

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  $\LaTeX$

# Thermographie – ein neuartiges Verfahren zur exakten Abnahme, Identifizierung und digitalen Archivierung von Wasserzeichen in mittelalterlichen und frühneuzeitlichen Papierhandschriften, -zeichnungen und -drucken

Peter Meinlschmidt, Carmen Kämmerer, Volker Märgner

## Zusammenfassung

Der Beitrag präsentiert die Thermographie als ein neues Forschungsinstrument der Wasserzeichenkunde. Einführend wird zunächst die Bedeutung von Wasserzeichen für die Erschließung historischer Dokumente erörtert. Darauf aufbauend stellen die Autoren ein neuartiges Verfahren zur Visualisierung von Wasserzeichen vor, durch welches es in einfacher Weise gelingt, auch überschriebene oder übertuschte Wasserzeichen klar und deutlich sichtbar zu machen. Durch diese neue Technik ist es möglich, Wasserzeichen von historischen Dokumenten mittels einer Thermographiekamera in einer der Buchdigitalisierung ähnlichen, einfachen Weise und *in situ* abzunehmen. Anschließend werden einige Möglichkeiten vorgestellt, die mit Hilfe der modernen Bildverarbeitung und Mustererkennung die vergleichende Suche nach identischen und ähnlichen Wasserzeichen erleichtern.

## Abstract

This chapter introduces thermography as a new research instrument for watermark studies. As an introduction, the importance of watermarks for the analysis of historical documents is discussed in detail. On this basis, a newly developed technique for the visualisation of watermarks is introduced. With this technique, it is relatively easy to identify watermarks even if the structures are obscured by ink or pigments. The newly developed thermographic method allows identification and storage of watermarks *in situ* without damaging the paper in a similarly easy way as today's scanning of books. As an outlook, the authors present how modern image processing and pattern recognition can support the comparative search for identical or similar watermarks.

## 1. Einleitung

Die Wasserzeichenkunde oder Filigranologie gilt heutzutage innerhalb der Erschließung von historischen Buchbeständen, Karten, Graphiken, Zeichnungen etc. als unverzichtbare historische Hilfswissenschaft (Hay). Doch nicht nur aus papier- und buchhistorischer Perspektive stellen die Wasserzeichen einen zentralen Forschungsgegenstand dar: Sie werden zum Treffpunkt der Disziplinen, wenn es darum geht, Abnahmeverfahren zu optimieren und Motivzuordnungen durch Mustererkennung zu automatisieren. Die Synergieeffekte interdisziplinären Arbeitens auf diesem Gebiet sollen durch diesen Beitrag dokumentiert werden. Die im Folgenden vorgestellten Ansätze verstehen sich als komplementär zur derzeit auch andernorts in Projektarbeit betriebenen Wasserzeichendokumentation und -erschließung (Wolf).

Der Untersuchungsgegenstand sind Wasserzeichen in handgeschöpften europäischen Büttenpapieren, wie sie seit dem 13. Jh. nachzuweisen sind (Weiß). Wasserzeichen definieren sich nicht nur über ihr Motiv, sondern auch durch das Siebgeflecht, auf dem sie befestigt waren und das sich ebenfalls als »Wasserzeichen« im historischen Handpapier erhalten hat. Sowohl Wasserzeichenmotiv als auch Siebgeflecht sind oft im Durchlicht erkennbar. Die Position einer Drahtfigur auf dem Schöpfsieb bestimmt sich in ihrem Verhältnis zu den Ripp- und Kettdrähten, auf denen sie befestigt war<sup>1</sup> (Klinke). Es gibt Wasserzeichen, die zwischen zwei Kettdrähten befestigt waren und andere, bei denen der Kettdraht die Wasserzeichenfigur der Länge nach durchteilt (Piccard 1956 101). So ist auch die exakte Dokumentation des das Wasserzeichenmotiv umgebenden Drahtgeflechts zur Identifizierung von Wasserzeichen unabdingbar. Das angewandte Abnahmeverfahren muss daher das Wasserzeichen in seiner Gesamtheit so exakt wie möglich wiedergeben.

Stellt man die Frage nach der Bedeutung von Wasserzeichen, so ist diese zum einen für die Vergangenheit und zum anderen für die Gegenwart zu beantworten. Wasserzeichen dienten zunächst als Firmenlogos und Qualitätszeichen für verschiedene Papiersorten der einzelnen Papiermühlen. Es verband sich mit den Wasserzeichen aber auch das Bestreben nach Fälschungssicherheit und Qualitätssicherung. Dieser Umstand schlägt sich im »Tractatus de insignis et armis« des Rechtsgelehrten Bartolus de Saxoferrato (1313/14–1357) nieder (Lackner). Bartolus de Saxoferrato will die Verwendung bestimmter Wasserzeichenmotive für den Inhaber einer Papiermühle rechtlich geregelt wissen. Andere Papiermüller durften gleiche Motive nicht verwenden. Wenn man also die Wasserzeichen eines Papiermüllers identifizieren kann, lassen sich bestimmte Papiere regional zuordnen und Handelswege sowie die Verbreitung von Papier nachvollziehen. Beispielsweise verwendete die Papiermühle in Bern das Wahrzeichen der Stadt, den Bären, als Wasserzeichenmotiv. Jaffé verweist im

---

<sup>1</sup> Die Ripp- oder Bodendrähne verlaufen rechtwinklig zur Schmalseite des Schöpfsiebes. Die Kett- oder Bindrähne verlaufen parallel zur Schmalseite des Schöpfsiebes.



Zusammenhang auf die drei Qualitätsstufen für eine Ravensburger Papiermühle. Papier erster Güte wurde dort in der Mitte des 15. Jhs. mit dem Bild eines Tores mit zwei Türmen gekennzeichnet. Die zweite und dritte Qualitätsstufe markierte der Ochsenkopf ohne Augen mit einem darüber stehenden Kreuzstab und ein Hifthorn. Neben der Kennzeichnung der Papierqualität dienten die Wasserzeichen auch der Markierung verschiedener Papierformate bzw. Bogengrößen.

Die Wahl des Motives verband sich oftmals auch mit einer besonderen Assoziation. So ist das Ochsenkopfwasserzeichen in großer Vielfalt nachgewiesen (Jaffé 23). Es handelt sich hierbei um ein Handwerkersignet, da es als eine Referenz an den Evangelisten Lukas zu interpretieren ist, dessen Tierattribut, der Ochse, den Papiermachern als Schutzheiliger galt. Die gesamte mittelalterliche Bilderwelt und Symbolik spiegelt sich in der unglaublichen Vielfalt der Wasserzeichenmotive wider und bedarf unter verschiedenerlei Hinsicht noch einer genaueren Erforschung.

In der Gegenwart besitzen die Wasserzeichen unter unterschiedlichen Aspekten zentrale Bedeutung. Zum einen dienen sie der Datierung bisher undatierten Schriftguts. Die Wasserzeichenrepertorien von Charles Moïse Briquet (1839–1918) und Gerhard Piccard (1909–1989) sowie die im »Bernstein-Portal« (Bernstein-Projekt) zusammengeführten Wasserzeichendatenbanken bieten unter dieser Fragestellung z.B. der Handschriftenerschließung ein zentrales Instrumentarium. Piccard (1965) kommt aufgrund von sehr differenzierten Vergleichen und Reihenaufstellungen zu dem Ergebnis, dass sich der Beschriftungszeitraum für Papiere aus der Zeit von 1370 bis 1630 auf nicht mehr als drei oder vier Jahre beläuft. Entsprechend können dann undatierte Papiere aufgrund von in den Repertorien und Datenbanken nachgewiesenen Wasserzeichenbelegen datiert werden. Auf diese Weise gelingt außerdem die Beweisführung für Alters- und Echtheitsbestimmungen von Kunstwerken. Aber auch die Bestimmung der zeitlichen Reihenfolge, in der Johann Sebastian Bach seine Werke komponiert hat, ließe sich durch die Wasserzeichenidentifikation und dadurch ermöglichte Papierdatierungen der betreffenden Musikhandschriften bewerkstelligen (Weiß). Für die Katalogisierung und Erschließung von mittelalterlichen Handschriften geben die Wasserzeichen Anhaltspunkte zur Formatbestimmung: Vollständige Wasserzeichen verweisen auf Folioformate, durch die Bindung einmal geteilte Wasserzeichen auf Quartoformate usw.

Da bisher nur von der Beweisführung anhand identischer Wasserzeichen die Rede war, muss nun auch auf Wasserzeichenvarianten eingegangen werden. Die Erkenntnis über die Bedeutung von Wasserzeichenvarianten hat die Forschung moderner Abnahmeverfahren wie beispielsweise der Betaradiographie<sup>2</sup> (Kushel 1999) und der Thermographie (Neuheuser) zu verdanken, an die aufgrund ihrer Exaktheit und ihrer Möglichkeit, vielfältigeres und umfänglicheres Datenmaterial miteinander zu

---

<sup>2</sup> Betaradiographie ist eine Technik bei der die durch radioaktiven Zerfall entstehenden Betastrahlen zur Durchstrahlung von Papier genutzt werden. Gemessen werden mit dieser Methode die Dicke, der Wassergehalt, die Dichte aber auch als bildgebendes Verfahren die Wasserzeichen.

vergleichen, die Durchzeichnungsmethoden Piccards und anderer Wasserzeichenexperten nicht heranreichen<sup>3</sup>. Bedient man sich fotografischer Abnahmeverfahren, die das genaue Umfeld des Wasserzeichenmotivs in einer größeren Detailvielfalt wiedergeben, können Varianten eines Wasserzeichens, die z.B. durch Abnutzung der Drahtfigur entstanden sind, durchaus zum Vergleich und somit zur zeitlichen Einordnung von Schriftstücken etc. herangezogen werden (Haidinger 13; Hedges). Alle Kett- und Rippdrähte werden abgebildet, so dass die Aussage über Identität oder Variabilität eines Wasserzeichens differenzierter wird. Beispielsweise können unterschiedliche Papierdicken und entsprechend unterschiedlich starke Transparenz bei einzelnen Ripp- oder Kettdrähten als Anhaltspunkte betrachtet werden. Auch leichte Verschiebungen der Drähte sind durch fotografische Verfahren exakt wiedergebbar. Diese Verfahren ermöglichen außerdem die Erstellung von chronologischen Reihen, die sich aus dem unterschiedlichen Abnutzungsgrad der Drahtfiguren ergeben. Auf diese Weise werden Varianten erkennbar, die dann zur Datierung herangezogen werden können. In einem zweiten Schritt, nämlich durch die Mustererkennung, lassen sich die Parameter von Wasserzeichendefekten, Siebdefekten, Siebreparaturen, Wasserzeichenverschiebungen u.Ä. definieren. Die Belastungen des Schöpfesiebes beim Abgautschen des geschöpften Papierbogens und auch später beim täglichen Reinigen des Siebes mit Bürsten bewirkten diese Deformationen und machten in einigen Fällen auch eine Reparatur notwendig. Ausbrüche und Fehlstellen in der Drahtfigur sind in Wasserzeichensammlungen, die mit fotografischen Verfahren erstellt wurden, eindeutig nachweisbar und gelten als wichtige Indizien in der Wasserzeichenforschung.

Im Folgenden wird nun auf das Abnahmeverfahren der Thermographie eingegangen, da diesem besonders unter dem konservatorischen Gesichtspunkt Bedeutung zugemessen wird<sup>4</sup>. Die Thermographie eignet sich, wie oben erwähnt, außerordentlich gut zur Dokumentation von Wasserzeichenvarianten. Sie bringt den großen Vorteil mit sich, dass bei stark beschriebenen Papieren und bestimmter Tintenzusammensetzung die Schrift in der Aufnahme ausgeblendet und so das Wasserzeichen vollständig erkennbar wird. Im Vergleich zu radiographischen Abnahmeverfahren ist die Thermographie ungleich kostengünstiger, mit weniger gesundheitlichen Risiken für die Bearbeiter und weniger Zeitaufwand bei der Erstellung einer Aufnahme verbunden. Ein großer Vorteil beim Anlegen von Wasserzeichensammlungen mittels Thermographie beruht auf der Tatsache, dass die Aufnahmen gleich in digitaler Form vorliegen und so leicht bearbeitbar und archivierbar sind.

Die Vorteile des nachstehend beschriebenen Verfahrens zur Mustererkennung liegen in der o.g. Parametrisierung von Einzelcharakteristika der Wasserzeichenbelege, die

---

<sup>3</sup> Eine Übersicht zu den verschiedenen Abnahmeverfahren von Wasserzeichen ist bei Kämmerer (43–47) zu finden.

<sup>4</sup> Andere Verfahren, wie z.B. die Durchreibung werden als konservatorisch bedenklich eingestuft, da es sich nicht um ein berührungsfreies Abnahmeverfahren handelt.



Abbildung 1. Foto von einer Rembrandt-Handzeichnung im Auflicht (links) und im Durchlicht (rechts) (Döhring 117, 183). Aus der rechten Abbildung wird ersichtlich, dass Wasserzeichen auch im Durchlicht oft kaum erkennbar sind.

dann einen automatisierten Vergleich ermöglichen. Dies hat zur Folge, dass eine exakte Beschreibung von Einzelbelegen unabhängig von einer mitunter trotz terminologischer Standardisierungsleistung uneindeutigen sprachlichen Beschreibung möglich wird. Dieser Aspekt ist von besonderer Relevanz bei komplexen Wasserzeichen, die sich aus mehreren Elementen zusammensetzen. Beispielsweise spielt die Reihenfolge der Einzelelementbezeichnungen bei der automatischen Mustererkennung keine Rolle. Auf diese Weise trägt das unten beschriebene Verfahren zusätzlich zu einer exakten Wasserzeichenerschließung bei.

## 2. Visualisierung von Wasserzeichen

Die Visualisierung von Wasserzeichen erscheint auf den ersten Blick sehr einfach. Man hält das Papier zwischen eine Lichtquelle und das Auge und kann mehr oder weniger gut das Wasserzeichen erkennen. Fehlende oder nicht sichtbare Bereiche werden durch das subjektive Wissen des Bearbeiters um und die Erinnerung an ähnliche Wasserzeichen oder durch die Imagination ersetzt. Doch bereits das Fotografieren dieses Wasserzeichens führt dazu, dass einige Bereiche durch Dickenunterschiede des Papiers oder durch Schriftzeichen oder Übermalungen nicht so kontrastreich aufgenommen werden können wie bei modernen, sehr homogenen Papieren ohne störende Beschriftung (Abbildung 1 und 2).

Durch die Entwicklung neuer digitaler Kameras und Bildverarbeitungstechniken wurde die Digitalisierung historischer Texte und Bücher und deren Wasserzeichen stark beschleunigt. So wurden bereits sehr früh verschiedene Kamertypen (Abbildung 2) und Filter genutzt, um unerwünschte Überlagerungen zu reduzieren.

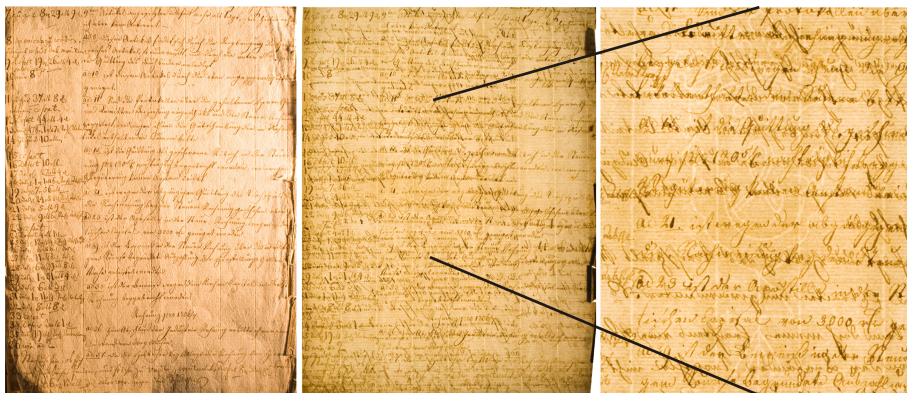


Abbildung 2. Foto eines unsignierten, beidseitig beschriebenen historischen Dokuments von 1811<sup>5</sup> in reflektiertem Streiflicht (links) und im Durchlicht (Mitte). Das rechte Foto zeigt einen vergrößerten Ausschnitt des im Durchlicht unter der Eisengallustinte schwer sichtbaren Wasserzeichens.

Die Fotos in Abbildung 2 wurden mit einer CCD Kamera aufgenommen, deren spektrale Empfindlichkeit vorwiegend im sichtbaren Wellenlängenbereich zwischen 400 nm und 900 nm liegt. Im Gegensatz zu den Fotos in Abbildung 2, die mit breitbandigem, sichtbarem Licht aufgenommen wurden, sind in Abbildung 3 dieselben Fotos nur mit einem schmalbandigen Bandpass-Filter bei 780 nm (links) und bei 830 nm (rechts) aufgenommen worden.

Deutlich sind in den Aufnahmen mit der höheren Wellenlänge weniger Überlagerungen durch die Eisengallustinte zu beobachten und es ist damit ein besserer Kontrast im Bild zu erreichen – das Wasserzeichen ist besser zu erkennen, auch wenn es immer noch von störenden Schriftzeichen überlagert ist.

Diese Beobachtungen legen nahe, Kameras zu nutzen, die im nahen Infrarot-Wellenlängenbereich ihre größte Empfindlichkeit besitzen, um die Überlagerungen z.B. durch Eisengallustinte zu unterdrücken (Kushel 1985). Trotzdem verbleiben oft unerwünschte »Geisterbilder«, die das Wasserzeichen stören.

<sup>5</sup> Das Dokument stammt aus dem Privatbesitz von Dr. Märgner.

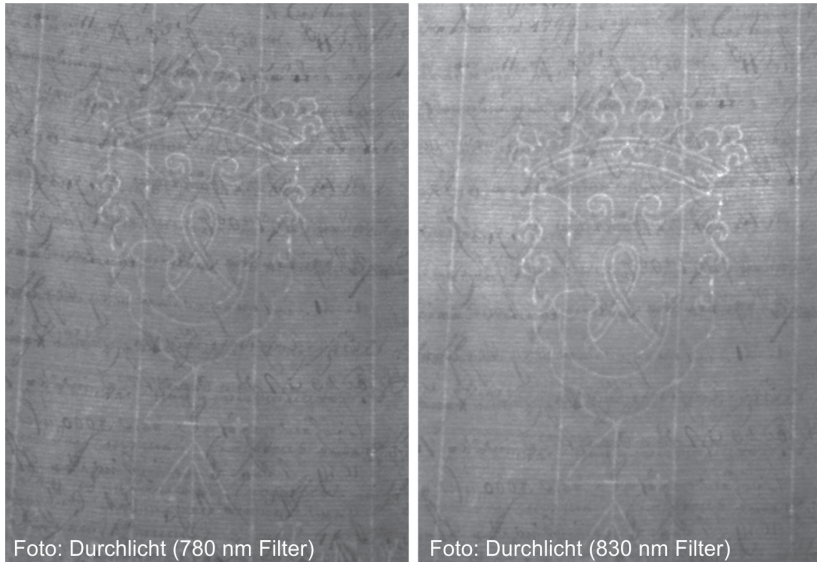


Abbildung 3. Foto des historischen Dokuments aus Abb. 2 im Durchlicht bei der Wellenlänge von 780 nm (links) und 830 nm (rechts).

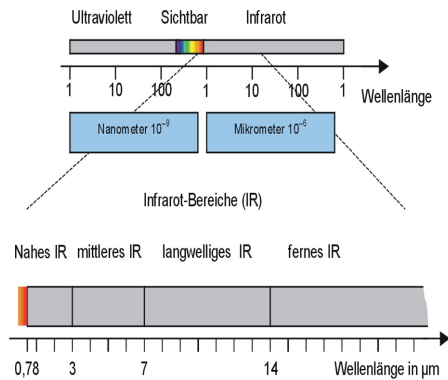


Abbildung 4. Aufteilung des Infrarot-Spektrums in die verschiedenen Wellenlängenbereiche (Meinlschmidt).

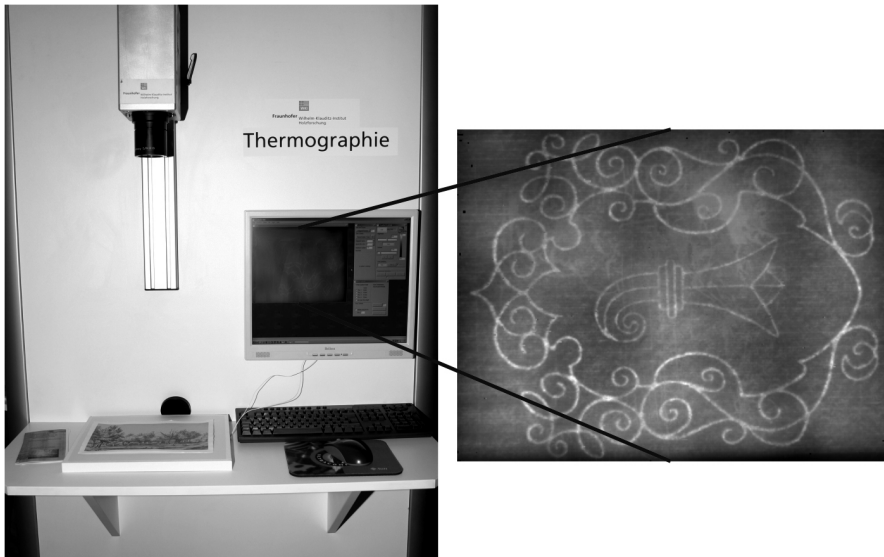


Abbildung 5. Foto der Aufnahmetechnik mit Thermographiekamera, Wärmeplatte und der auf einem Passepartout liegenden Handzeichnung (links). Rechts ist das Wasserzeichen der Handzeichnung ohne störende Überlagerungen zu sehen.

### 3. Visualisierung von Wasserzeichen mit thermischer Infrarot-Strahlung

Im Gegensatz zum nahen Infrarot-Spektrum (Abbildung 4) mit Wellenlängen von  $0,7 \mu\text{m}$  bis  $3 \mu\text{m}$  reicht das thermische mittlere Infrarot-Spektrum (MWIR) von  $3 \mu\text{m}$  bis  $7 \mu\text{m}$  und das langwellige Infrarot-Spektrum von  $7 \mu\text{m}$  bis  $14 \mu\text{m}$  (LWIR).

Die Kameras, die entweder im MWIR- oder im LWIR-Bereich empfindlich sind, werden auch Thermographiekameras oder Wärmebildkameras genannt und können Temperaturunterschiede von wenigen hundertstel Grad Celsius ( $<0,02 \text{ }^\circ\text{C}$ ) wahrnehmen. Die Bilder dieser Kameras (Thermogramme) sind Schwarz-Weiß-Bilder mit einer Informationstiefe von 12 bis 16 Bit Graustufen, die oft zum besseren intuitiven Verständnis in Falschfarben konvertiert werden, bei denen blaue und schwarze Farben kalte und rote Farben warme Bereiche darstellen.

Eine neue Infrarot-Technik zur Visualisierung von Wasserzeichen wurde in Kooperation zwischen dem Fraunhofer-Institut für Holzforschung (WKI) und dem Institut für Nachrichtentechnik (IfN) der Technischen Universität Braunschweig entwickelt (Meinschmidt und Märgner).



Abbildung 6. Aufbau zur thermographischen Aufnahme von Wasserzeichen in einzelnen Seiten aus einem historischen Buch<sup>6</sup>.

Die Methode beruht einerseits darauf, dass viele verschiedene Tinten und Druckfarben im Infrarot-Wellenlängenbereich transparent sind und andererseits diese Strahlung an Papier und Wasserzeichen unterschiedlich absorbiert und gestreut wird.

Für erste Experimente wurde eine Thermographiekamera über einer Wärmeplatte positioniert, die mit einem Passe-Partout als Rahmen versehen war. Auf diesem wurde das Untersuchungsobjekt platziert, ohne die Wärmeplatte zu berühren (Abbildung 5).

Wird die Heizplatte erwärmt, emittiert sie wie ein »Schwarzer Strahler« (Maldague) Infrarot-Strahlung, die das Papier durchdringt und von der Thermographiekamera darüber aufgezeichnet wird.

Da die Strahlung je nach Dicke und Struktur des Papiers unterschiedlich absorbiert bzw. gestreut wird, kann das Wasserzeichen sofort auf einem Monitor beobachtet und auf einem Computer aufgezeichnet werden.

Während der Aufbau in Abbildung 5 für die Untersuchung einzelner Blätter geeignet ist, muss für die Untersuchung eines historischen Buches, insbesondere bei nur sehr kleinen erlaubten Öffnungswinkeln, eine andere Konfiguration verwendet werden (Abbildung 6).

Das Thermogramm in Abbildung 7 (links) zeigt ein Wasserzeichen, das mit der neuen Infrarot-Technik in Abbildung 6 aufgenommen wurde, während es sich in

<sup>6</sup> Königswinter, Pfarre St. Remigius, Missale, fol 154r, Foto: Fraunhofer WKI, Braunschweig.



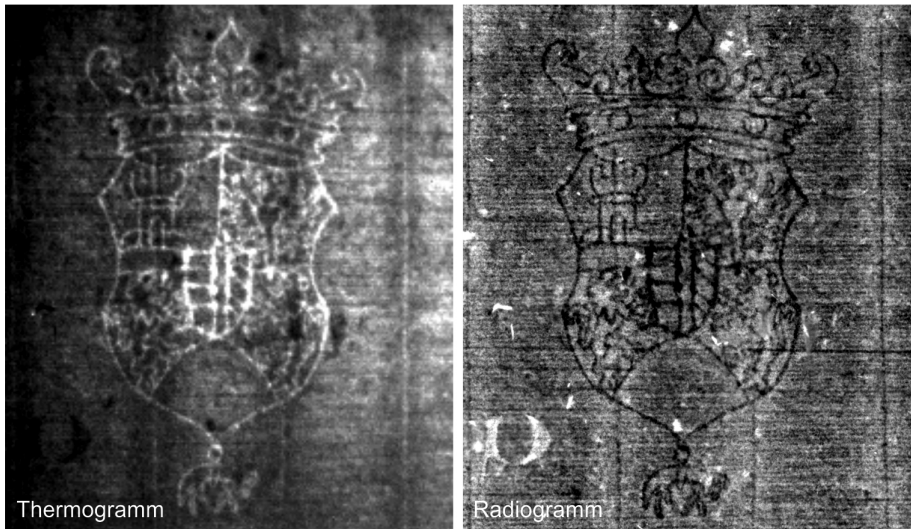


Abbildung 7. Infrarot-Bild (links) und Röntgenbild (rechts) eines Wasserzeichens aus dem Buch<sup>8</sup> in Abb. 6.

der rechten Abbildung um eine Röntgenaufnahme<sup>7</sup> desselben Blattes handelt. Der Kontrast der beiden Wasserzeichen ist ähnlich gut, jedoch sind die Grauwerte durch die unterschiedlichen Techniken invertiert (Neuheuser u.a.).

Für diese Messung wurde die Heizplatte in Abbildung 5 durch eine schwarz mattierte, dünne Kupferplatte ersetzt und von der Rückseite innerhalb von Millisekunden mit einer Blitzlampe erwärmt. Während dieser kurzfristigen Erwärmung wurde die durch das Papier transmittierte Infrarot-Strahlung mit einer Bildaufnahme Frequenz von 130 Hz als Videosequenz aufgezeichnet. Das Bild mit dem besten Kontrast ist in Abbildung 7 (links) zu sehen.

Die Thermogramme wurden mit einer Kamera aufgenommen, die  $384 \times 288$  Pixel besitzt und mit einem Stirlingkühler auf eine Temperatur von  $-196 \text{ }^\circ\text{C}$  abgekühlt wurde,

<sup>7</sup> Aufnahme an einer 320kV-Anlage, kleiner Brennfleck; Röhrenspannung: 290 kV; Dosis: 5 mA; Aufnahmerichtung: Sagittalaufnahme anteriorposterior; Film-Fokus-Abstand: 800 mm; Metallfolie: Blei; Filmtyp: D 4 doppelseitig; Belichtungszeit 2 Minuten (mit Variation einer zweiten Bleifolie zur posterioren Abschwächung); resp. Filmtyp: D 3 einschichtig; Belichtungszeit: 2 Minuten (mit Variation eines 10 mm-Kupfer-Vorfilters). Das Ergebnis waren normale Röntgennegative, welche mit einer Auflösung von  $50 \mu\text{m}$  Pixelgröße von einem Laser-Röntgenfilmscanner digitalisiert wurden.

<sup>8</sup> Elektronenradiographische Aufnahme eines Wappen-Wasserzeichens, erkennbar ist zudem eine Initiale in Minium (Königswinter). Foto: Berlin, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung.



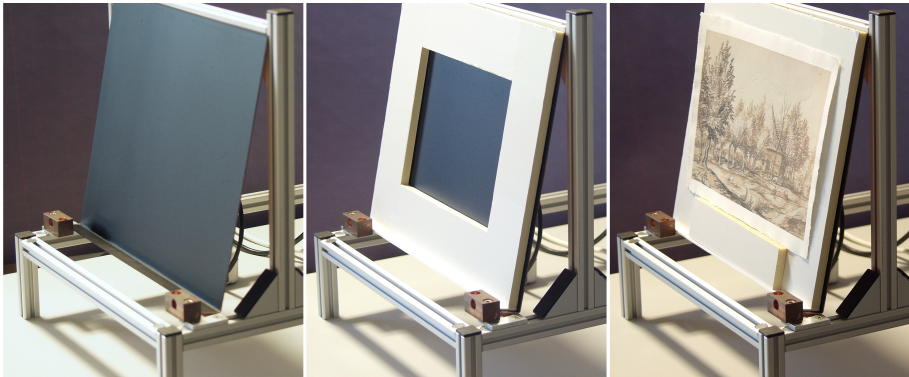


Abbildung 8. Eine schwarz lackierte Kupferplatte mit einer Temperatur von 40 °C dient als Infrarot-Strahler (links), ein Passe-Partout (Mitte) dient zur Einhaltung des passenden Abstands zwischen dem wertvollen Bild und der Heizplatte (rechts).

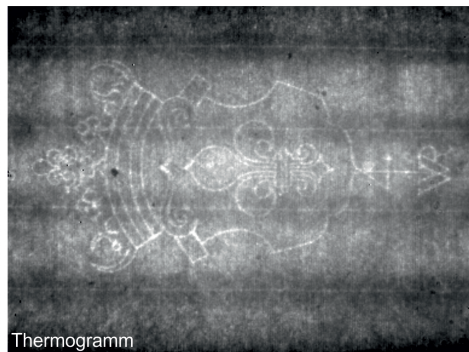


Abbildung 9. Links ein Detail des Bildes aus Abb. 8 (rechts), das zur Kollektion der Alten Meister des Herzog Anton-Ulrich Museums in Braunschweig gehört. Auf der rechten Seite ist das zum Bild gehörende Wasserzeichen zu sehen, das mit der Infrarot-Kamera ohne Interferenz durch die Zeichnung aufgenommen wurde.

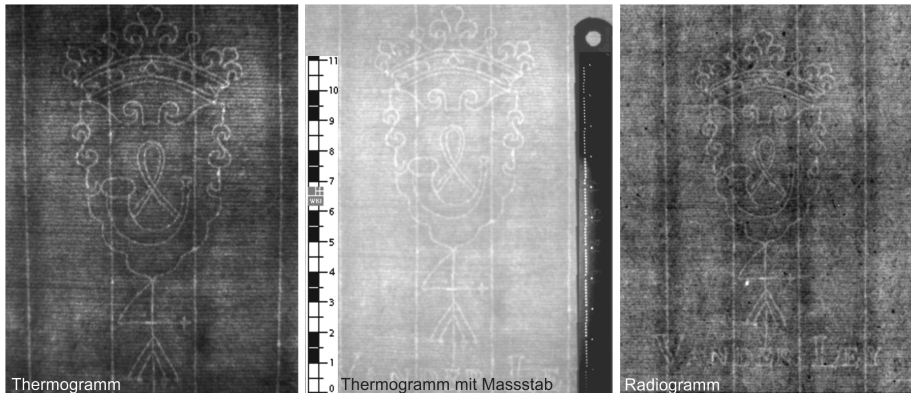


Abbildung 10. Wasserzeichen des Papiers in Abb. 2, aufgenommen mit Infrarot-Technik (links), mit einer Skalierung (Mitte) und mit Röntgentechnik der Firma Viscom (rechts)<sup>9</sup>.

so dass die Ortsauflösung ca. 25  $\mu\text{m}$  bei einer Temperatureauflösung von ca. 20 mK (Ircam; Thermosensorik) erreicht.

Bei der mit Blitzlampen erwärmten Kupferplatte wird der Kontrast und damit die Erkennbarkeit des Wasserzeichens im Wesentlichen durch die Inhomogenität der Hintergrundstrahlung bestimmt. Um den Kontrast zu verbessern, wurde die Vorderseite einer 3 mm dicken Kupferplatte schwarz lackiert und auf die Rückseite eine Heizmatte aufgeklebt (Abbildung 8, links). Ein etwa 10 mm dickes Passe-Partout wurde auf der Heizplatte platziert (Abbildung 8, Mitte), um das wertvolle Untersuchungsobjekt auf Distanz zur Heizplatte zu halten (Abbildung 8, rechts).

Mit einer Thermographiekamera, die vor dem Papier platziert wird, lassen sich qualitativ sehr hochwertige Aufnahmen von Wasserzeichen erzielen, wie in Abbildung 9 zu sehen ist. Hierbei handelt es sich um eine Handzeichnung in brauner Tinte, die vermutlich um 1665 von Jan Lievens<sup>10</sup> hergestellt wurde (Döhring). Bevor das Wasserzeichen aufgezeichnet wurde, war nicht sicher, ob es sich bei der Zeichnung um ein Original aus der Schule Rembrandts handelt oder um eine Reproduktion aus dem 18. Jahrhundert (Laurentius). Das mit Hilfe der Infrarot-Technik gefundene Wasserzeichen bewies eindeutig, dass es sich bei der Handzeichnung tatsächlich um ein Original handelte.

<sup>9</sup> X8011 Röntgen-Inspektionsgerät hergestellt durch die Firma Viscom.

<sup>10</sup> Lievens, Jan, Bauerngehöft am Wasser, um 1665, Rohrfederzeichnung in brauner Tinte, 23,8  $\times$  36,4 cm; Herzog Anton Ulrich-Museum Braunschweig, Kupferstichkabinett, Inv. Nr. Z 103, (Copyright: Herzog Anton Ulrich-Museum, Braunschweig, Museumsfotographie von Claus Cordes).

Das Wasserzeichen in Abbildung 10 (links und Mitte) wurde mit dem Infrarot-System aus Abbildung 8 gewonnen. Die Handschrift, die schemenhaft im nahen Infrarot-Licht (Abbildung 3) noch sichtbar war, ist im MWIR-Spektrum von 3–5  $\mu\text{m}$  völlig unsichtbar.

Falls die Sichtbarkeit eines Wasserzeichens sehr schlecht ist, lässt sich der Kontrast des vollständigen oder auch nur eines Teils des Wasserzeichens verbessern, so dass selbst kleinste Details herausgearbeitet werden können. Hierzu gehört auch ein Maßstab, der entweder nachträglich in das Bild z.B. mit dem Bildbearbeitungsprogramm Photoshop eingefügt wird (Abbildung 10, Mitte, linke Seite) oder auch ein Maßstab, der bei der Aufnahme gleich mit in dem Bild erscheint (Abbildung 10, Mitte, rechte Seite).

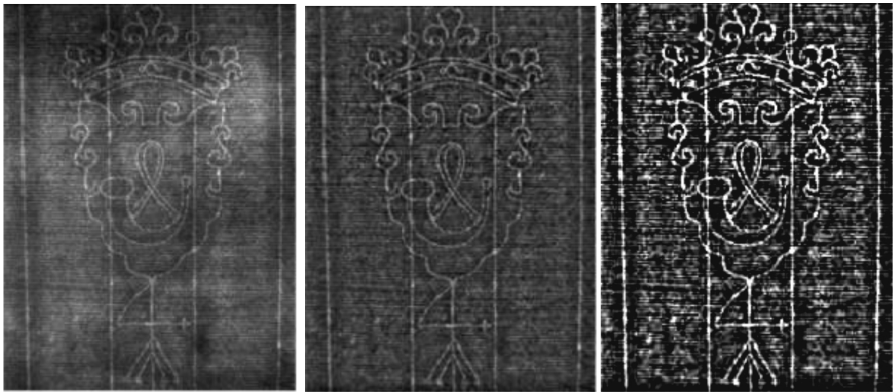
#### 4. Auswerteverfahren

Verschiedenste Wasserzeichensammlungen von unterschiedlicher Herkunft, Detaillierung und unterschiedlichem Umfang sind heute in digitalisierter Form verfügbar. Dabei ist es eine besondere Leistung des »Bernstein-Projektes«, fünf verschiedene, online verfügbare Sammlungen von Wasserzeichen<sup>11</sup> unter einer einheitlichen Oberfläche den Nutzern verfügbar gemacht zu haben. Das »Bernstein-Portal« ermöglicht eine gleichzeitige Suche in den verschiedenen Datenbanken. Die großen Unterschiede in der Qualität der abgenommenen Wasserzeichenbelege (Zeichnung, Durchreibung, Durchlicht, Betaradiographie) und die in unterschiedlicher Detaillierung vorliegenden Informationen zu jedem Wasserzeichen erschweren allerdings eine Suche nach ähnlichen Wasserzeichen, da häufig zu wenig Details sichtbar sind. Ob also das richtige Wasserzeichen gefunden bzw. der richtige Schluss aus dem Vergleich des unbekanntes Wasserzeichens mit den Wasserzeichen der Datenbanken gezogen werden kann, hängt ganz wesentlich von der Erfahrung der jeweiligen Wasserzeichenforscher und deren speziellen Kenntnissen über den Untersuchungsgegenstand ab.

Ein Ausweg aus dieser Unzulänglichkeit kann zum einen durch bessere Wiedergabe der Wasserzeichen mit dem oben vorgestellten neuartigen Verfahren zur Visualisierung mittels Thermographie gelingen, zum anderen bieten insbesondere bei einer verbesserten Bildqualität Verfahren der Mustererkennung Möglichkeiten zu einer leistungsfähigeren Unterstützung bei der Suche nach ähnlichen Wasserzeichen in Datenbanken. Im Folgenden werden systematisch verschiedene Ansätze zur Unterstützung der Suche vorgestellt. Diese Verfahren wurden bisher nur teilweise untersucht bzw. erprobt (Rauber u.a.; Wenger u.a.; Atanasiu; Hiary u.a.). Es ist die Aufgabe weiterer Forschung, geeignete Algorithmen anhand von Testdaten zu entwickeln und in Systeme zu integrieren, die ihre Eignung in Testszenarien beweisen müssen.

---

<sup>11</sup> Über das Bernstein-Portal sind die folgenden Sammlungen verfügbar: [NIKI](#) internationale Datenbank von Wasserzeichen und Papier genutzt für Drucke und Zeichnungen (1450–1800), [Piccard-Online](#) (überwiegend Archiv-Dokumente des 14.–16. Jh.), [WIES](#) – Wasserzeichen in Inkunabeln aus Spanien; [WILC](#) – Wasserzeichen in Inkunabeln aus den Benelux-Ländern, [WZMA](#) – Wasserzeichen des Mittelalters (Österreich, 14. –15. Jh.).



a) Original Thermographiebild

b) korrigiert

c) kontrastverstärkt

Abbildung 11. Darstellung des Wasserzeichens aus Abb. 2 mit einigen Bildbearbeitungsschritten.

Die Vorteile detailreicher, als Bild gespeicherter Wasserzeichen, wie sie z.B. durch thermographische Kameras erzeugt werden können, gegenüber Durchzeichnungen wurden bereits erörtert. Im Folgenden wird auf die Möglichkeit des Einsatzes von Mustererkennung bei den verschiedenen existierenden Repräsentationen von Wasserzeichen eingegangen.

In Abbildung 11 ist das Wasserzeichen des historischen Dokumentes aus Abbildung 2 dargestellt, wie es mit Hilfe der Thermographie völlig ohne den beidseitig aufgebrauchten Text deutlich sichtbar gemacht werden kann. Mit einigen wenigen Bildverarbeitungsschritten kann das Wasserzeichen deutlich hervorgehoben werden, so dass interaktiv durch einen Handschriftenbearbeiter oder -katalogisierer, später auch durch automatische Mustererkennung, wichtige Charakteristika erfasst und der Beschreibung des Wasserzeichens hinzugefügt werden können.

Abbildung 12 stellt einige Merkmale beispielhaft dar. Wichtig hierbei ist, dass zusätzlich zu den Motivinformationen, die der Benutzer aus Wasserzeichenrepertorien und -findbüchern erhält (z.B. Krone, Hifthorn) und dem Wasserzeichen zuordnet, auch automatisch weitere Merkmale und deren relative Positionen im Wasserzeichen, wie z.B. Kreise, Bögen, Ecken oder Geraden, und deren Eigenschaften (z.B. Größe und Ausrichtung) bestimmt und ebenfalls dem Wasserzeichen zugeordnet werden können. Anders als bisher können somit in einem ersten Schritt für ein unbekanntes Wasserzeichen Merkmale automatisch bestimmt werden, die dann in einem zweiten Schritt verwendet werden, um Wasserzeichen mit ähnlichen Merkmalen aus einer digitalen Datenbank herauszusuchen. In einem zukünftigen System könnte dieser

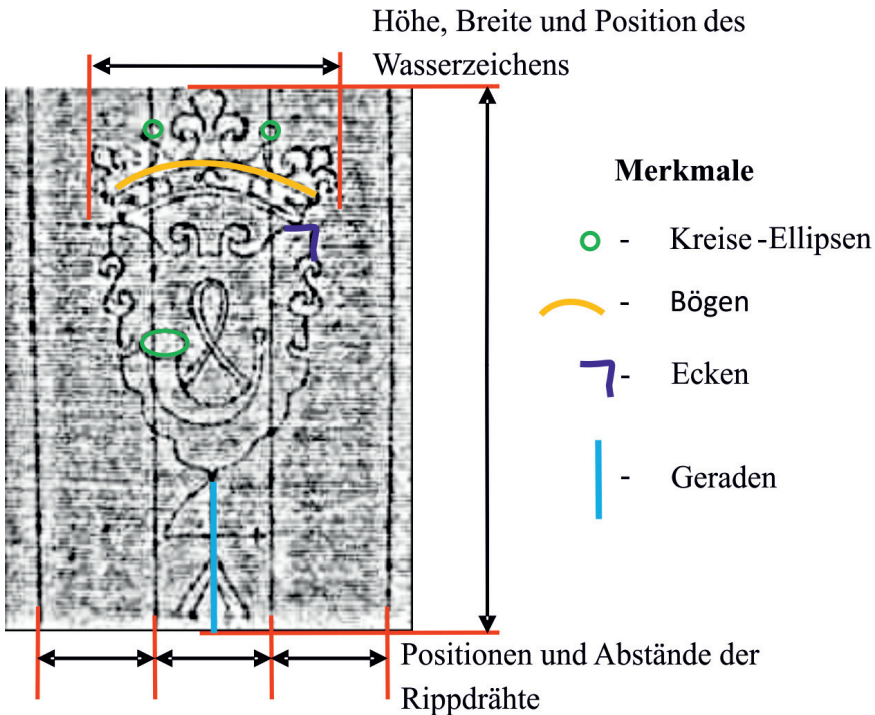


Abbildung 12. Verbessertes, invertiertes Wasserzeichenbild aus Abb. 11 mit beispielhafter Markierung einiger wichtiger Merkmale, die Wasserzeichen charakterisieren.

Suchvorgang (im Idealfall) völlig ohne Eingriff des Benutzers erfolgen. Er würde so ein erstes Suchergebnis liefern, welches unabhängig von externem Expertenwissen gewonnen wird. Erst im zweiten Schritt wird dann der Benutzer das gewonnene Ergebnis bewerten und die Suche weiter verfeinern. Die Erzeugung und die Bereitstellung von Wasserzeichensammlungen mit detaillierteren Merkmalen, die über die bisherigen verbalen und visuellen Beschreibungen hinausgehen, haben somit das Potenzial, die Verwendung von Wasserzeichen für die Erschließung historischer Schriften deutlich zu bereichern und die erzielbaren Ergebnisse zu verbessern.

Hier stellt sich die Frage, wie in der Übergangszeit, in der viele Wasserzeichensammlungen in unterschiedlicher Qualität, von Durchzeichnungen, Durchreibungen, Durchlichtvorlagen, Radiographien bis Thermographien existieren, eine bessere Unterstützung der Suche erfolgen kann. Neben der notwendigen Voraussetzung, die

Sammlungen gemeinsam recherchierbar zu machen, wie es mit dem »Bernstein-Projekt« begonnen wurde, muss für eine standardisierte verbale Beschreibung gesorgt werden, damit eine Suche effizienter werden kann. Auch im vorliegenden Fall heterogener Datensammlungen kann die Bildverarbeitung und Mustererkennung unterstützend wirken, da – insbesondere aus den Durchzeichnungen – ebenfalls Merkmale der Wasserzeichen automatisch extrahiert werden können. Tatsächlich ist die Merkmaldetektion in Zeichnungen zwar einfacher zu realisieren, dafür ist aber die gewonnene Aussagekraft weniger stark, weil die Zeichnung selbst ungenau sein kann und auf der subjektiven Wahrnehmung desjenigen beruht, der das Wasserzeichen auf diese Weise abgenommen hat. So können etwa Details in der Zeichnung nicht notwendig identisch mit Details im Wasserzeichen sein. Hier wird aufgrund der beschriebenen Belegsituation vermutlich nur eine grobe Einordnung möglich sein.

Die hier vorgestellte Möglichkeit, mit Hilfe einer Thermographiekamera schnell und effizient Wasserzeichen in hoher Qualität zu digitalisieren, bildet die Grundlage für die Entwicklung automatischer Mustererkennungsalgorithmen, die eine deutliche Verbesserung der Suchmöglichkeiten in Wasserzeichen-Datenbanken erlaubt. In Ergänzung zu den bereits abgeschlossenen Arbeiten im »Bernstein-Projekt« und zu dem zurzeit laufenden WZIS- Projekt sind hier die Grundlagen geschaffen, um künftige Wasserzeichensammlungen in hoher Qualität digital zu erstellen.

## Bibliographie

- Atanasiu, Vlad. *Assessing paper original and quality through large-scale laid lines density measurements*. XXVI Congress of the Intl. Association of Paper Historians »Paper as medium of cultural heritage. The archaeology and conservation of paper«, 26 August – 6 September 2002, Rome/Verona. Vienna: Austrian Academy of Sciences, 2002.  
<<http://www.bernstein.oeaw.ac.at/ad751/atanasiu2002ad751en.pdf>>.
- Bernstein-Projekt*. Vienna: Austrian Academy of Sciences, 2006–2009.  
<<http://www.bernstein.oeaw.ac.at/>>.
- Döhring, Thomas. *Aus Rembrandts Kreis. Die Zeichnungen des Braunschweiger Kupferstichkabinetts. Ausstellung im Herzog-Anton-Ulrich-Museum Braunschweig, 21. September – 17. Dezember 2006*. Petersberg: Imhof, 2006.
- Haidinger, Alois. »Datieren mittelalterlicher Handschriften mittels ihrer Wasserzeichen.« *Anzeiger der philosophisch-historischen Klasse der Österreichischen Akademie der Wissenschaften* 139 (2004): 5–30. doi:10.1553/anzeiger139s5.
- Hay, Louis. »Papiergeschichte, eine Hilfswissenschaft? Ein Ja und ein Nein.« *Papiergeschichte als Hilfswissenschaft*. 23. Kongreß der Internationalen Arbeitsgemeinschaft der Papierhistoriker, Leipzig 31. August 1996. Hg. René Teygeler. Leipzig: Deutsche Bücherei, 1996. 17–22.
- Hedges, Blair S. »A method for dating early books and prints using image analysis.« *Proceedings of the Royal Society A* 462 (2006): 3555–3573.



- Hiary, Hazem und Kia Ng. »Watermark: From Paper Texture to Digital Media.« *axmedis. Proceedings of the First International Conference on Automated Production of Cross Media Content for Multi-Channel Distribution (AXMEDIS'05)*. Los Alamitos: IEEE Computer Society, 2005. 261–264. doi:10.1109/AXMEDIS.2005.50.
- Ircam. 2009. <[http://www.ircam.de/produkte/kamera\\_anzeigen\\_d.php?id=88](http://www.ircam.de/produkte/kamera_anzeigen_d.php?id=88)>.
- Jaffé, Albert. »Zur Geschichte des Papierses und seiner Wasserzeichen. Eine kulturhistorische Skizze unter besonderer Berücksichtigung des Gebietes der Rheinpfalz.« *Pfälzische Heimatkunde* 3/4 (1930): 21–23.
- Kämmerer, Carmen. *Ars longa, vita brevis: Zeichenkunst im Alten Buch. Exlibris, Druckersignete und Wasserzeichen aus den Beständen der Stadtbibliothek Worms. Ausstellung der Stadtbibliothek Worms vom 23. Oktober 2008 – 22. November 2008*. Worms: Worms Verlag, 2008.
- Klinke, Thomas. »Die dritte Dimension. Methoden zur Feststellung technologischer Merkmale an historischen Künstlerpapieren und die Relevanz ihrer Erhebung.« *Journal of Paper Conservation* 4 (2009): 28–37.
- Kushel, Dan A. »Application of Transmitted Infrared Radiation to the Examination of Artifacts.« *Studies in Conservations* 30 (1985): 1–10.
- Kushel, Dan A. »Radiographic Methods Used in the Recording of Structure and Watermarks in Historic Papers.« *Fresh Woods and Pastures New, Seventeenth-Century Dutch Landscape Drawings from the Peck Collection*. Hrsg. Franklin W. Robinson und Sheldon Peck. Chapel Hill: Auckland Art Museum, 1999. 117–133.
- Lackner, Franz. »Barolus de Saxoferrato.« *Ochsenkopf und Meerjungfrau. Papiergeschichte und Wasserzeichen vom Mittelalter bis zur Neuzeit. Begleitbuch und Katalog zur Ausstellung des Landesarchivs Baden-Württemberg, Hauptstaatsarchiv Stuttgart und der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Kommission für Schrift- und Buchwesen des Mittelalters, Wien*. Stuttgart: Hauptstaatsarchiv und Wien: Österr. Akad. der Wiss., Komm. für Schrift- und Buchwesen des Mittelalters, 2009. 10–11.
- Laurentius, Theo. »Het onderzoek naar Rembrandt's papier. The investigation into Rembrandt's paper.« *Voelbaar papier: papierkunst in Nederland – Tactile paper*. Houten: Ekspress-Zo, 1996. 112–119.
- Maldague, Xavier P. V. *Theory and practice of infrared technology for non-destructive testing*. New York: Weinheim, 2001.
- Meinlschmidt, Peter. *Thermographie zur Detektion oberflächennaher Fehler – Grundlagen – Möglichkeiten – Grenzen – Anwendungen. SEF Abschlussbericht*. 2004.
- Meinlschmidt, Peter und Volker Märgner. *Erkennung von Dicken- und Dichteunterschieden in transparenten und halb-transparenten Materialien mittels Thermographie. Patentanmeldung DE 10 2008 016 195 B3*. 2008.
- Neuheuser, Hanns Peter, Volker Märgner und Peter Meinlschmidt. »Wasserzeichendarstellung mit Hilfe der Thermographie.« *ABI-Technik* 4 (2005): 266–278.
- Niki. Bad Neuenahr: Dutch University Institute for Art History / DiWe Media, 2010. <<http://www.wm-portal.net/niki/index.php>>.
- Piccard, Gerhard. »Die Wasserzeichenforschung als historische Hilfswissenschaft. Mit 25 Abbildungen.« *Archivalische Zeitschrift* 52 (1956): 62–115.

- Piccard, Gerhard. »Problematische Wasserzeichenforschung.« *Börsenblatt für den Deutschen Buchhandel* 61 (1965): 1546–1548.
- Piccard-Online. Stuttgart: Landesarchiv Baden-Württemberg.  
<<http://www.piccard-online.de/start.php>>.
- Rauber, Christian et al. »Archival and retrieval for Large Image Databases: Application to an Historical Watermarks Archive.« *Proceedings of IEEE International Conference on Imaging Processing*, Lausanne (1996): 19–25.
- Thermosensorik. 2009. <[http://www.thermosensorik.de/produkte\\_03.htm](http://www.thermosensorik.de/produkte_03.htm)>.
- Weiß, Wisso. »Die Bedeutung der Wasserzeichenkunde für die Geschichtsforschung.« *Archivmitteilungen* 1 (1955): 18–25.
- Wolf, Christina. »Aufbau eines Informationssystems für Wasserzeichen in den DFG-Handschriftenzentren.« *Kodikologie und Paläographie im Digitalen Zeitalter*. Hrsg. Malte Rehbein, Patrick Sahle und Torsten Schaßan. Norderstedt: BoD, 2009. 97–107.  
<<http://kups.ub.uni-koeln.de/volltexte/2009/2963>>.
- Wenger, Emanuel et al. »A Digital Image Processing and database System for Watermarks in Medieval Manuscripts.« *Proceedings from the ichim01 meeting »Cultural Heritage and Technologies in the Third Millennium«*, September 3–7 2001, Milano, Italy. Band 2 (2001): 259–264. <[http://www.archimuse.com/publishing/ichim01\\_vol2/wenger.pdf](http://www.archimuse.com/publishing/ichim01_vol2/wenger.pdf)>.
- WIES: *Watermarks in Incunabula Printed in Spain*. Vienna: Austrian Academy of Sciences, 2007.  
<<http://www.bernstein.oeaw.ac.at/databases/wies/index.html>>.
- WILC: *Watermarks in Incunabula printed in the Low Countries*. Koninklijke Bibliotheek - National library of the Netherlands, 2000–2007. <<http://www.kb.nl/bc/incun/watermerken-en.html>>.
- WZIS-Projekt: *Wasserzeichen-Informationssystem Deutschland*. Stuttgart: Landesarchiv Baden-Württemberg und Württembergische Landesbibliothek / München: Bayerische Staatsbibliothek / Leipzig: Universitätsbibliothek / Wien: Österreichische Akademie der Wissenschaften.  
<<http://www.landearchiv-bw.de/web/50960>>.
- WZMA: *Wasserzeichen des Mittelalters*. Wien: Österreichische Akademie der Wissenschaften, 2007. <<http://www.oeaw.ac.at/ksbm/wz/wzma2.htm>>.