar sein, dennoch eine der Achsen der Abtastung durch Verschiebung des Strahls abzudecken; dies würde aber eine synchronisierte Verschiebung des Detektors erfordern.

dar. Für einen sicheren Einsatz war ein auch während der Bewegungen durch die Schrittmotoren formstabiler, ausreichend tragfähiger Aufbau zu wählen. Hierzu wurde eine Grundkonstruktion aus Aluminiumprofilblechen gefertigt, die an den erforderlichen Stellen aufgepolstert und mit säurefreiem Papier abgedeckt wurde. Das jeweils zu untersuchende Blatt wurde in einem Rahmen gehalten, in dem es mit Folien stabilisiert werden konnte; dafür kam neutrale Kapton-Folie zum Einsatz. Auf eine Glättung des Blattes wurde verzichtet; durch die Stabilisierung hielt sich eine etwaige Wellung des Blattes allerdings in Grenzen, welche die Messung nicht beeinträchtigten.

#### 4. Auswertung

Ein Blatt des Cod. Lips. gr. 2, das als erstes untersucht wurde, war im 19. Jahrhundert mit sogenanntem roten Blutlaugensalz (Kaliumhexacyanidoferrat(III)) behandelt worden, wovon die Verfärbung des Blattes und Pergamentschäden vor allem im Randbereich zeugen. Bei seiner Untersuchung konnten speziell in solchen Bereichen, die im Zuge früherer Restaurierungsmaßnahmen überklebt worden waren, in der Eisen-Map zusätzliche Teile von Buchstaben dargestellt werden. Zugleich war für viele Teilbereiche ein Fehlen von Schriftresten festzustellen. Das Blutlaugensalz war offensichtlich zeilenweise aufgetragen worden, wodurch insbesondere Eisenspuren im gesamten Auftragsbereich verteilt wurden. Auf diese erste Untersuchung soll hier nicht weiter eingegangen werden.

Detailliertere Ergebnisse werden im Folgenden anhand des Cod. Lips. Rep. I 62 präsentiert. Diese Handschrift enthält zahlreiche Palimpsestblätter, die bei der Untersuchung ohne Hilfsmittel nicht eindeutig früheren Handschrifteneinheiten zugeordnet werden konnten. Eine frühere Behandlung mit Chemikalien ist nicht feststellbar. Unter UV-Licht waren aufgrund der Fluoreszenz vereinzelt wenige Buchstaben lesbar, anhand deren der Text in mehreren Blättern als Johannes Klimakos' *Scala Paradisi* identifiziert werden konnte. Für eines dieser Blätter, auf dem sich zudem eine mit bloßem Auge nicht mehr lesbare Notiz am unteren Rand befindet, wurden mit dem beschriebenen Verfahren Maps von 10 Elementen erstellt<sup>4</sup>. In der bisherigen Teilauswertung zeigte sich, dass das Eisensignal in allen Textbereichen weniger kantenscharfe, stärker verwaschene Ergebnisse als die Kupfer- und Zinksignale lieferte. Die Randnotiz ist in der Kupfer-Map einwandfrei lesbar, der untere Text (dessen Tinte offenbar kaum Spuren von Kupfer enthielt) scheint in der Zink-Map deutlicher erkennbar zu sein, eine endgültige Auswertung steht hier noch aus.

---

<sup>4</sup> Nach Abschluss der derzeitigen Versuchsreihe sollen die Visualisierungen der einzelnen Maps bzw. später auch von kombinierten Auswertungen über die Online-Plattform des Teuchos-Zentrums zugänglich gemacht werden.

Da das Röntgenfluoreszenzverfahren die Texte auf beiden Seiten eines Blattes überlagert erfasst, stellt sich die Frage, wie die Texte unterschieden werden können. Auch bei fotografischen Verfahren sind obere und untere Schrift überlagert; eine Trennung in den tatsächlich überlappenden Teilen von Buchstaben ist kaum möglich. Die multispektrale Fotografie bietet hier je nach Tintenbeschaffenheit Unterscheidungsmöglichkeiten, bisherige Resultate lassen allerdings vermuten, dass die überwiegende Zahl der griechischen Palimpseste, in denen untere und obere Schrift mit Eisengallustinten ausgeführt sind, die Voraussetzungen hierfür nicht erfüllen<sup>5</sup>. Beim Element-Mapping zeigte sich bisher in allen Fällen, dass sich die Intensität der Signale zwischen den einzelnen Tintenschichten, und zwar sowohl zwischen oberer und unterer Tinte als auch zwischen denselben Tinten auf den beiden Seiten eines Blattes merklich unterschied. In einem Fall waren diese Intensitätsunterschiede in den visualisierten Daten ohne weitere Bearbeitung der Bilddatei bereits mit bloßem Auge erkennbar. Ob für die überwiegende Zahl der Fälle eine eindeutige Abgrenzung möglich sein wird, lässt sich noch nicht mit Sicherheit sagen, solange weder Vergleichsmessungen in ausreichendem Umfang vorliegen noch weitergehende Bildanalyseverfahren erprobt wurden. Da sich die Texte selten vollflächig überdecken, können allerdings selbst die überlagerten Schriften oft noch entziffert werden.

Der unterschiedliche Befund zur selben Schriftebene auf den beiden Seiten eines Blattes dürfte auf die unterschiedliche Beschaffenheit der Haar- und Fleischseiten des Pergaments zurückzuführen sein, die Unterschiede bei der Haftung und Aufnahme der Tinten bedingt. Für die unteren Texte werden die entsprechenden Unterschiede auch die Wirksamkeit der Lösungsverfahren beeinflusst haben. Auch aus der optischen Untersuchung von Palimpsesthandschriften war bekannt, dass oft der Text auf einer Seite besser als auf der anderen erkennbar ist. Im seltenen Einzelfall unterschied sich auch die UV-Fluoreszenz beider Seiten so stark, dass bereits daran deutlich unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheiten evident waren.

Für das zweite untersuchte Blatt dieser Handschrift (vgl. Abbildungen 2–5) war der untere Text mit optischen Verfahren zuvor nicht identifizierbar. Interessanterweise lieferten hier weder die Eisen- noch die Kupfer-Map deutliche Spuren der unteren Schrift; in der Zink-Map ist eine starke Überlagerung der Tinten feststellbar. Auf diesem Blatt ist die untere Schrift in der Calcium-Map deutlich erkennbar, ein von den bisherigen Untersuchungen abweichender Befund. Es steht zu vermuten, dass im Zuge des ersten Beschriftungsvorgangs verbliebene Spuren des bei der Pergamentherstellung eingesetzten Kalks in die Pergamentoberfläche eingebracht

---

<sup>5</sup> Diese und weitere im Artikel genannte Erfahrungswerte gehen auf umfangreiche Arbeiten an Palimpsesten im von Hamburg aus koordinierten EU-Projekt „Rinascimento virtuale – Digitale Palimpsestforschung“ zurück, an denen einer der Verfasser in nicht wenigen Fällen beteiligt war; umfassende quantitative Untersuchungen liegen dagegen nicht vor. Zum Projekt vgl. auch Deckers/Grusková sowie *Rinascimento Virtuale*.





Abbildung 2. Cod. Lips. Rep. I 62, f. 17: Digitalfotografie (recto-Seite).

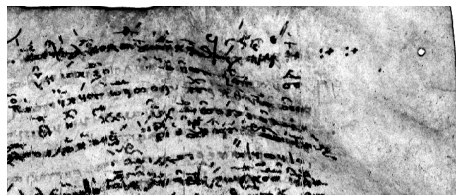


Abbildung 3. Cod. Lips. Rep. I 62, f. 17: Eisen-Map.

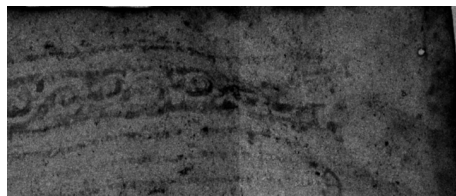


Abbildung 4. Cod. Lips. Rep. I 62, f. 17: Blei-Map.

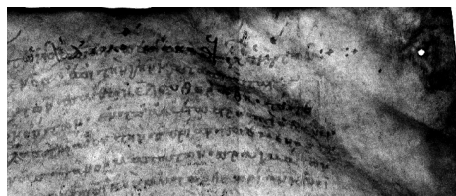


Abbildung 5. Cod. Lips. Rep. I 62, f. 17: Calcium-Map.

wurden und den Löschvorgang überstanden. Es finden sich in der Map nur Spuren einer einseitigen ersten Beschriftung. Da es sich um einen Teil eines fortlaufenden Textes (er konnte jetzt als Teil der *Capita de caritate* des Maximus Confessor identifiziert werden) handelt, ist allerdings als wahrscheinlich anzusehen, dass vor der Löschung eine beidseitige Beschriftung vorlag. Interessant ist, dass die untere Schrift auch im Bereich der roten Zierleiste gleichermaßen lesbar ist; bei optischen Verfahren stellen solche Bereiche oft ein besonderes Problem dar.

Diese Versuche haben gezeigt, dass das beschriebene Verfahren es ermöglicht, Schrift lesbar zu machen, die mit herkömmlichen Ansätzen nicht erkennbar ist. Es kann in vielen Fällen die gelöschte Schrift für wissenschaftliche Zwecke ausreichend darstellen und zugleich den Nachweis ermöglichen, in welchen Bereichen keine Spuren unterer Schrift vorhanden sind. Nachteile sind derzeit der ausschließlich stationäre Einsatz am Ort eines Elektronen-Speicherrings, die erforderliche Untersuchungszeit pro Blatt bei einer nur knapp ausreichenden Ortsauflösung, die Notwendigkeit, jeweils individuelle Lösungen für eine konservatorischen Anforderungen genügende Handschriftenhalterung zu finden sowie ein umständliches und zeitaufwendiges Auswertungsverfahren.

## 5. Perspektiven

Bei Beginn der hier beschriebenen, über mehrere Jahre erfolgten Untersuchungen war keine mobile Strahlungsquelle verfügbar, die akzeptable Messzeiten ermöglicht hätten. Tests mit neuen Entwicklungen sind für Anfang 2011 vorgesehen. Alternativ wäre auch die eigene Entwicklung eines geeigneten Aufbaus aus mobiler Quelle und verbesserten Detektoren denkbar, die einen mobileren Einsatz ermöglichen würden. Dass dabei freilich nur von einem transportablen, nicht von einem tragbaren Aufbau die Rede sein kann, versteht sich aufgrund der technischen Voraussetzungen von selbst.

Der Zeitfaktor der Messungen ist das zweite entscheidende Problem des jetzigen Aufbaus. Die Flussrate des derzeit genutzten Speicherrings würde nach einer Systemoptimierung eine Erhöhung der pro Sekunde ansteuerbaren Messpunkte um etwa den Faktor 10 erlauben. Die bisherigen Parameter der Messung basieren auf theoretischen Überlegungen und den aus früheren Einzelmessungen vorliegenden Daten. In einer nächsten Messzeit im August 2010 soll anhand umfangreicherer Vergleichsmessungen an bereits untersuchten Proben durch Variation der Energie und der Detektortypen eine Optimierung des Aufbaus erreicht werden. Der nächste Schritt wäre die Entwicklung eines speziell an die Messerfordernisse angepassten, großflächigeren Detektors, um die Signalstärke weiter zu erhöhen.

Eine weitere deutliche Verkürzung der Messzeiten in Hamburg wird auch durch einen Wechsel vom bisher eingesetzten Speicherring DORIS zum neuentwickelten Ring

PETRA erreicht werden können, der eine erhebliche höhere Flussrate liefert. Diese kann freilich nur in Verbindung mit einem geeigneten Detektor und entsprechend schneller Ausleseelektronik nutzbar gemacht werden. Mit einer solchen Erhöhung der Geschwindigkeit wäre auch eine Erhöhung der Ortsauflösung möglich; je nach Handschrift wäre pro Richtung eine Verdoppelung wünschenswert.

Wenn aufgrund entsprechender Entwicklungen in den kommenden Jahren die Untersuchung mehrerer Seiten an einem Tag ermöglicht werden kann, wäre das vollständige Mapping ganzer Palimpsesthandschriften in akzeptablen Zeiträumen durchführbar, für das dann auch die Einrichtung eines festen Messaufbaus wünschenswert wäre. Ein solches Szenario hätte den Vorteil, dass im Zusammenhang einer vollständigen Untersuchung gemeinsam mit den handschriftenbesitzenden Bibliotheken auch über erforderliche konservatorische bzw. restauratorische Maßnahmen für die jeweiligen Handschriften nachgedacht werden könnte und unter optimalen Bedingungen eine vollständige Untersuchung (z.B. auch einschließlich einer herkömmlichen Digitalisierung usw.) der Einzelblätter vorgenommen werden könnte. Sobald absehbar ist, dass mit einem dauerhafteren Messaufbau eine größere Zahl von Handschriften untersucht werden kann, wäre auch die Konstruktion darauf abgestimmter universellerer Halterungen in zwei oder drei Grundgrößen denkbar, die an die jeweiligen Handschriften oder Einzelblätter anpassbar sind.

Auch im Bereich der Auswertungsverfahren sind Weiterentwicklungen in Arbeit, einschließlich der Trennung der verschiedenen Schriftebenen anhand abweichender Signalstärken und der Kombination der verschiedenen Element-Maps (z.B. mittels sogenannter blind source separation). Die an jedem Messpunkt aufgenommenen Röntgenfluoreszenzspektren liefern zudem die Daten für eine Elementanalyse der verwendeten Tinten, aus denen sich als Nebenprodukt Durchschnittswerte für die gesamte Seite bilden lassen.

## Bibliographie

Bergmann, Uwe. »X-Ray Fluorescence Imaging of the Archimedes Palimpsest: A Technical Summary«. Stanford (CA): Stanford University, 2006.

<[http://www.slac.stanford.edu/gen/com/images/technical%20summary\\_final.pdf](http://www.slac.stanford.edu/gen/com/images/technical%20summary_final.pdf)>.

Deckers, Daniel und Jana Grusková. »Zum Einsatz verschiedener digitaler Verfahren in der Palimpsestforschung« *The legacy of Bernard de Montfaucon: Three Hundred Years of Studies on Greek Handwriting. Proceedings of the Seventh International Colloquium of Greek Palaeography (Madrid – Salamanca, 15–20 September 2008)*. Eds. Antonio Bravo García and Inmaculada Pérez Martín, with the assistance of Juan Signes Codoner. Bibliologia 31. Turnhout: Brepols, 2010 353–362 [im Druck].

*Iron gall inks: on manufacture, characterisation, degradation and stabilisation*. Hg. Kolar, Jana und Matija Strlič. Ljubljana: Narodna in univerzitetna knjižnica, 2006.

*Rinascimento Virtuale. Digitale Palimpsestforschung. Rediscovering written records of a hidden European cultural heritage.* A project for the rediscovery and dissemination of Greek palimpsests. Universität Hamburg, 2001–2010. <<http://www.rinascimentovirtuale.eu/>>.

Young, Gregory. »Effect of High Flux X-radiation on Parchment«. Report No. Proteus 92195. Ottawa: Canadian Conservation Institute, 2005.  
<[http://www.archimedespalimpsest.org/pdf/archimedes\\_f.pdf](http://www.archimedespalimpsest.org/pdf/archimedes_f.pdf)>.