

Jens Schröter; Ludwig Andert; Carina Gerstengarbe; Karoline Gollmer;  
Katharina Lang; Daniel Köhne; Doris Ortinau; Anna Schneider; Xun Wang  
**Kulturen des Kopierschutzes II. Ein Vorwort**  
2010

<https://doi.org/10.25969/mediarep/646>

Veröffentlichungsversion / published version  
Zeitschriftenartikel / journal article

### Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Schröter, Jens; Andert, Ludwig; Gerstengarbe, Carina; Gollmer, Karoline; Lang, Katharina; Köhne, Daniel; Ortinau, Doris; Schneider, Anna; Wang, Xun: Kulturen des Kopierschutzes II. Ein Vorwort. In: *Navigationen - Zeitschrift für Medien- und Kulturwissenschaften*, Jg. 10 (2010), Nr. 2, S. 7–8. DOI: <https://doi.org/10.25969/mediarep/646>.

### Erstmalig hier erschienen / Initial publication here:

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:467-5698>

### Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer Deposit-Lizenz (Keine Weiterverbreitung - keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

### Terms of use:

This document is made available under a Deposit License (No Redistribution - no modifications). We grant a non-exclusive, non-transferable, individual, and limited right for using this document. This document is solely intended for your personal, non-commercial use. All copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute, or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the conditions of use stated above.

# WASSERZEICHEN

Vom 13. Jahrhundert  
bis zum Digital Watermarking

VON CARINA GERSTENGARBE, KATHARINA LANG  
UND ANNA SCHNEIDER

Nichts geht häufiger durch unsere Hände als Geld – rund 330 Millionen Menschen bezahlen täglich mit Euro-Banknoten, welche nicht zuletzt aufgrund der eingefügten Wasserzeichen zu den sichersten der Welt zählen. Im Gegenlicht betrachtet weist dieses in 16 EU-Mitgliedsstaaten<sup>1</sup> eingeführte Papiergeld im unbedruckten Bereich beidseitig das jeweilige Architekturmotiv des Geldscheins sowie die entsprechende Wertzahl als Wasserzeichen auf. Diese aktuell bekannteste Verwendung von Wasserzeichen dient, wie allgemein bei Wertpapieren, in erster Linie dem Nachweis von Authentizität und damit maßgeblich der Fälschungssicherheit. Noch heute täglich im Einsatz, blicken Wasserzeichen dabei auf eine mehr als 700 Jahre alte Geschichte zurück (vgl. Weiss 1986).

Erstmals treten Wasserzeichen im 13. Jahrhundert in Verbindung mit Papier in Italien auf. Als schwächere Hintergrundbilder sind sie bei der zeitgenössischen Papierherstellung als Herkunfts- bzw. Qualitätsmerkmale ins Papier eingebracht. Somit kennzeichnen sie seit den Anfängen der Papierproduktion in Europa, die vermutlich bis ins 12. Jahrhundert zurückreicht, durch das zusätzliche Anbringen von Namen, Initialen und Monogrammen Herstellungsort sowie Produktionsbetrieb des jeweiligen Papiers. Modern formuliert könnte hier von Firmenlogos gesprochen werden. Im Laufe der Zeit dienen ebendiese auch als Sorten- und Formatbezeichnung, signalisieren gehobene Schreibpapierqualitäten und legen Zeugnis über die Echtheit von Wertpapieren und Urkunden ab.

Mit Beginn industriell hergestellter Maschinenpapiere verschwinden die Wasserzeichen zunächst vom Papier, da es aufgrund der raschen technologischen Entwicklung der Papiermaschine immer schwieriger wurde, Wasserzeichen makellos und preisgünstig zu fertigen. Die Bedeutung des Wasserzeichens als Informationsträger im Papier wurde aus seinem bisherigen traditionellen Verwendungszusammenhang gelöst und seit Anfang des 19. Jahrhunderts bis auf die Verwendung als Kopierschutz bei Banknoten weitgehend marginalisiert.

Der Grundgedanke der Sicherung der Urheberschaft von Papiererzeugnissen durch Wasserzeichen nimmt in der modernen digitalen Welt gleichermaßen Einfluss auf den Kopierschutz von Datenmaterial. Sog. *Digitale Wasserzeichen* werden direkt in Mediendateien eingefügt und dienen somit dem Nachweis der Fäl-

---

<sup>1</sup> Mit dem Beitritt der Slowakei zur europäischen Gemeinschaftswährung im Januar 2009 umfasst der Euro-Raum 16 Mitgliedsstaaten; somit ist der Euro derzeit für rund 330 Millionen Menschen in Europa einheitliches Zahlungsmittel (vgl. Schöberl 2009).

schungssicherheit der Ursprungsdaten. Im Gegensatz zu papierbasierten Wasserzeichen geschieht dies normalerweise für den Benutzer in nicht wahrnehmbarer Weise. Das Interesse am Einsatz digitaler Wasserzeichen ist hierbei kommerziellen Ursprungs und soll der Verhinderung bzw. Identifikation illegaler Kopien zuträglich sein.

Vor dem Hintergrund eines wirtschafts- und technikgeschichtlichen Ansatzes ist es das Ziel dieses Textes, Grundlagen, Verfahren und Anwendungen von Wasserzeichen in verschiedenen historischen Kontexten aufzuzeigen. Zu diesem Zweck ist der Text in drei Teile gegliedert: In einem *ersten Teil* soll die Entstehung und Herstellung von Wasserzeichen in der Papiergeschichte nachgezeichnet werden. Um das ursprüngliche Aufkommen, die Arten und Verwendungszwecke des Wasserzeichenpapiers und der Wasserzeichen zu klären, werden Papiermarken nicht nur technikgeschichtlich, sondern auch hinsichtlich ihrer ästhetischen bzw. gestalterischen Wandlung untersucht.

Daran anschließend wird im *zweiten Teil* auf die wohl bekannteste Anwendung von Wasserzeichen, nämlich auf Banknoten, eingegangen. Hierzu wird zunächst ein historischer Abriss erfolgen, um die Entwicklungsgeschichte der Wasserzeichen auf Banknoten darzustellen. Nachfolgend wird zum einen die Herstellung der Euro-Banknote allgemein, zum anderen die Herstellung des Wasserzeichens als sicherstes aller fälschungshemmenden Sicherheitsmerkmale explizit zum Thema gemacht.

Im *dritten Teil* folgt schließlich eine Auseinandersetzung mit der wohl modernsten Form von Wasserzeichen. Einleitend sollen hier die Grundlagen des *Digital Watermarking* herausgearbeitet werden, um im Anschluss auf verschiedene Anwendungsmöglichkeiten für digitale Wasserzeichen unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Medienarten digitaler Güter eingehen und deren Vor- und Nachteile skizzieren zu können. Zum Abschluss der Arbeit wird resümierend der aktuelle Forschungsstand aufgezeigt sowie ein Blick in die Zukunft unternommen.

## I ENTSTEHUNG UND HERSTELLUNG VON WASSERZEICHEN IM HISTORISCHEN KONTEXT DER PAPIERGESCHICHTE

»Beim Betrachten von Papier, vornehmlich handgeschöpftem, scheint [...] plötzlich eine eigene Welt auf, hell sichtbar treten Zeichen hervor, in jedem einzelnen Blatt. Papier in seiner Leichtigkeit und Zerstörbarkeit, in seiner Allgegenwärtigkeit und scheinbaren Belanglosigkeit hat das enorme Potential der Wasserzeichen in sich, einer Wahrnehmungsebene und Informationsplattform  
im Material selbst.«

Gangolf Ulbricht (2000: 39)

## 1.1 WASSERZEICHEN DES MITTELALTERS

Die Beschäftigung mit Wasserzeichen im geschichtlichen Kontext muss bei einer Auseinandersetzung mit dem interdisziplinären Forschungsfeld der Papiergeschichte<sup>2</sup> ansetzen. Der chinesische Hofbeamte Tsai Lun, der im Jahr 105 unserer Zeitrechnung erstmals ein Verfahren zur Papierherstellung aus Lumpen- und Pflanzenfasern beschrieb, gilt nach Überlieferungen der chinesischen Kaiserchronik als Erfinder des Papiers im heutigen Sinne. Erst über tausend Jahre später diffundierte die Kunst der Papierherstellung über den Orient und Nordafrika in den europäischen Kulturkreis, wo für diesen bedeutenden Schriftträger der Name »Papier«<sup>3</sup> geprägt wurde. Die älteste bekannte europäische Papierhandschrift entstand im spanischen Kloster Silos noch auf importiertem arabischem Papier und kann aufgrund von Nachforschungen des Papierhistorikers Peter F. Tschudin noch vor 1036 datiert werden. Schon kurze Zeit später – laut Tschudin wohl bereits vor 1150 – wurde in Spanien und in den Jahren vor 1230 auch in Italien die Papierherstellung im eigenen Land aufgenommen (vgl. Tschudin 2002: 98ff.). Als ältester nördlich der Alpen erhaltener Papierkodex gilt das ab 1246 geführte Registerbuch Albert Behaims aus dem bayerischen Kloster Aldersbach, verfasst auf importiertem südeuropäischen Papier. Die Produktion von Papier wurde im damals deutschsprachigen Raum erstmals 1390 in der »Gleismühl«, einer umgebauten alten Kornmühle des Handelsherrn Ulman Stromer in Nürnberg, aufgenommen. Weitere Papiermühlengründungen folgten 1391 in Ravensburg, 1468 in Augsburg, 1477 in Kempten, 1481 in Memmingen, 1482 in Ettlingen, 1486 in Reutlingen und 1489 in Landshut (vgl. Kämmerer 2009a: 12).

Seit diesem Siegeszug der Papierherstellung<sup>4</sup> im Mitteleuropa des 15. Jahrhunderts sollte Papier als bedeutendster Schriftträger bis in unsere Zeit fungieren. Die Erfindung des Buchdrucks 1445 durch Johannes Gutenberg und das folgende Zeitalter der Aufklärung ließen den Bedarf an Papier weiter stark ansteigen – oder, wie Gertraude Spoer festhält:

»Seitdem begleitet Papier die Menschheit in guten und in bösen Zeiten; es ist Mittler ihres Geistes, Träger ihrer Gedanken, auch ihrer Hoffnungen, Verbreiter ihrer Erfindungen und revolutionären Ideen und des Traumes vom dauerhaften Frieden.« (Spoer 1987: 7)

- 
- 2 Die Wasserzeichenforschung hat sich in den vergangenen 55 Jahren zu einer eigenständigen Disziplin der Papiergeschichte entwickelt, was sich in der zahlreich vorhandenen Literatur zu diesem Thema seit den 1950er Jahren widerspiegelt.
  - 3 Das lateinische Wort *papyrus*, abgeleitet vom Griechischen *pápyros*, die ägyptische Papyrusstaude, wird im Französischen und somit im europäischen Sprachgebrauch zu *papier*, im Englischen sowie Schwedischen zu *paper* (vgl. Schwenck 1934: 462).
  - 4 Ab dem 13. Jahrhundert hatte die Verbreitung der Papierproduktion in Europa die allmähliche Verdrängung des zuvor gebräuchlichen, teureren Schriftträgers, des Pergaments, zur Folge. Die Gründung von Papiermühlen trieb diesen Prozess schließlich wesentlich voran.

Im Zuge der Industrialisierung hat sich die Papierproduktion Ende des 19. Jahrhunderts grundlegend verändert, und die Bedeutung der in Papier eingebrachten Wasserzeichen – bis auf eben jene in Banknoten – weitgehend marginalisiert (vgl. Rückert 2009: 9). Aufgrund der aktuellen Veränderungen der Kommunikationsstrukturen durch die Einführung elektronischer Medien wird die Bedeutung des Papiers zwar zunehmend geringer, Wasserzeichen hingegen erleben – wie bereits eingangs erläutert – gerade seit den letzten Jahren wieder ein regelrechtes *Revival* im digitalen Bereich. Die traditionellen analogen Sicherungsmedien wie Papier und Film werden zunehmend von einer elektronischen Speicherung auf unterschiedlichen Datenträgern ersetzt, obwohl für diese keine Erfahrungswerte hinsichtlich ihrer Haltbarkeit bestehen. Die im Mittelalter gefertigten Papiere und ihre Wasserzeichen stellen dagegen »bei professioneller Aufbewahrung und adäquatem Umgang normalerweise keine konservatorischen Probleme dar« (Rückert 2009: 9)<sup>5</sup>, was auch die entsprechend lange Tradition der international betriebenen Papier- und Wasserzeichenforschung erklärt.

Bereits im Mittelalter war der Einsatz von Wasserzeichen bei der Papierproduktion im Bewusstsein der Menschen verankert, wie schon früh der *Tractatus de insignis et armis*<sup>6</sup> des seinerzeit großen Rechtsgelehrten Bartolo da Sassoferrato deutlich macht. In dieser Schrift von 1350 erwähnt Sassoferrato Wasserzeichen erstmals in der Literatur und betrachtet diese »unter rechtlichen Gesichtspunkten als Geschäftsmarken, die an die Werkstätte gebunden und vor Nachahmung zu schützen sind« (Ulbricht 2000: 40). Dabei bezieht er sich in seinen Ausführungen auf die italienische Stadt Fabriano, in der jedes Blatt Papier sein Zeichen habe, an dem die jeweilige Werkstätte erkannt werden könne (vgl. Renker 1950: 113). Das Wasserzeichen wurde also nicht zu rein dekorativen Zwecken in das Papier eingebracht, sondern um – ähnlich wie auch Steinmetze oder Goldschmiede ihre Werke signierten – ein Markenzeichen zu schaffen. Das Außergewöhnliche an Wasserzeichen ist dabei die Tatsache, dass die Zeichen nicht auf den ersten Blick sichtbar auf dem erzeugten Stoff angebracht wurden, sondern sich dem Betrachter erst durch genaues Hinsehen erschlossen.

---

5 Dagegen wurden ab Mitte des 19. Jahrhunderts säurehaltige Papiere hergestellt, die einem langsamen, aber irreversiblen Alterungsprozess unterliegen; die Zellulosefasern werden mit der Zeit zersetzt, das Papier spröde und brüchig und zerfällt schließlich zu Staub. Erst 1962 gelang es, eine neutrale Leimung in der Massenproduktion von Papier einzusetzen (vgl. Will 2002: 260f.).

6 In dem Traktat über die Insignien/Zeichen/Marken und Wappen schildert der italienische Rechtsgelehrte Bartolus da Sassoferrato (1314-1357) die Papiermacherei in Fabriano und führt aus: »Et ut videamus, hic quodlibet folium chartae habet suum signum, per quod significatur, cujus aedificii aut molendini est charta. Dic ergo quod isto casu apud illum remanebit signum, apud quem remanebit aedificium ipsum. (Und so sehen wir, dass jedes Blatt Papier hier sein Zeichen hat, durch das angegeben wird, aus welcher Werkstätte oder Papiermühle es stammt. Nach dem Recht verbleibt daher in jedem Fall das Zeichen dem, bei dem auch die Mühle verbleibt)« (Ulbricht 2000: 40).

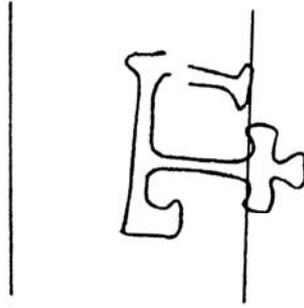


Abb. 1: Buchstabe F – ältestes bekanntes Papierzeichen der Welt, Cremona 1271. Aufgenommen von Theodor Gerardy (1975: 51).

Das älteste bekannte Wasserzeichen wird von der Forschung heute auf das Jahr 1271 datiert. Es wurde in Cremona (Italien) verwendet und stellt den Buchstaben F dar (vgl. Abb. 1). Die Publikation des erst 1954 in drei auf 1271 datierten Blättern gefundenen Papierzeichens erfolgte in einer Festschrift der Papierfabrik *BURGO*, die aus Anlass ihres 50jährigen Firmenbestehens 1955 in Mailand gedruckt wurde (vgl. Gerardy 1975: 51).

Zuvor war der Schweizer Papierhändler Charles-Moïse Briquet von einem griechischen Kreuz aus dem Jahr 1282<sup>7</sup>, das in Bologna angewendet wurde, als ältestes Wasserzeichen ausgegangen. Ob nun ein Buchstabe oder ein Kreuz, Fakt ist, dass am Beginn seiner Geschichte ein Wasserzeichen aus Oberitalien und somit aus Europa steht und nicht etwa – wie zunächst angenommen werden könnte – aus China, wo auch die Papierherstellung ihren Ursprung hat (vgl. Gerardy 1975: 51f.). Die Tatsache, dass kein älteres Papier aus dem fernöstlichen Kulturkreis Wasserzeichen aufweist, ist einerseits auf religiöse Motive und andererseits auf seine Herstellungstechnik zurückzuführen (vgl. Beyerling 1940: 16). Seit seiner Erfindung spielt Papier in China eine herausragende Rolle – es wird als Geschenk der Götter, als heiliges Gut angesehen (vgl. Exner 1889: 155). Somit verbietet dieses Sakrileg die Identifizierung des »einfachen Papiermachers« mit seinem Erzeugnis durch das Anbringen von Wasserzeichen. Daneben machte die in China angewandte Technik der Papierherstellung das Einbringen von Wasserzeichen schlichtweg unmöglich:

7 Dieses Kreuz aus dem Jahr 1282 wird auch heute noch in zahlreichen literarischen Quellen als erstes Wasserzeichen genannt. Dies mag vielleicht daran liegen, dass das von 1271 aus Cremona stammende Papier mit dem Wasserzeichen, das den Buchstaben »F« darstellt, erst im Jahr 1954 gefunden wurde und daher von einigen Forschern angezweifelt wird bzw. in früheren, zum Teil noch vor diesem Datum entstandenen Sammlungen bekannter Wasserzeichenforscher, wie Karl Theodor Weiss, Wisso Weiss, Theodor Gerardy und Gerhard Piccard nicht auftritt, deren Arbeiten zur gegenwärtigen wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit diesem Thema aber hauptsächlich herangezogen werden.

»Aus Seidenabfällen einerseits, der Rinde des Maulbeerbaums, China-gras (Ramie), Hanf, Lumpen und alten Fischernetzen andererseits wurde Papiermasse gewonnen. Durch Einweichen und Schlagen der zerkleinerten Pflanzenbestandteile oder Textilabfälle erhielt man eine mit Wasser versetzte Fasersuspension, die über eine Bambusmatte gestrichen nach dem Trocknen an der Luft ein dünnes, dabei aber zähes Vlies ergab. Die Papierherstellung wurde regional unterschiedlich gehandhabt und änderte sich nach und nach. So lernte man ein Sieb einzutauchen und aus dem dünnen Papierbrei heraus zu schöpfen, und man lernte das noch nasse Vlies vom Sieb abzuziehen, so daß die Siebe schneller wieder verfügbar wurden.« (Hanebutt-Benz 1999: 390)

Trotz der Innovation der Siebtechnik waren auf den Bambusgeflechten keine erhabenen Teile haltbar anzubringen, die der gesamten Abrollung<sup>8</sup> des Papiers vom Sieb auf ein Brett oder Tuch standgehalten hätten (vgl. Renker 1950: 106). Daher ließen sich bei dieser Art der Papierherstellung keine Wasserzeichen im heutigen Sinne hervorbringen.

Im Europa des 13. Jahrhunderts standen zur Papierherstellung dagegen keine Bambuspflanzen zur Verfügung, weshalb das zeitgenössische Handwerk dazu überging, für die Produktion von Papier das vertraute Erzeugnis Kupferdraht zu verwenden.<sup>9</sup> Statt flexibler Bambusmatten, wie sie zum Schöpfen in Asien Verwendung fanden, wurden starre Holzrahmen fest mit »Metallsieben« bezogen, was die Haltbarkeit der Schöpfsiebe wesentlich erhöhte und das Anbringen von Drahtfiguren zur Herstellung von Wasserzeichen ermöglichte (vgl. Ulbricht 2000: 39f.). Aufgrund dieser technischen Voraussetzung treten Wasserzeichen im europäischen Mittelalter also erst recht spät auf.

Über die Frage, zu welchem Zweck das Wasserzeichen eingeführt wurde, sind die Fachleute bis heute geteilter Meinung.

»Daß die Anbringung aber – nach einem vielleicht einzigen Zufall und anregendem Beispiel – als nützlich und vorteilhaft befunden worden sein muß, ergibt sich aus der schnellen und allgemeinen Einbürgerung dieser Handwerks- oder Kunstgepflogenheit, die unter veränderten Verhältnissen in der Zeit des Maschinenpapiers imitiert wurde und in der gesamten Kulturwelt teilweise bis heute fortbesteht.« (Weiss/Weiss 1962: 3)

- 
- 8 Das Siebgeflecht, wie es in Asien Verwendung fand, bestand aus flexiblen Bambusstäben, die durch Seidenfäden miteinander verbunden waren. Nach dem Schöpfvorgang wurde die Form mit dem Papierblatt nach unten auf eine Unterlage gelegt und das biegsame Bambusgeflecht vom Papierblatt abgerollt.
- 9 Zudem galt Papier im Westen keinesfalls als heiliges Gut, wie das rund 1000 Jahre zuvor in China der Fall war. In Europa wurde Papier schnell zum Artikel des täglichen Gebrauchs. Es diente vorwiegend zum Beschriften, Bedrucken und Verpacken.



Abb. 2: Schöpfer, Gautscher und Leger bei der Arbeit; im Hintergrund das Lumpenstampfwerk. Nach einem Holzschnitt von 1689 (Weiss/Weiss 1962: 28).

Auch wenn an dieser Stelle nicht alle Deutungen zur Entstehung des Wasserzeichens, die innerhalb der letzten Jahrhunderte gemacht wurden, besprochen werden sollen, ist dennoch auf die Ansicht des Paläographen Rudolf Forrer hinzuweisen. Dieser geht nämlich davon aus, dass die Wasserzeichen mit großer Wahrscheinlichkeit heraldische Zeichen bzw. Embleme ersetzen, die vor allem in Frankreich neben dem Namenszug zur besonderen Beglaubigung von wichtigen Schriftstücken Verwendung fanden:

»Die fürstlichen bzw. geistlichen Personen ließen ihren Bedarf an Kanzleipapier in bestimmten Papierfabriken herstellen und setzten ihre Embleme als Kennzeichen ihrer Spezialmarken fest. Nur so ist das gleichzeitige Verschwinden jener die Unterschrift vertretenden ›Handmale‹ und das Aufkommen der Wasserzeichen zu erklären.«  
(Wolbe 1923: 146f.)

Neben der Einführung der mit Drahtgeflechten bespannten Schöpfsiebe erleichterte eine weitere technische Neuerung das Handwerk der europäischen Papiermacher: Das Zerstampfen der in Europa verwendeten Leinenlumpen oder Hadern wurde nicht mehr wie rund tausend Jahre zuvor im asiatischen Raum von Hand in Steinmörsern besorgt, sondern in einem vom Wasserrad der Papiermühle betriebenen »Stampfgeschirr«. Das Stampfwerk bestand aus einem ausgehöhlten Baumstamm, der durch Eisenplatten unterteilt war und von Wasserkraft, in

seltenen Fällen auch von Windkraft angetrieben wurde. Messerartige Schienen sorgten im Stampfgeschirr – das sich aufgrund des Lärms meist gut abgeschirmt von der Mühle in einem sog. Stampfkeller befand – dafür, dass die Lumpen immer weiter zerkleinert wurden. Der so entstandene Faserbrei wurde unter starker Wasserverdünnung in sog. »Bütten«, große Stein- oder Holzwannen gefüllt, aus denen mit drahtbespannten Holzrahmen eine dünne Schicht des Papierbreies herausschöpft wurde (vgl. Schwieger 1973: 14). Dieses zur Papiergewinnung genutzte Siebgeflecht bestand aus eng und parallel verlaufenden Bodendrähnen (Rippdrähnen), die mit rechtwinklig angeordneten Querdrähnen, den sog. Bind- oder Kettdrähnen vernäht waren. Während das Wasser beim Schöpfvorgang zurück in die Bütte abfloss, setzten sich die Fasern in einem dünnen Film auf der engmaschigen Anordnung der Drähnen ab. Durch geschicktes Hin- und Herbewegen der Schöpfform entstand durch Verfilzung der aufgelösten Fasern ein Papierbogen. Nach dem Trocknungsvorgang<sup>10</sup> blieb auf dem Papier ein sichtbarer Abdruck der Siebdrähnen zurück, an denen sich weniger Papiermasse absetzen konnte als in deren Zwischenräumen – bei Durchsicht der Papiere ließ sich eine vertikale und horizontale Rippung erkennen (vgl. Abb. 3). Nach demselben Prinzip entstanden die ersten Wasserzeichen. Das Aufnähen von zusätzlichen Drähnen auf der Siebinnenseite in Form von Zeichen, Bildern oder Buchstaben bewirkte an den betreffenden Stellen eine Erhebung des Siebes und somit eine höhere Transparenz im Papier – das Wasserzeichen war geboren (vgl. Kämmerer 2009a: 12f., siehe hierzu auch Abb. 4). Es ist davon auszugehen, dass sich die Papiermacher diese Gepflogenheit von anderen Handwerkern, wie den Zinngießern oder Steinmetzen, abgeschaut hatten, die ihre Produkte zum Herstellernachweis ebenfalls mit Zeichen versahen (vgl. Spoer 1987: 9).

Die Qualität der europäischen Büttenpapiere erlangte im 15./16. Jahrhundert ihren Höhepunkt. Besonders großer Beliebtheit erfreute sich auf den Märkten Papier aus Fabriano, das aufgrund seines hohen Qualitätsstandards schon bald über die Grenzen der Stadt hinaus bekannt wurde. Die Funktion der ins Papier eingebrachten Wasserzeichen änderte sich vom reinen Herstellernachweis bzw. Herkunftsmerkmal hin zum Gütesiegel – so stand z.B. das Ochsenkopfezeichen für besonders wertvolles, feines Papier; in manchen Fällen wurde den Papierherstellern das Einfügen von Wasserzeichen von den Händlern sogar vorgeschrieben, um vor Fälschungen zu schützen (vgl. Mariani/Pelligrini 2009: 15f.).

---

10 Bei der Papierherstellung wurde der Schöpfer vom Gautscher und Leger unterstützt (vgl. Abb. 2). Dem Gautscher kam dabei die Aufgabe zu, die nassen Bögen durch Umdrehen der Form auf ein Filztuch abzudrücken (gautschen). Daraufhin stapelte der Leger diese Filzstücke mit den darauf abgelegten Papierbögen zu einem Stapel, aus dem mit einer handbetriebenen Presse überschüssiges Wasser ausgepresst wurde, bevor die Papierbögen von den Filzen gelöst wurden und zum Trocknen gelegt wurden (vgl. Keim 1956: 14).

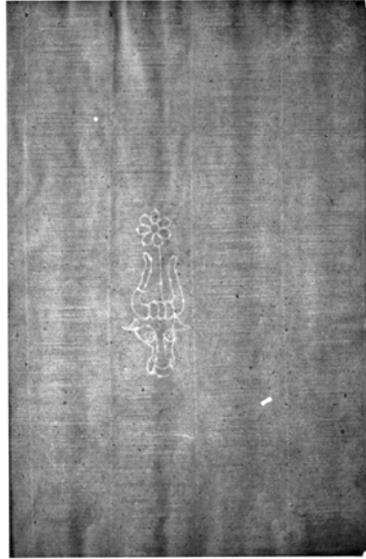


Abb. 3: Wasserzeichen »Ochsenkopf«; deutlich erkennbar ist hier auch die Rippstruktur im Papier (Kämmerer 2009b: 55).

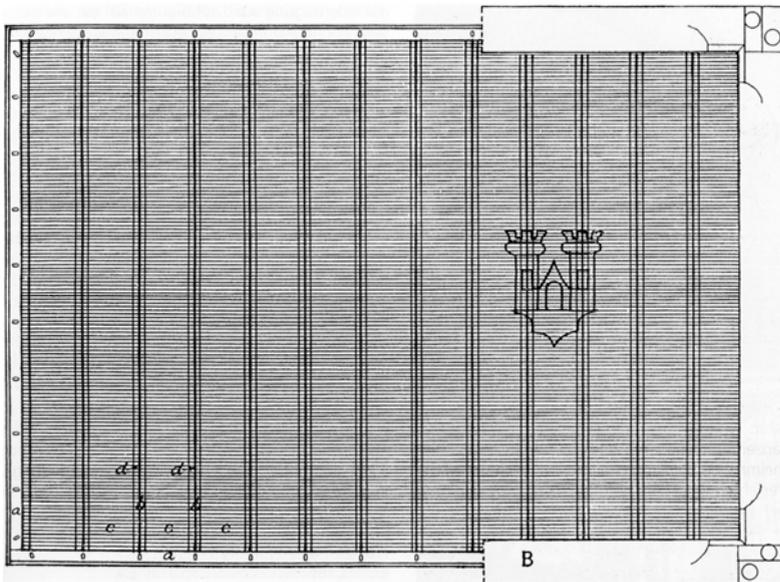


Abb. 4: Schematische Darstellung eines Schöpfesiebes für die Papierherstellung; deutlich zu erkennen der starre Holzrahmen, die Kett- und Rippdrähte sowie eine im Schöpfesieb angebrachte Drahtfigur/Turmfigur (Piccard 1956: 67).

Im weitesten Sinne können Wasserzeichen in dieser Verwendung erstmals mit Kopierschutz in Verbindung gebracht werden.

### 1.1.1 WASSERZEICHENFORSCHUNG ALS HISTORISCHE HILFSWISSENSCHAFT

Für die spätere wissenschaftliche Auseinandersetzung mit Wasserzeichen sind es aber nicht ausschließlich die eingebrachten Papiermarken, die wertvolle Datierungsmöglichkeiten liefern, wie auch Gerhard Piccard in seinen Schriften erläutert.

Piccard, der Mitte des 20. Jahrhunderts für seine Wasserzeichenforschung bekannt wurde, spricht in seinen wissenschaftlichen Arbeiten davon, dass genau genommen von zwei Wasserzeichen, die bei einem Schöpfprozess entstehen, auszugehen ist:

»Er meint zum einen die technisch bedingten Abdrucke der Boden- und Binddrähte der Schöpfform, die gleichzeitig auch die zentralen Charakteristika des handgeschöpften Papiers darstellen, und zum zweiten die Transparenzen, die durch gezielt angebrachte Drahtfiguren zur Erzeugung von Wasserzeichen im eigentlichen Sinne (Piccard spricht von »Papiermarken«) dienen.« (Kämmerer 2009a: 13)

Darüber hinaus konnte von Piccard und Tschudin historisch nachgewiesen werden, dass die Gebrauchsdauer für ein Schöpfsieb bei höchstens zwei Jahren lag – völlig identische Wasserzeichen konnten also lediglich auf Papieren auftreten, die innerhalb eines Zeitraums weniger Jahre hergestellt worden waren (vgl. Piccard 1954 sowie Tschudin 1996a).

Damit steht der Nutzen der Filigranologie für die zeitliche Einordnung undatierter Schriftstücke durch Vergleich der Zeichen außer Zweifel, was gerade für die frühen Stücke des 14. bis 16. Jahrhunderts von einschlägiger wissenschaftlicher Bedeutung ist. In der entsprechenden Literatur lassen sich mehrere methodisch orientierte Beiträge finden, die sich mit der Wasserzeichenforschung als Hilfswissenschaft für Handschriften- und Inkunabelforschung, für Kunstgeschichte (Zeichnungen, Graphiken), Musikwissenschaft (Notenblätter) und für Kartographie beschäftigen.<sup>11</sup> Um Wasserzeichen als Instrumentarium für das Forschungsfeld der Handschriftenkatalogisierung überhaupt einsetzen zu können, ist die Vergleichsmöglichkeit vieler gleichartiger datierter Typen und Varianten notwendig. Neben

---

<sup>11</sup> Nachfolgend eine Auswahl einschlägiger Literatur, die sich der Wasserzeichenforschung als Hilfswissenschaft für weitere Forschungsfelder/Wissenschaften bedient: Wasserzeichenforschung als Hilfswissenschaft für Handschriften- und Inkunabelforschung (vgl. hierzu Gerardy 1964, Haidinger 2004 sowie Piccard 1956); Wasserzeichenforschung als Hilfswissenschaft für Kunstgeschichte (vgl. hierzu Ash/Fletcher 1998 und Griffiths/Hartley 1997); Wasserzeichenforschung als Hilfswissenschaft für Musikwissenschaft (vgl. hierzu Duda 2000, Hudson 1987 sowie La Rue 1961); Wasserzeichenforschung als Hilfswissenschaft für Kartographie (vgl. hierzu Gerardy 1974 und Woodward 1987).

den auf Papier festgehaltenen, überlieferten Sammlungen hat vor allem die Digitalisierung und Präsentation großer Bestände bedeutender Wasserzeichensammler im Internet seit den letzten Jahren das Interesse der Historiker an der Wasserzeichenforschung erkennbar belebt. Zu den weltweit bedeutendsten Wasserzeichendatenbanken zählen derzeit die digitalisierte Sammlung »Piccard Online« des Hauptstaatsarchivs Stuttgart mit etwa 92.000 Belegen, »Wasserzeichen des Mittelalters (WZMA)« der Wiener Akademie der Wissenschaften sowie »Watermarks in Incunabula printed in the Low Countries (WILZ)« in Den Haag. In dem seit 2006 von der Europäischen Kommission geförderten Projekt *Bernstein – The Memory of Paper* werden diese existierenden Datenbanken in einem gemeinsamen Internetportal<sup>12</sup> zusammengeführt und im Kontext der Papierforschung und –geschichte präsentiert. Wie diese Bestände zeigen, haben die Wasserzeichen des alten Handbüttenpapiers im Verlauf von über 700 Jahren in mehrfacher Beziehung eine Wandlung durchgemacht.

## 1.2 PAPIERPRODUKTION IM ÜBERGANG ZUR INDUSTRIELLEN HERSTELLUNG

»Seit dem ausgehenden 18. Jahrhundert setzte auf dem Gebiet der Papierherstellung eine tiefgreifende Umbruchphase ein, an deren Ende bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts die meisten in handwerklich-traditionsverbundener Manufakturfertigung tätigen Papiermühlen aufgegeben wurden, da sich die industrielle Großproduktion als leistungsfähigere Fertigungsweise durchgesetzt hatte. Hierzu hatte eine Reihe bahnbrechender Innovationen beigetragen.«  
Georg Dietz/Frieder Schmidt (2009: 20)

Mitte des 18. Jahrhunderts treten in England erstmals handgeschöpfte Papiere auf, die aufgrund gewebter Siebe eine ungerippte Struktur aufweisen. Die Entwicklung immer dünnerer Drähte machte die Herstellung engmaschigerer Siebe und damit die Erzeugung von Papier mit nahezu strukturloser Oberfläche möglich. Dieses sog. Velin-Papier wurde in Deutschland erstmals durch den Papiermacher Ebart in Spechthausen produziert (vgl. Keim 1956: 47). Da die Wasserzeichen in ihrer Bildwirkung auf diesem »neuen« Papier weder durch Rippen noch durch Stege beeinträchtigt werden, kommen die verschiedenen Darstellungen hier voll zur Geltung. Die veränderte Siebtechnologie brachte ebenfalls neuartige Formen der Wasserzeichen hervor – Grundlage der *Vollwasserzeichen* waren nicht mehr jene aufgenähten Drahtfiguren, sondern auf dem Papiersieb angebrachte Blechschablonen, die im Papier vollflächige helle Flächen hinterlassen (vgl. hierzu Abb. 5).

<sup>12</sup> Website des Projekts *Bernstein – The Memory of Paper* online verfügbar unter: <http://www.memoryofpaper.eu>, 01.03.2010.

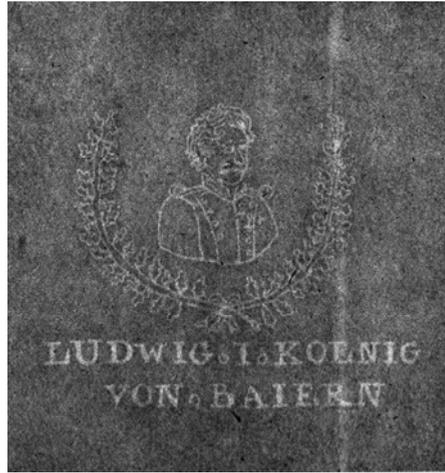


Abb. 5: Wasserzeichen aus einem Velinpapier der Papiermühle Mindelheim. Der Schriftzug »LUDWIG I. KOENIG VON BAIERN« wurde um 1835 von dem Papiermacher Joseph Hundegger als Vollwasserzeichen ausgeführt (Dietz/Schmidt 2009: 21).

Dieselbe Wirkung konnte allerdings auch aufgrund von Erhöhungen im feinmaschigen Sieb erreicht werden, die durch starke Einpressung untergelegter Blechschablonen hervorgerufen wurden. Auf diese Weise wurden erhöhte Stellen im Sieb geschaffen, an denen sich lediglich eine dünnere Faserschicht absetzen konnte und die in der Durchsicht als helle Flächen erschienen. Durch partielles Tieferlegen des Siebes, also bei einer Pressung von oben, konnten nach dem gleichen Prinzip im Wasserzeichen aber auch Stoffanreicherungen erzielt werden, die in der Ansicht ein trüberes Aussehen bekamen. Besonders häufig tritt die Dunkelwasserzeichentechnik bei Porträtwasserzeichen auf, die bereits 1793 in Frankreich vorkommt. Dabei wurde diese Technik aber in den seltensten Fällen alleine angewandt, sondern das Hoch- und Tief-Prägen mit Matrizen auf einem Siebgeflecht kombiniert, so dass von Hell-Dunkel-Wasserzeichen oder Schattenwasserzeichen gesprochen wird, die in ihrer Wirkung sehr bildhaft erscheinen (vgl. Weiss/Weiss 1962: 138ff.).

Durch diese konkaven und konvexen Prägungen des Siebes erhielt das Papier viele neue Gesichter; allerdings blieb das Problem der Rohstoffknappheit durch einen exponentiellen Anstieg des Papierbedarfs – maßgeblich hierfür war sicherlich auch die 1445 eingeführte Drucktechnik Gutenbergs – bestehen. Auf das Rohstoffproblem der Papiermacher in den Jahren 1839/40 aufmerksam geworden, hatte Gottlob Friedrich Keller aus Hainichen bereits im darauf folgenden Jahr die Idee, künftig Holzfasern anstatt der Lumpenfasern zur Papierherstellung zu verwenden. Am 1. November 1845 erschien schließlich die Ausgabe 41 des »Intelligenz- und Wochenblatts für Frankenberg mit Sachsenburg und Umgebung« als weltweit erstes Druckerzeugnis auf holzschliffhaltigem Papier (vgl. Dietz/Schmidt 2009: 23).

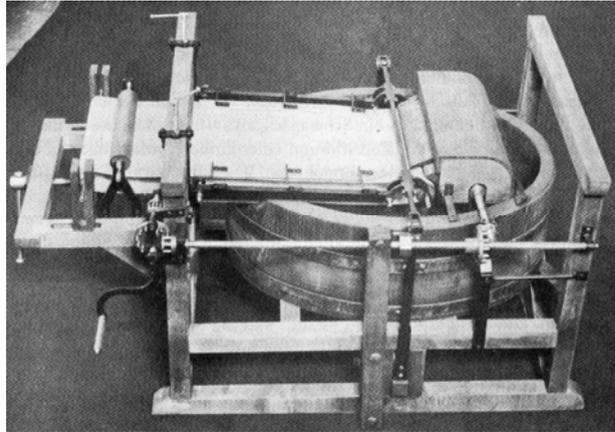


Abb. 6: Die von Nicolas-Louis Robert erfundene Langsiebpapiermaschine (Sandermann 1988: 107).

Auch zur traditionell-handwerklichen Schöpfrahmenkonstruktion wurde eine technologische Alternative mit dem Ziel einer leistungsstärkeren Fertigungsweise gesucht, da der Bedarf an Papier circa um das fünfzigfache zugenommen hatte.

Um diesen stark erhöhten Papierbedarf decken zu können, entwickelte der Franzose Nicolas-Louis Robert in den Jahren von 1796-1798 die Langsiebpapiermaschine, ein Maschinenmodell, das die Fertigung von bis zu fünf Meter langen und sechzig Zentimetern breiten Papierbahnen erlaubte (vgl. Dietz/Schmidt 2009: 24). Wesentlicher Bestandteil der Anlage war das endlose und feinmaschige Sieb aus dünnem Kupferdrahtgewebe, das über der mit Papierstoff gefüllten Bütte über eine vordere Walze und einer hinteren Umkehrwalze lief (vgl. Abb. 6). Zunächst besaß diese Konstruktion zwar noch erhebliche Mängel, so war beispielsweise noch keine Trockenpartie vorhanden; diese Herausforderungen wurden aber sukzessive gelöst und somit wurde die kontinuierliche Papierherstellung ab Mitte der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts ermöglicht. Bei der bis heute gängigen Papierherstellung fließt der Papierbrei auf ein mechanisch angetriebenes Metallsiebband, wird entwässert und anschließend über dampfgeheizten Trommeln getrocknet und satiniert, sprich durch Walzen geglättet.

Eine technologische Alternative zur Robert'schen Erfindung der Langsiebkonstruktion stellte zu seiner Zeit die 1805 von dem englischen Mechaniker Josef Bramah in London entwickelte Rundsiebpapiermaschine dar. Oftmals wird bei der Papierherstellung auf Rundsiebmaschinen fälschlicherweise von »Büttenpapieren« oder sogar »echten Bütten« gesprochen. Beim Herstellungsprozess taucht das zylinderförmige Sieb in die Bütte ein, durch die rotierende Bewegung bleibt der Faserbrei an dem Sieb haften und das Wasser fließt durch das Sieb in das Zylinderinnere ab. Durch die Anbringung stark erhobener Stege auf diesem Sieb entstehen deutlich verdünnte Stellen, an denen die Papierbahn durch Reißen in separate Bögen getrennt werden kann, wodurch beabsichtigter Weise unregelmäßige Ränder, die *Büttenränder* entstehen. Für die Wasserzeichenherstellung auf Rundsieben gilt

bis heute die gleiche Technologie, die bereits bei den handgeschöpften Papieren angewendet wurde, nämlich das Auflöten von Drähten auf das Sieb. Bei dieser Technik sind sowohl Papier als auch die eingebrachten Wasserzeichen schwer von handgeschöpften Bögen zu unterscheiden, weshalb das Rundsiebpapier in Bezug auf die Wasserzeichen eine gewisse Sonderstellung zwischen dem handgeschöpften und dem Langsiebpapier einnimmt, auch wenn es als Maschinenpapier gilt. Aufgrund der geringen Arbeitsgeschwindigkeit von Rundsiebpapiermaschinen kann auf dem Rundsieb hergestelltes Papier und damit auch sein Wasserzeichen in der Wirtschaftlichkeit mit dem auf Langsiebpapiermaschinen hergestellten Wasserzeichen, dem *Maschinenwasserzeichen*, aber nicht konkurrieren (vgl. Weiss/Weiss 1962: 296f.).

### 1.2.1 INDUSTRIELLE WASSERZEICHENHERSTELLUNG

Mit dem Fortschreiten der maschinellen Papierproduktion ergab sich das Bedürfnis, die von handgeschöpften Papieren her bekannten Wasserzeichen auch auf die industriell hergestellten Papiere zu übertragen, »denn das Wasserzeichen diene zu allen Zeiten nicht nur als Herkunfts-, sondern auch als Gütezeichen und hatte somit stets einen nicht zu unterschätzenden Werbewert« (Keim 1956: 215). Problematisch stellte sich hier allerdings die Tatsache dar, dass Figuren aus Draht oder ausgestanztem Blech nicht auf die Langsiebe angebracht werden konnten, da die Biegung des über zwei Walzen rollenden Metallgewebes so stark war, dass die aufgelöteten Drähte nicht elastisch genug waren, dieser Prozedur Stand zu halten. Der Londoner Formenmacher John Marshall erfand 1826 eine Verbesserung der Langsiebmaschine, nämlich die Siebwalze, englisch *Dandy Roll*, heute vielmehr unter dem französischen Begriff *Egoutteur* bekannt (vgl. Abb. 7).

Ursprünglich hatte diese Siebwalze oder Vordruckwalze auf dem Langsieb liegend den Zweck, die Stoffverteilung der noch nicht gefestigten Papierbahn auf dem Sieb gleichmäßiger zu gestalten und die Papierbahn somit glatter zu machen. Ihr Mantel ist aus einem geeigneten Siebgewebe gebildet, was Marshall ermöglichte, auf diesem Drahtfiguren anzubringen; diese auf dem Sieb erhabenen Stellen drückten sich spiegelbildlich von oben – im Gegensatz zum Handsieb seitenrichtig von unten – in die noch wässrige Papierbahn ein und hinterließen auf dem später getrockneten Papier Wasserzeichen. Somit ließen sich zunächst allerdings lediglich umrisshafte Wasserzeichen darstellen. Das erste maschinell erzeugte schattierte Porträt-Wasserzeichen lässt sich dagegen vermutlich erst auf den Papiermacher W.H. Smith zurückführen, der ein Porträt-Wasserzeichen Napoleons hergestellt hatte, das 1849 auf der Industrie-Ausstellung in Paris präsentiert wurde.

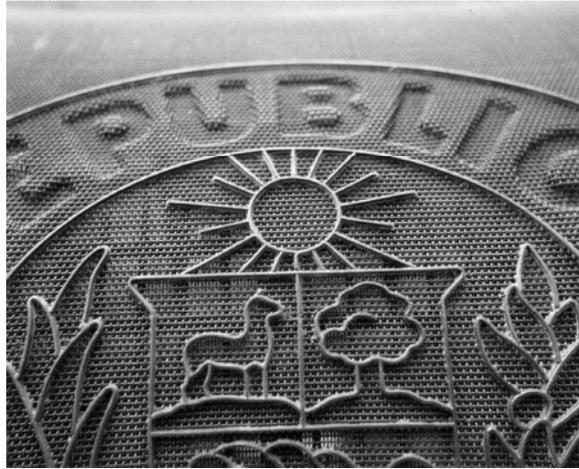


Abb. 7: Abbildung eines Egoutteurs aus dem Jahr 1923 für ein Hell-Dunkel-Wasserzeichen mit dem Schriftzug »REPUBLICANA PERUANA«<sup>13</sup> (Dietz/Schmidt 2009: 26).



Abb. 8: Schattenwasserzeichen von 1875, das Papst Pius IX. zeigt. Fabriano, Archivio Storico Cartiere Miliani (Mannucci 1993: 298).

13 Da sich in den Vertiefungen der Schrift mehr Papiermasse ansammelt, erscheint der Papierbogen an diesen Stellen dunkler. An den erhöhten Stellen des Drahtes im Vordergrund ist dies genau entgegengesetzt. Der Draht verdrängt mehr Papiermasse, und das Papier erscheint an diesen Stellen in der Durchsicht heller. Daher wird auch von einem Hell-Dunkel-Wasserzeichen gesprochen. Hersteller dieses Egoutteurs ist die Dürener Metalltuch- und Egoutteurfabrik J.W. Andreas Kufferath & Co.

Hierbei handelte es sich bereits um ein maschinell hergestelltes, schattiertes Wasserzeichen, wie es noch heute als weit verbreitetes Sicherheitsmerkmal Anwendung auf Banknoten oder Urkundenpapieren findet (vgl. Dietz/Schmidt 2009: 25f.; Weiss/Weiss 1962: 296-301; siehe auch Abb. 8).

»In Deutschland wurden offenbar erst um 1840 die ersten Wasserzeichen im Maschinenpapier mit Hilfe des Wasserzeichenegoutteurs hergestellt. Vielleicht sind die ersten Wasserzeichenwalzen von der Papierfabrik Schäßfelen in Heilbronn verwendet worden. Inzwischen ist die Egoutteurherstellung in ungeahnter Weise vervollkommen worden, so daß heute damit nicht nur Hell- und Dunkelwasserzeichen, sondern auch schattierte, mehrstufige Wasserzeichen auf der Langsiebmaschine hergestellt werden können.« (Weiss/Weiss 1962: 297)

Ein weiterer Vorteil der maschinellen Papierherstellung lag in der Nutzungsdauer der Wasserzeichen-Egoutteure im Gegensatz zu den auf Handschöpfrahmen angebrachten Drahtfiguren. Die Egoutteure nutzen sich kaum ab und können daher erheblich länger als die bei den Schöpfsieben im Normalfall üblichen zwei Jahre verwendet werden. Für die Wasserzeichenkunde sind diese industriell hergestellten Papiermarken aber nur noch bedingt interessant, da sie sich aufgrund dieser Tatsache lediglich eingeschränkt zur Datierung heranziehen lassen (vgl. Dietz/Schmidt 2009: 26).

Daneben gab und gibt es in der Papierindustrie aber noch weitere Verfahren zur Erzeugung von Wasserzeichen. Neben den bereits erwähnten echten Wasserzeichen, die sowohl auf handgeschöpften als auch in maschinell produzierten Papieren hergestellt werden, treten ab 1920 sog. Molette- oder auch halbechte Wasserzeichen auf. Im Gegensatz zu den bereits erwähnten Methoden zur Herstellung von Wasserzeichen, wird die nahezu trockene Papierbahn nach dem Verlassen der Siebpartie hier nur geprägt, es findet keine partielle Reduzierung beziehungsweise Anreicherung des Faserbreis statt. Diese Prägungen in die zwar schon verfestigte, aber noch nicht trockene Papierbahn erfolgen durch gummierte Metallringe, den sog. *Molette-Ringen*, die auf den Prägerollen angebracht sind und sich im Gegensatz zum Egoutteur schnell und beliebig auswechseln lassen.

Die Wasserzeichen der dritten Kategorie werden in der Wasserzeichenkunde als künstliche oder unechte Wasserzeichen bezeichnet. Bei dieser bereits seit 1891 angewandten Methode zur Erstellung von Papiermarken wird das bereits fertige, getrocknete Papier in einem zusätzlichen Arbeitsschritt auf eine Platte gelegt, die mit der Wasserzeichenzeichnung in erhabenen Linien versehen ist. Zwischen zwei polierte Zinkplatten gelegt und wie beim Glätten durch die Walzenpresse geführt, drückt sich bei diesem heute nicht mehr praktizierten Verfahren die erhabene Zeichnung als Prägung in das Papier ein. Diese Methode wurde oftmals zur Fertigung von Brief- und Luxuspapieren, meist in geringer Auflage und immer auftragsbezogen für den Endverbraucher, angewandt.

Auch die sonst als »imitiert« bezeichneten Wasserzeichen oder Druckzeichen können unter die Gruppe der künstlichen und unechten Wasserzeichen subsumiert werden. Hierbei handelt es sich um Papiermarken, die mit dem Buchdruck einhergehen. Mittels einer farblosen, äußerst fetthaltigen Druckfarbe, die eine Veränderung der Papierfaser bewirkt, werden die Papiermarken auf die bereits fertigen Bögen gedruckt. Durch die enthaltenen Fettstoffe erscheinen entsprechend behandelte Stellen auf dem Papier durchscheinend, ohne dass das Papier gegen eine Lichtquelle gehalten werden muss; allerdings handelt es sich hierbei lediglich um eine sehr schwache Durchsicht. Dennoch wurde dieses Verfahren gelegentlich – wahrscheinlich gerade wegen seiner Einfachheit – zur Fälschung von Banknoten und anderen Wertpapieren angewandt (vgl. Weiss/Weiss 1962: 296-301). Daneben griffen Fälscher von Wertpapieren auch auf eine andere Technik zurück:

»Man druckte Vorder- und Rückseite getrennt. Vor dem Zusammenkleben gab man einer Innenseite einen matten Flächendruck, wobei nur das Muster des Wasserzeichens weiß ausgespart wurde. Dies erscheint dann in der Durchsicht wie ein Wasserzeichen. Hier handelt es sich also lediglich um einen optischen Trick, nur scheinbar um ein Wasserzeichen. Künstliche und imitierte Wasserzeichen können auf Grund der angewandten technischen Methoden nur als Hellwasserzeichen erscheinen. Dunkel- und Schattenwasserzeichen sind auf künstliche Weise nicht hervorzubringen.« (Weiss/Weiss 1962: 301)

Eine Unterscheidung zwischen echten und imitierten Wasserzeichen lässt sich mit Natronlauge leicht durchführen. Während die echten Wasserzeichen durch Stoffverdrängung – bei den Hellwasserzeichen durch eine Stoffverringerung, bei den Dunkelwasserzeichen durch eine Stoffhäufung – im Stadium der Blattbildung entstehen, werden die geprägten oder gepressten Wasserzeichen im fertigen Papier lediglich aufgrund der zusammengepressten Stellen im Material sichtbar. Zur Überprüfung der Echtheit von Wasserzeichen, wird das Papier in eine Natronlauge gelegt, was ein starkes Aufquellen der Fasern bewirkt. Infolge dessen verschwinden die künstlichen Wasserzeichen, die echten dagegen bleiben sichtbar.

### 1.2.2 WASSERZEICHENMOTIVE

Wasserzeichen haben aber nicht nur eine herstellungstechnische Geschichte, sondern sind ebenfalls in ästhetischer Hinsicht interessant, da die Formenvielfalt einem ständigen Wandel unterliegt. In einschlägigen, bereits genannten Sammlungen, wie beispielsweise der von Piccard<sup>14</sup>, lässt sich feststellen, dass die höchst

14 Die Wasserzeichensammlung Piccards mit 92.000 Wasserzeichen gilt als die weltweit größte und bedeutendste ihrer Art und wurde zu Recherchezwecken vollständig unter [www.piccard-online.de](http://www.piccard-online.de), [05.12.2005], 01.03.2010, veröffentlicht.

einfachen, geradezu schlicht wirkenden Zeichen der ersten Zeit zunächst komplexere Formen annehmen und später sogar mit Beizeichen zur Unterscheidung von anderen Papiermühlen, die oftmals über die Grenzen hinweg dieselben Motive verwendeten, versehen werden. Diese Entwicklung gipfelt in einer kunstvollen Ausschmückung der Wasserzeichen mit ornamentalen Verzierungen, die in vereinzelt Fällen sogar vom eigentlichen Zeichen losgelöst wurden und ohne einen Hinweis auf Meister, Mühle, Sorte oder Format alleine in Erscheinung traten. Trotz dieser allgemeinen Entwicklung lassen sich interessanterweise auch in späteren Zeiten immer noch sehr einfache schlichte Zeichen nachweisen, wie diese aus der Frühzeit der Wasserzeichen bekannt sind. Allgemein können die Wasserzeichen im Papier als Symbole und Ausschnitte der zeitgenössischen Welt und deren Wahrnehmung erfasst und beschrieben werden: so reichen diese von Tier-, Pflanzen- und Naturdarstellungen über die bildliche Darstellung menschlicher Erzeugnisse bis hin zu Wappen und geometrischen Formen, oft auch religiösen Ursprungs.

### 1.3 ZUM FUNKTIONALEN WANDEL VON WASSERZEICHEN

Bei oben erwähnter Motivvielfalt stellt sich zugleich die Frage nach Verwendung, Zweck und Aufgaben von Wasserzeichen, die ebenfalls einem facettenreichen Wandel unterlagen. Während die frühesten Wasserzeichen in ihrer Mehrzahl als Namen und Buchstaben vorkommen, wie auch das älteste bekannte Wasserzeichen von 1271 aus Cremona (Buchstabe F) verdeutlicht, ist den Wasserzeichen ebenfalls von Anfang an eine symbolische Funktion zu eigen, wie das aus dem Jahre 1282 dargestellte Kreuz aus Fabriano zeigt. Religiöse, insbesondere christliche Symbole und Embleme kommen in der alten Wasserzeichenkunst verhältnismäßig oft vor (vgl. Kämmerer/Rückert 2009: 51ff.). Neben der Symbolsprache sind es die Entwicklungswege und Wandlungen in der formalen Gestaltung wie auch die Motive dieser Zeichen, die Denk- und Vorstellungsweisen, soziale Verhältnisse und kulturelle Prozesse widerspiegeln (vgl. Ulbricht 2000: 41). Schon bald ist im Handwerk der Wasserzeichenherstellung eine Entwicklung weg von elementaren Symbolen hin zu einer vielgestaltigeren, komplexeren Formensprache zu beobachten. Narrativere Symbole der zeitgenössischen Alltagskultur, wie Pflanzen, Tiere, jegliche Figuren, Werkzeuge oder auch Fabelwesen finden nun ihr künstlerisches Abbild im Wasserzeichen. Diese Entwicklung wäre aber, wie Gertraude Spoer festhält, ohne die Leistungen derer, die Schöpfformen und Wasserzeichen herstellten, gar nicht denkbar gewesen. In der Anfangszeit der Papiermacherei wurden sie von den Papiermachern selbst oder von Handwerkern, die mit der Metalltechnik vertraut waren, wie bspw. Silberschmiede, hergestellt. Dieses Handwerk entwickelte sich aber im 17./18. Jahrhundert zu einem eigenständigen Gewerbe der Formenmacher. Die Handwerker zogen von Ort zu Ort, boten den verschiedenen Papiermühlen ihre Leistungen an und reparierten auch beschädigte Formen. Hierin kann ebenfalls eine Erklärung für die Verbreitung der unterschied-

lichen Motive über ganz Europa liegen. So treten beispielsweise ein gotisches P oder ein Ochsenkopf über Ländergrenzen hinaus gehäuft auf (vgl. Spoer 1996: 154f.).

Die Funktion der frühen Wasserzeichen als Meister- und Herkunftsmarke des Papiers – modern formuliert: Markenzeichen – ist dabei unbestritten, wie auch aus den bereits erwähnten Darlegungen des Bartolo da Sassoferrato hervorgeht. Ein weiterer Anhaltspunkt für diese ursprüngliche Funktion der Wasserzeichen liegt in ihrer Etymologie. So bürgerte sich die Bezeichnung »Wasserzeichen« erst seit der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts ein, zuvor sprach man zutreffender von »Papierzeichen« oder »Zeichen« schlechthin. Letztere Wortbedeutung findet sich ebenfalls in den auf Latein verfassten Schriften Sassoferratos, der für die erstmalige Erwähnung von Wasserzeichen in der Literatur überhaupt das Wort »signum« gebraucht (vgl. Weiss/Weiss 1962: 5).

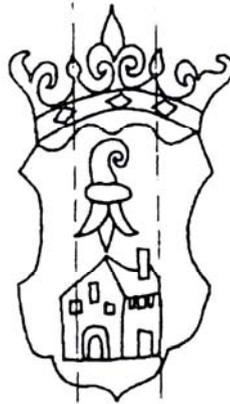


Abb. 9: Wasserzeichen mit Baselstab und Heusler-Wappen, Basel 1592 (Tschudin 1996b: 234).

Zur Kennzeichnung der Herkunft beziehungsweise des Herstellers des Papiers wurden aber nicht nur ausgeschriebene Namen, Monogramme, Abkürzungen und Ziffern verwendet, was anfangs und dann erst wieder seit dem 18. Jahrhundert verstärkt der Fall war, sondern auch auf figürliche Darstellungen jeglicher Art zurückgegriffen. Diese vielfältigen dem Alltag entsprungene Motive zeigen in ihrer Symbolsprache oftmals Verbindungen zur Heraldik auf. So wurden Haus- und Handelsmarken im Sinne »sprechender Zeichen« ins Papier eingebracht, wie beispielsweise die Abbildung des Hauses der Basler Familie Hüsler, die auf das Jahr 1592 datiert werden kann (vgl. Abb. 9). Daneben waren auf dem Papier als Wasserzeichen eingebrachte Wappen aber meist Ausdruck des Abhängigkeitsverhältnisses zwischen Papiermacher und weltlichem oder geistlichem Auftraggeber. In Verbindung mit dem Aufkommen des Territorialstaates treten im 16./17. Jahrhundert gehäuft heraldische Elemente (Reichsadler, Bourbonenlilie, Pro Patria, Basel-

stab etc.) auf, die bis ins 19. Jahrhundert hinein die wichtigsten Papiermarken prägen.

Im Zuge der Ausdehnung der Papiermacherei in Europa entwickelten sich einige dieser Papiermarken weiter zu Qualitäts- und Sortenzeichen. Qualitativ hochwertige Papiere, wie sie ab Mitte des 16. Jahrhunderts in Frankreich hergestellt wurden, trugen als Wesensmerkmal oftmals voll ausgeschriebene Namen, während qualitativ geringwertigere Papiere lediglich die Initialen der jeweiligen Papiermacher oder -mühle aufwiesen. Eine weitere Bedeutung des Wasserzeichens war das Sortenzeichen, so war beispielsweise in Postpapier ein Posthorn eingelassen (vgl. Tschudin 1996b: 223-236). Zudem wurden besonders im 18. und 19. Jahrhundert Wasserzeichen als Kennzeichen für bestimmte Formate verwendet, die von der Größe des jeweiligen Schöpfsiebes abhängig waren; so steht beispielsweise ein in das Papier eingelassener Bienenkorb für das Format 36 x 45 Zentimeter, ein Bischofsstab für das Format 38 x 48 Zentimeter; Löwe als auch Einhorn werden für das Format 40 x 50 Zentimeter verwendet, das Einhorn kann aber auch für das Format 42 x 53 Zentimeter stehen (vgl. Weiss/Weiss 1962: 160).

### 1.3.1 WASSERZEICHEN ZUM SCHUTZ VOR FÄLSCHUNG

Zum Schutz gegen Nachahmung und Fälschung – kurz: zum Kopierschutz – treten Wasserzeichen bei Wertpapieren aller Art schon sehr früh auf. »Das Wasserzeichen gehört zu den ältesten und am meisten verwendeten Echtheitssicherungsmitteln« (Meyer 1935: 31). Im Gegensatz zu ihrer ursprünglichen und bis heute allgemein gültigen Aufgabe des Markenzeichens dient die Wasserzeichentechnik hier einem ganz anderen Zweck. In der genannten Funktion haben sich Wasserzeichen bis heute als unentbehrlich erwiesen, obwohl inzwischen weitere Verfahren gegen die Nachahmung von Wertscheinpapieren gefunden wurden, wie weiter unten erläutert werden soll. Das Wasserzeichen auf Wertpapieren ist nur schwer nachzuahmen, besonders dann, wenn dabei die verschiedenen, zuvor erläuterten Wasserzeichentechniken – Hell-, Dunkel- und schattierte Wasserzeichen – zugleich angewendet werden.

Bereits die ersten europäischen Banknoten traten nicht in der Funktion als Herkunfts-, sondern als Firmenzeichen der Banken oder Sonderzeichen auf, die analog zu modernen Banknoten »in eigener Art und Gestaltung ausschließlich zum Zweck des Echtheitsbeweises und zum Schutze gegen Nachahmung gefertigt wurden« (vgl. Weiss/Weiss 1962: 220). Bereits während der Tang-Dynastie in den Jahren zwischen 618-907 unserer Zeitrechnung wurden neben dem verwendeten Münzgeld weltweit erstmals Wertpapiere ausgegeben (vgl. Altmann 1997: 88). Wie bereits zuvor bei der Papierherstellung treten aber auch auf diesen ersten Wertpapieren sowohl aus technischen, als auch religiösen Gründen, keine Wasserzeichen auf. Die ersten Banknoten in Europa wurden ab Juli 1661 von der

schwedischen *Stockholm's Bank* herausgegeben (vgl. kritisch dazu Braudel 1985: 516). Da es bei diesen sog. Kreditzetteln aber schon bald darauf zu Fälschungen kam, wurde bei der Genehmigung zur Herausgabe von neuen Wertpapieren im Jahr 1665 festgelegt, dass für die Noten ein Papier mit dem Wasserzeichen der Bank angefertigt werden soll.

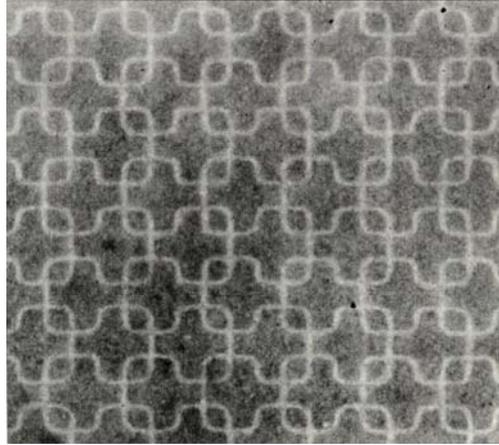


Abb. 10: Beispiel durchgehender Wasserzeichenmusterung (Weiss/Weiss 1962: 306).

Dieser Instruktion entsprechend weisen die 1666 herausgegebenen Banknoten der schwedischen Bank in Stockholm das Wasserzeichen *BANCO* auf, wie aus dieser Zeit erhaltene Noten zeigen. Dieses Wasserzeichen wurde an einer bestimmten Stelle des Bogens angebracht, die später nicht bedruckt wurde und somit das Wasserzeichen in der Durchsicht zur Überprüfung der Echtheit des Scheines deutlich erkennbar war. Zugleich handelt es sich bei diesen Wertpapieren aus Schweden um ein sehr frühes, wahrscheinlich sogar erstes Beispiel eines durchlaufenden Wasserzeichen-Musters im Papier, wie diese noch heute in Wertpapieren, wie Schecks, Briefmarken oder Dokumentenpapieren Verwendung finden. Selbst das für Lebensmittelkarten und Bezugsscheine aller Art im Ersten und Zweiten Weltkrieg verwendete Papier zeigte aus Sicherheitsgründen solche durchgehenden Wasserzeichenmusterungen auf (vgl. Abb. 10).

»Wenn das besondere Wasserzeichenpapier und damit die auf ihm gedruckten Banknoten zwar nicht ohne weiteres nachgemacht werden konnten, so mußte doch auch dafür Sorge getragen werden, daß in der Papiermühle solches Papier nicht mißbraucht und nicht in fremde Hände gelangen konnte. Daher mußten Meister und Gesellen Reverse mit entsprechenden Verpflichtungen unterschreiben. Das Schöpfformenpaar mit dem Wasserzeichen der Bank mußte nach Gebrauch an diese abgeliefert werden.« (Weiss/Weiss 1962: 221)

Zudem wurden ausgediente Schöpfformen, die zur Herstellung von Wertpapieren genutzt wurden, durch das Entfernen einzelner Buchstaben aus einem Namen oder Wort unbrauchbar gemacht. Neben den Namen von Städten oder städtischer Geldinstitute kommen in Wertpapieren aber auch sonstige Zeichen, wie z.B. Angaben zum Wert der jeweiligen Banknoten, vor. So tragen die am 4. Februar 1854 ausgegebenen 10-Thaler-Scheine des Großherzogtums Weimar beispielsweise neben dem Vollwasserzeichen *WEIMARISCHE BANKNOTE*, das oben und unten am Rand dieser Scheine angebracht ist, entlang der beiden Schmalseiten in der Durchsicht erkennbar zusätzlich die Schriftbilder *10 THLR 10* (vgl. Weiss/Weiss 1962: 221). Daneben lassen sich auf Wertpapieren auch bildliche Motive aufzeigen, wie bspw. eine kleine Krone, die zum Echtheitsnachweis auf der am 6. Mai 1840 herausgegebenen »one penny black«, der ersten Briefmarke der Welt aus Großbritannien als Wasserzeichen ins Papier eingebracht ist (vgl. Hunter 1978: 550).

#### 1.4 ZWISCHENBILANZ

Heute hat das Wasserzeichen – abgesehen von Sicherheitswasserzeichen in Banknoten und Wertpapieren, auf die im zweiten Teil dieser Arbeit eingegangen werden soll – seine ökonomische Funktion weitgehend verloren. Mit der großen technischen Entwicklung der Langsiebpapiermaschine Ende des 18. Jahrhunderts gipfelte die Herstellung von Maschinenpapier zu Beginn dieses Jahrhunderts in Papiermaschinen mit einer Arbeitsbreite von 10 Meter, Geschwindigkeiten von bis zu 72 km/h und einer Tagesleistung von mehr als 1688 Tonnen.<sup>15</sup> Einhergehend mit der Industrialisierung zwangen Wettbewerb und Kostendruck zu rationaler Fertigung. Während Papiermaschinen aber immer größere Siebbreiten und schnellere Maschinengeschwindigkeiten erreichen, werden Markierungen im Papier als störend angesehen, weil diese immer eine Reduktion der Leistung bedeuten. Ebenfalls ist es bei diesen hohen Geschwindigkeiten problematisch, klare Konturen der Papiermarken zu gewährleisten.

Was über Jahrhunderte untrennbar zum Papier gehörte, galt damit innerhalb weniger Jahre als verzichtbar. Das Wasserzeichen spielt zwar in der Funktion eines Logos in der heutigen Werbeindustrie – verdrängt von einem Mix anderer Marketingstrategien – kaum mehr eine Rolle; umso freier können nun aber moderne Handpapiermacher und Papierkünstler diese graphische Darstellungsform aufgreifen und als Gestaltungsmittel ihrer Produkte einsetzen.

Moderne Wasserzeichentypen gelten dabei heute als Prestigeerzeugnisse mit entsprechend höherem Preis. Einen Höhepunkt der kreativen Auseinandersetzung mit Wasserzeichen bilden dabei vom Künstler als Wasserzeichen verfasste Schriftstücke:

---

15 Die derzeit leistungsfähigste Papiermaschine wird von der Gold East Paper (Jiangsu) Co. Ltd in China/Dagang betrieben (vgl. Birkner International PaperWorld 2005: 6).

»Die klassische Funktion von Papier als Träger von Information via Handschrift oder Druck wird [hier] zugunsten von Wasserzeichen eliminiert. Papier selbst ist bereits Träger von »transparenten« Informationen. Sie zu lesen bleibt ein spannendes Abenteuer und dessen Nutzung im 21. Jh., dem medialen Zeitalter, eine große Herausforderung.« (Ulbricht 2000: 42)

## 2 DAS WASSERZEICHEN AUF BANKNOTEN

Das Wasserzeichen auf Geldscheinen ist eines der bekanntesten Sicherheitsmerkmale. Trotz oder vielleicht gerade wegen seiner jahrhundertelangen Tradition in Herstellung und Einsetzbarkeit ist es fester Bestandteil auch auf den neusten Euro-Banknoten. Seine größten Vorteile sind vor allem die schwierige, weil teure und detailreiche Herstellung und der Umstand, dass das Wasserzeichen von Laien schnell zur Überprüfung der Echtheit einer Note gefunden und erkannt wird. Das Wasserzeichen auf Geldscheinen ist wohl *das* Sicherheitsmerkmal, das durch viele Kulturen und Zeiten hindurch Bestand hat. Wenn es also eine Kultur des Kopierschutzes gibt, dann ist das Wasserzeichen der Inbegriff dieser.

Schon mit der Erfindung der Münze begann die Entwicklung des Schutzes »vor unerlaubten Nachahmungen der offiziellen Zahlungsmittel« (Deutsche Bundesbank 1995: 5). In unserer heutigen hoch technisierten Welt gestaltet sich dieser Schutz immer schwieriger. Nur mit einer Vielzahl an Sicherheitsmerkmalen, die harmonisch ineinander greifen, ist es möglich, die Banknote weitestgehend vor Fälschungen zu schützen, auch wenn diese Fälschungsschutztechniken immer nur kurzlebig sind und ständiger Überholung und Erweiterung bedürfen. Zunehmend modernere Reproduktionstechniken treiben die Bundesbanken an, neue Sicherungen in die bestehenden Scheine einzuarbeiten oder sogar neue Serien von Banknoten zu entwickeln.

Um das bekannteste aller fälschungshemmenden Sicherheitsmerkmale auf Banknoten, das Wasserzeichen, soll es in diesem Teil des Textes gehen. Dabei ist dieses Kapitel in zwei Teile gegliedert:

- a. Historischer Abriss: Wann, wo und warum entstanden die ersten Banknoten? Wann und in welcher Form tauchen Wasserzeichen erstmals auf Geldscheinen auf?
- b. Das Wasserzeichen auf der Euro-Banknote: Thema in diesem Teil wird unter anderem die Herstellung der Euro-Banknote allgemein aber vor allem die Herstellung des auf den Geldnoten angebrachten Wasserzeichens sein.<sup>16</sup>

---

16 Spezifische Informationen der Herstellung von Euro-Banknoten veröffentlicht die Deutsche Bundesbank aus Gründen des Dienstgeheimnisses nicht. Zum Dienstgeheimnis siehe den Beitrag von Ludwig Andert und Doris Ortinau im Heft »Kulturen des Kopierschutzes I«.

## 2.1 HISTORISCHER ABRISS

### 2.1.1 DIE ANFÄNGE DES PAPIERGEDES

Die deutsche Bundesbank datiert die »wahrscheinlich ältesten in Originalstücken erhaltenen« (Weber 1970: 11) Papiergeldscheine auf das 14. Jahrhundert. Sie stammen aus China und sind mit Ausgabedatum versehen. Schon damals sorgte man sich um illegale Kopien und bedrohte daher auf den Scheinen die Geldfälscher mit Strafe und setzte sogar eine Belohnung für die Anzeige von solchen Fälschern aus (vgl. Deutsche Bundesbank 1995: 5; vgl. auch Deutsche Bundesbank 1963). Andere Historiker führen die Anfänge der Nutzung von Papiergeld auf die Mitte des 13. Jahrhunderts zurück. So schreibt z.B. Fernand Braudel:

»Vermutlich stellte die Ausgabe von Papiergeld eine Reaktion der Chinesen auf die Konjunktur des 13. und 14. Jahrhunderts dar und diente ihnen als Mittel, die mit dem Umlauf der altertümlich schweren kupfernen oder eisernen Lochmünzen verknüpften Schwierigkeiten aus dem Weg zu räumen und den Außenhandel über die Seidenstraßen zu beleben.« (1985: 493/494)

Das erste Papiergeld in Europa taucht erst im 15. Jahrhundert auf. Aus der Not heraus beschriftete Graf Tendilla in Spanien Papierzettel und drückte sein Siegel darauf. Ihm wurde in der langen Belagerungszeit der Mauren das Münzgeld knapp. Doch seine Soldaten wollten bezahlt werden, um die Stadt weiter erfolgreich zu schützen und guter Laune zu bleiben. Nach der Belagerungszeit befahl er den Bürgern der Stadt daher, die selbst geschriebenen Zettel gegen Gold und Silber einzutauschen: »Nach dem Umtausch sollen alle Geldpapierscheine vernichtet worden sein« (ebd.: 4). Das älteste erhaltene europäische Geld aus Papier stammt aus den Niederlanden. Dort wurden während der niederländischen Freiheitskriege in einer Belagerung durch spanische Truppen zwischen 1573 und 1574, ebenfalls weil das Münzgeld knapp wurde, aus Deckeln der Kirchenbücher Pappmünzen hergestellt (vgl. ebd.: 4). Auch wenn es sich um Papiergeld als solches handelte, kann man die dargestellten Anfänge der Papiernoten mit den Banknoten wie wir sie heute kennen, nicht vergleichen.

Wesentliche grundlegende Merkmale einer Banknote, wie z.B. die durchdachte professionelle Herstellung, die Ausgabe gegen Wert oder Verdienst und die Aushändigung durch bestimmte Instanzen fehlen bei dieser Art des Papiergeldes. Hinzu kommen die räumliche und zeitliche Begrenzung des damals in der Not entstandenen Geldes. Diese Aspekte flossen erst ab Mitte des 17. Jahrhunderts in die Notenproduktion und -ausgabe ein.

### 2.1.2 DIE ANFÄNGE DER BANKNOTE

Die Banknote ist Mitte des 17. Jahrhunderts in Gebrauch gekommen. Vor ihrer Existenz erfüllten, bis auf einige wenige Ausnahmen, Gold und Silbermünzen die Funktion von Zahlungsmitteln. Während die Aufdrucke der Banknote heute angeben, welchen Geldwert die Note hat, machten sie früher zunächst Angaben darüber »wie viel Geld die Notenbank für diese Note zu zahlen versprach« (Born 1972: 3). Großbritannien war Mitte des 17. Jahrhunderts das Industrie- und Handelsland. Es wurde zum Ursprungsland der Banknote (vgl. ebd.: 4). Damals gaben die reichen Einwohner Englands ihre Münzen und ihr Gold Goldschmieden oder Geldwechslern zu Verwahrung und erhielten als *Quittung* eine notenartige Bescheinigung.

Anlass zu dieser Anlage waren unter anderem die unsicheren Verhältnisse während des englischen Bürgerkriegs Mitte des 17. Jahrhunderts sowie die Eigenschaft der bequemen, weil leichten Zahlungsmittel (vgl. ebd.). Neben diesen quantitativen Gründen waren es auch die wachsenden wirtschaftlichen Dimensionen und die Tatsache, dass »für den Bedarf an Zahlungsmitteln in Produktion und Handel die eigenen Mittel nicht mehr ausreichten und somit Kredit nachgefragt wurde« (Weber 1970: 32).

Die Verwendung war derzeit nur innerhalb eines Ortes bzw. einer bestimmten Region möglich, da derjenige, der die Noten als Zahlungsmittel annahm, die Möglichkeit haben musste, diese auch gegen Gold oder Münzen einzulösen (vgl. ebd.: 4). »Die Erfahrung zeigte, dass niemals alle Dispositionsscheine, alle Noten, gleichzeitig zur Einlösung präsentiert wurden. Die Geldwechsler und Goldschmiede konnten also mehr Dispositionsscheine, mehr Noten ausgeben, als sie Münzgold oder Gold im Depot hatten« (Born 1972: 5). So beschafften sich die Inhaber der Depots schon damals Kredite und das Geschäft des Bankers bzw. des Privatbankiers entstand. Bald darauf wurde 1668 »die erste Notenbank auf Aktien« (ebd.: 5) gegründet. Im Laufe der Jahre entstanden immer mehr private Notenbanken mit eigenen Noten. In der Krise, nach dem Ende des napoleonischen Krieges (1816/17), gingen an die 90 private Notenbanken bankrott (vgl. ebd.: 6). Sie hatten das Problem, »bei vorsichtiger Notenemission den Geschäftsbedürfnissen nicht genügen zu können oder aber bei starker Notenemission ihre Fähigkeit zur Bareinlösung zu gefährden« (ebd.: 7). Man verlangte daher weitere Aktien-Notenbanken, da zu dieser Zeit nur die Bank of England als Aktien-Notenbank zugelassen war. Das Parlament kam dem Wunsch nach, erließ aber ein Gesetz, das es anderen Banken als der *Bank of England* verbot, im Umkreis von 65 Meilen um London Noten auszugeben. 1833 bestimmte das neue Bankgesetz, »daß die Noten der *Bank of England* in England und in Wales gesetzliches Zahlungsmittel sein sollten« (ebd.: 7). Das Ursprungsland der Banknote wurde also auch zum Vorreiter der Banknote als gesetzlichem Zahlungsmittel. Scheine, die zuvor in Umlauf waren, hatten keine staatliche Allgemeingültigkeit. Das System funktionierte aber noch nicht, da die *Bank of England* mehr Geld ausgab als ihr zur Verfügung stand. Darum musste sie Kredite bei ausländischen Banken aufnehmen, um

die Einlösungsbegehren zu erfüllen. Zwischen den Jahren 1797 und 1819 konnten die Noten daher nicht eingewechselt werden und hatten einen Zwangskurs (vgl. ebd.: 8). Der jahrzehntelange Streit zwischen Vertretern der sog. *Currency-Schule*, die die Banknoten zu Geld erklärte, und Anhängern der sog. *Banking-Schule*, die in den Banknoten ein Kreditmittel sah, entstand genau aus dieser Tatsache, dass in diesen 22 Jahren, zwischen 1797 und 1819, die Noten echtes Papiergeld waren. Die Noten hatten sich in dieser Zeit, wenn auch nur kurz, erstmalig von einem Ersatzmittel für ein hochwertiges Produkt (das Gold oder die Münzen), zu einem Wertgegenstand entwickelt.

Nach diversen Notenbankenkrisen (1816, 1825 und 1839) wurde der *Currency-Theorie*, die sich für eine Deckung der umlaufenden Banknoten zu zwei Dritteln durch Gold und zu einem Drittel durch staatliche Schuldtitel aussprach, Folge geleistet. Im Zuge dessen ging das Merkmal der Einlösbarkeit den Banknoten endgültig verloren. Es kam daher 1844 eine Neuregelung namens *Peel's Act* zustande, die den Weg für die Zentralnotenbank in England ebnete (vgl. ebd.: 9). Im Klartext bedeutete diese Regelung, dass keine neuen Notenbanken mehr gegründet und die bereits bestehenden privaten Banken ihren Notenumlauf nicht mehr erweitern durften. »Und wenn eine dieser privaten Notenbanken auf die Notenemission verzichtete oder das Emissionsrecht verlor – [...], so fiel ihr Notenemissionskontingent an die Bank of England als *Erbin*. Es dauerte Jahrzehnte, bis die englischen und walisischen Privatnotenbanken ihre Emission einstellten oder verloren: [...].« (ebd.: 9).

»Der ursprüngliche Charakter der Banknote wurde durch die Aufhebung der Einlöspflicht und die Erklärung zum gesetzlichen Zahlungsmittel grundlegend geändert. Die Banknote rückte zum allgemein verwendeten Geld auf« (Weber 1970: 21). Für die meisten Notensysteme dieser Welt waren das englische und das schottische System im Laufe ihrer Entwicklungen wegweisend. In Deutschland allerdings entwickelten sich die Notenbanken von einer staatlichen Notenbank zu vielen einzelnen privaten und öffentlichen Notenbanken und schließlich zur Reichsbank als zentraler Notenbank (vgl. Born 1972: 15).

Die älteste deutsche Notenbank war die 1765 von Friedrich dem Großen in Berlin gegründete Preußische Bank. Deren Banknoten galten allerdings nicht als gesetzliches Zahlungsmittel, sondern waren nur eine von vielen Noten im Umlauf (vgl. ebd.: 16). Erst 144 Jahre später (1905) wurden schließlich die Reichsbanknoten zum gesetzlichen Zahlungsmittel erklärt: »Gleichzeitig veranlaßte die Reichsbank die Wirtschaftsunternehmen, bei der Lohnzahlung bis auf das nötige Kleingeld Banknoten auszuzahlen« (ebd.: 20). 1944 wurden die Noten der Reichsbank zum definitiven Geld und die Noten der anderen Privatbanken konnten gegen diese eingelöst werden. Auf Grund dieser Allgemeingültigkeit der Reichsbanknote wird auch die Fälschungssicherheit, d.h. der Kopierschutz für das Währungssystem immer bedeutsamer. Dies belegt die Tatsache, dass das erste (wis-

senschaftlich belegte) Wasserzeichen auf Geldscheinen in den Jahren dieser gesetzlichen Umstrukturierung zu finden ist.<sup>17</sup>

Auch in allen anderen großen europäischen Ländern galten die Banknoten zu dieser Zeit als gesetzliches Zahlungsmittel (vgl. ebd.: 20). Im Unterschied zu den Anfängen der Banknoten, musste in Deutschland und Frankreich im 19. Jahrhundert nicht mehr der gesamte Geldumlauf mit Gold gedeckt werden. Die Banken waren lediglich dazu verpflichtet, die in Umlauf gebrachten Noten zu einem Drittel zu decken. Der sog. Goldstandard, also die Deckung einer Währung in Gold, besteht in Deutschland seit Anfang des 19. Jahrhunderts (Bankgesetz vom 14. März 1875, § 17)<sup>18</sup> nur noch theoretisch. Denn die Zentralbanken sind zwar zu einem Umtausch von Geld in Gold verpflichtet, das Bankgesetz vom März 1875 erlaubt aber ebenfalls einen Tausch in »courfähiges«<sup>19</sup> Geld. Früher waren das neben den Goldmünzen und Silbertalern auch Scheidemünzen und Kassenscheine. Seit 1971 haben goldbasierte Währungen nur noch theoretische Bedeutung. Der Dollar war die letzte goldbasierte Währung der Erde.<sup>20</sup>

Heute zirkuliert die Banknote nicht mehr als Geldsurrogat, sondern gilt als endgültiges Geld. »Die Einlösbarkeit bezieht sich nicht auf anderes Geld, sondern auf Güter« (Weber 1970). Derzeitige Währungen sind in der Regel manipulierte Papierwährungen und unterliegen keinem Währungsstandard. »An die Stelle eines Standards traten geldpolitische Maßnahmen der Zentralbanken, die eine Preisniveaustabilität sicherstellen sollen.«<sup>21</sup>

### 2.1.3 DEFINITION BANKNOTE

Aufgrund der oben kurz skizzierten Entstehung und Entwicklung soll hier die sog. moderne Definition der Banknote zugrunde gelegt werden. Sie wird »als ein von der Notenbank ausgegebenes, bar umlaufendes, papierförmiges Geld definiert« (Weber 1970: 38). Das Zahlungsverprechen ist unwichtig geworden und wird teilweise sogar abgelehnt. »Das Merkmal der Einlösbarkeit in seiner ursprünglichen Form besteht nicht mehr« (ebd.: 38). Vielmehr bilden die unmittelbare Verwendungsform und der bare Austausch das Kennzeichen in dieser Definition der Banknote. Sie allein gilt als Geld (vgl. Braudel 1985: 514-522).

Diese Definition bringt die These mit sich, dass mit der Entmaterialisierung des Geldes auch die Gefahr der Fälschung steigt. Daraus folgt die Notwendigkeit des Kopierschutzes.

17 Auf die Geschichte des Wasserzeichens in Deutschland wird im Kapitel 2.1.4.2. »Die ersten Wasserzeichen in Deutschland« näher eingegangen.

18 Vgl. Bankgesetz vom 14. März 1875, § 17, [http://de.wikisource.org/wiki/Bankgesetz#/C2.A7.\\_18.,\\_04.05.2010](http://de.wikisource.org/wiki/Bankgesetz#/C2.A7._18.,_04.05.2010).

19 Cour = frz. Hof.

20 Vgl. <http://www.numispedia.de/Goldstandard>, 01.03.2010.

21 <http://de.wikipedia.org/wiki/Goldstandard>, 01.03.2010.

## 2.1.4 DIE ENTWICKLUNG DER WASSERZEICHEN AUF BANKNOTEN

## 2.1.4.1 DIE ERSTEN WASSERZEICHEN

Mitte des 17. Jahrhunderts fand das Papiergeld seinen Weg nach Schweden. Dort sind die ersten Banknoten einer schwedischen Bank 1661 in Umlauf gekommen (s.o.). Zwischen 1662 und 1664 wurden erste Serien von Geldscheinen mit unterschiedlicher Wertigkeit herausgegeben. Doch die bekanntesten historischen schwedischen Banknoten stammen von einem Bankangestellten der Stockholmer Bank, John Palmstruch, aus dem Jahre 1666: die Palmstruchers. »Die Herstellung dieser Bankscheine erfolgte mittels dickem, handgefertigten Papier. Die Noten weisen die ersten Wasserzeichen Europas BANCO auf« (Van Damme 2008). Ebenfalls sehr früh, nämlich 1793, zierten Wasserzeichen die Währungen während der Französischen Revolution, die Assignaten (vgl. Keller 1955: 1). Dem Geldmuseum der Deutschen Bundesbank liegen Wertpapiere mit Wasserzeichen aus dem 18. Jahrhundert vor.

## 2.1.4.2 DIE ERSTEN WASSERZEICHEN IN DEUTSCHLAND

## §146

## Geldfälschung:

»Mit Freiheitsstrafe nicht unter einem Jahr wird bestraft, wer

1. Geld in der Absicht nachmacht, daß es als echt in Verkehr gebracht oder daß ein solches Inverkehrbringen ermöglicht werde, oder Geld in dieser Absicht so verfälscht, daß der Anschein eines höheren Wertes hervorgerufen wird

2. falsches Geld in dieser Absicht sich verschafft oder feilhält oder

3. falsches Geld, das er unter den Voraussetzungen der Nummern 1 oder 2 nachgemacht, verfälscht oder sich verschafft hat, als echt in Verkehr bringt

(2) Handelt der Täter gewerbsmäßig oder als Mitglied einer Bande, die sich zur fortgesetzten Begehung einer Geldfälschung verbunden hat, so ist die Strafe Freiheitsstrafe nicht unter zwei Jahren.

(3) In minder schweren Fällen des Absatzes 1 ist auf Freiheitsstrafe von drei Monaten bis zu fünf Jahren, in minder schweren Fällen des

Absatzes 2 auf Freiheitsstrafe von einem Jahr bis zu zehn Jahren zu erkennen.«<sup>22</sup>

#### §147

Inverkehrbringen von Falschgeld

(1) Wer, abgesehen von den Fällen des § 146, falsches Geld als echt in Verkehr bringt, wird mit Freiheitsstrafe bis zu fünf Jahren oder mit Geldstrafe bestraft.

(2) Der Versuch ist strafbar.«<sup>23</sup>

Seit der Einführung von Geld versuchen immer wieder, mehr oder minder geschickte Betrüger die jeweilige Währung zu fälschen und in Umlauf zu bringen. Schon 230 n. Chr. versuchte man innerhalb des Römischen Reiches mit Hilfe von Tongussformen die damaligen Denare in großem Stil zu fälschen.<sup>24</sup> Der – heutzutage – obligatorische Biss in eine Medaille auf dem Siegertreppchen diente derzeit unter anderem zur Überprüfung der Münzen. Gefälschte Taler waren häufig aus weicherem Metall und konnten daher durch die Kraft des Kiefers verformt werden. Dem gestellten Betrüger drohten schreckliche Strafen. Er wurde z.B. in siedendes Öl getaucht.<sup>25</sup>

In Deutschland traten Wasserzeichen auf Banknoten, verglichen mit der internationalen Entwicklung, einige Jahrhunderte später auf. Erstmals wissenschaftlich dokumentiert findet man das Wasserzeichen auf der 100-Mark-Reichsbanknote vom 07.02.1908 (vgl. Rosenberg 2001: 37). Schon damals wusste man um den Schaden von Falschgeld und drohte auf den späteren Reichsbanknoten mutmaßlichen Fälschern mit dem Aufdruck: »*Wer Banknoten nachmacht oder verfälscht, oder nachgemachte oder verfälschte sich verschafft und in Verkehr bringt, wird mit Zuchthaus nicht unter zwei Jahren bestraft.*«<sup>26</sup> Ein Zusammenhang zwischen Wasserzeichen und Geldfälschungen liegt also sehr nahe. Von 450 Notengeldscheinen, die zu Beginn des ersten Weltkriegs 1914 erschien, weisen trotzdem gerade zehn ein Wasserzeichen als Sicherheitsmerkmal auf (vgl. Keller 1955: 2). »Mit der Entwicklung des Papiergeldwesens im 19. Jahrhundert verfeinerte sich auch die Banknotentechnik. Allmählich führte jede notenberechtigte Bank ihr eigenes Wasserzeichenpapier, vielfach freilich nur primitiver Art, lediglich auf einer geraden Linie oder längs der 4 Ränder des Scheins den Banknamen in hellen

22 <http://dejure.org/gesetze/StGB/146.html>, 01.03.2010.

23 <http://dejure.org/gesetze/StGB/147.html>, 01.03.2010.

24 Vgl. <http://www.datensicherheit.de/aktuelles/sechs-roemische-denare-als-sensationeller-informationslieferant-827>, 01.03.2010.

25 Vgl. <http://www.datensicherheit.de/aktuelles/sechs-roemische-denare-als-sensationeller-informationslieferant-827>, 01.03.2010.

26 <http://www.briefmarkenhaus-heubach.de/blog?p=461>, 01.03.2010.

Blockbuchstaben zeigend« (ebd.: 1). Verwendete Muster waren damals der Raute stern, das Mühlrad, das Z-Muster, die Schuppen, die Wellenbündel und die Kreise (vgl. ebd.: 2). Damals wurden auf einen Schein mehrere Muster gedruckt – doch die vielen verschiedenen Wasserzeichen machten es für die Bevölkerung schwer, die Echtheit der Banknote auszumachen (vgl. ebd.: 2). »Erst mit dem Aufkommen der Kleingeldscheine seit 1917 entstand allmählich ein größerer Bedarf, und eine wachsende Zahl von Papierfabriken nahm die Herstellung von Wasserzeichen auf« (ebd.: 2). In den 1920er Jahren entstanden auf Grund der Inflation in Deutschland und den tausenden Ausgaben von Banknotenbogen viele Variationen von Wasserzeichen (vgl. ebd.: 2). Die Drucke reichten von verschiedenen Mustern bis zu aufwendigen Kombinationen von Figuren und Elementen. Die meisten dieser Wasserzeichen waren sehr prägnant und tauchten in einer begrenzten Anzahl auf dem jeweiligen Schein auf. Einige bedeckten jedoch die komplette Note.

Im Laufe der Jahre lässt sich ein gewisser Wechsel der Gestaltung der Wasserzeichen feststellen. Ältere, oben genannte Wasserzeichenmuster treten weniger auf. Es erscheinen neue Motive – weniger aus dem Grund des Geschmacks, sondern vielmehr aus der Notwendigkeit des Kopierschutzes, da Restbestände von Wasserzeichenpapier für andere Zwecke verwendet oder einfach verkauft wurden. Geldfälscher hatten daher leichtes Spiel. Mit den neuen Motiven kam gleichzeitig auch eine kompliziertere Herstellungstechnik mit heller und dunkler Wirkung in Gebrauch (vgl. ebd.: 3-5). Nach dem Zweiten Weltkrieg, genauer seit der Einführung der Banknoten der späteren Bundesrepublik Deutschland ab 1948, stellte man deren Wasserzeichen mit Hilfe einer Technik her, in der man grünes oder lila Färbemittel auf das immer noch feuchte Papier aufgoss. Die Folge war daher ein farbiges Wasserzeichen. Viele dieser deutschen Noten favorisierten geflochtene Kabel- oder säulenartige Wasserzeichenmuster, die bei der Gestaltung des Scheines berücksichtigt und so Teil des Designs wurden. Alle Noten wurden von der Bank deutscher Länder herausgegeben.

#### 2.1.4.3 DIE FRÜHE GESCHICHTE DER WASSERZEICHEN AUF BANKNOTEN WELTWEIT

In anderen Ländern der Welt trat das Wasserzeichen zu der jeweiligen Währungsnote am Randbereich der Note, oder in einem ovalen Feld ohne sonstigen Druck, auf. Im Folgenden seien einige Beispiele internationaler Wasserzeichenmuster aufgeführt. *Hammer und Sichel* setzte sich z.B. 1923 als das offizielle Symbol des Kommunismus durch und taucht als Wasserzeichen in den Währungen von der Sowjetunion und anderer kommunistischer Länder auf. Während des Zweiten Weltkriegs, als die Japaner die Philippinen besetzten, tauchten auf den philippinischen Peso-Scheinen<sup>27</sup> niederer Wertigkeit breitblättrige Pflanzen als Wasserzeichen in nicht bedruckten Bereichen der Banknoten auf. Manche britische Noten

---

27 Philippinisch = piso.

bildeten ein vertikales Motiv ab, auf dem sich ein Kopf oder ein Portrait drei- bis fünfmal über den Schein hinweg wiederholten. Auch die Taube als Zeichen des Friedens findet man auf verschiedenen Banknoten, wie z.B. auf dem 500-Franc-Schein der Zentralbank der Republik Guinea. Ein sehr schönes Wasserzeichen auf einer Währung ist der große struppige Löwenkopf auf den Noten der Zentralbank von Kenia. Genau wie das Wasserzeichen, das den lockigen und gehörnten Kopf eines Schafsbocks auf der Banknote der Zentralbank von Zypern abbildet (vgl. Crummett 1982).

## 2.2 DAS WASSERZEICHEN AUF DER EURO-BANKNOTE

Seit 1999 existiert die Europäische Währungsunion (EWU) mit dem Euro als gemeinsamer Währung. Die Euro-Banknoten galten bei ihrer Einführung am 1. Januar 2002 als vermeintlich sicher.<sup>28</sup> Von diesem Wunschdenken hat man sich allerdings schnell verabschiedet.

»Inzwischen steigt die Zahl der beschlagnahmten Euro-Blüten stetig an, und zwar mit einer jährlichen Wachstumsrate von etwa 30 Prozent. Im Jahr 2004 wurden in Deutschland bereits über 80.000 gefälschte Banknoten eingezogen, europaweit lag diese Zahl bei etwa 525.000 Euro-Blüten.«<sup>29</sup>

Gute Fälschungen sind allerdings schwer herzustellen. Dafür sorgen die zahlreichen Sicherheitsmerkmale der Euro-Banknoten.

### 2.2.1 HERSTELLUNG DER EURO-BANKNOTE – DIE PAPIERHERSTELLUNG

Bereits bei der Papierherstellung beginnt der Prozess der Einarbeitung verschiedener Sicherheitsmerkmale. Baumwolle bildet das Rohmaterial der Euro-Banknote. Sie wird zu einem Brei verarbeitet, der schon in flüssigem Zustand in der entsprechenden Wertfarbe eingefärbt wird. Diese Farbe ist eine Spezialfarbe, die auf Kopiergeräten nur schlecht wiedergegeben werden kann. Außerdem werden der Papierrohmasse fluoreszierende Fasern zugesetzt, die nur unter UV-Licht sichtbar werden. Dafür sind im Handel Geräte erhältlich. Dieser Methode der Echtheitsüberprüfung bedienen sich vor allem Geschäfte. Nach Fertigstellung des Papierbreis wird die Masse auf ein Siebgewebe geschüttet, auf das zuvor der Sicherheitsfaden geführt wurde. Dieser »besteht aus einer Kunststoffolie, die mit Aluminium beschichtet ist und helle Mikroschriften auf dunklem Untergrund enthält«.<sup>30</sup> »Feine Siebe, auf einen Zylinder gespannt, schöpfen aus einer mit Baum-

28 Vgl. [http://www.focus.de/finanzen/banken/euro-banknoten\\_aid\\_114045.html](http://www.focus.de/finanzen/banken/euro-banknoten_aid_114045.html), 01.03.2010.

29 <http://www.urbs.de/archiv/geld/change.htmgeld153.htm>, 01.03.2010.

30 Diese Angaben stammen von den Erklärungstafeln des Geld-Museums der Deutschen Bundesbank in Frankfurt. Besuch am 01.03.2010.

wollbrei gefüllten Wanne eine endlose Papierbahn« (Deutsche Bundesbank 1995: 25). In dieses Siebgewebe sind die Wasserzeichen bereits eingeprägt und das Wertwasserzeichen aufgelötet.

Durch die Prägungen legt sich der Baumwollbrei ungleich auf das Sieb, so dass das fertige Papier an einer Erhöhung des Siebes dünner oder an einer Vertiefung dicker wird. Das echte Anlagerungswasserzeichen entsteht genau durch diese Variierung der Papierdicke während der Papierherstellung. Diese unterschiedliche Papierstärke sorgt für das typische optische Merkmal des echten Wasserzeichens auf Banknoten: den nahezu stufenlosen und feinen Übergängen von hellen zu dunkleren Bereichen. Sie geben dem Wasserzeichen auch den Namen des Mehrtonwasserzeichens. Auf der Euro-Banknote bildet das Architekturmotiv am Rand des Scheins das Mehrtonwasserzeichen und die Wertzahl des Scheines das Drahtwasserzeichen. Das Drahtwasserzeichen besteht aus feinen Linien wie z.B. Buchstaben und Zeichen. »Zur Herstellung der Wasserzeichen wird dünner, rostfreier Draht gebogen und mit Metallfäden spiegelverkehrt auf das Schöpfsieb genäht. Da sich die Fasern auf dem Drahtgebilde in dünnerer Schicht ablagern als in der Umgebung, erscheint das Wasserzeichen in der Durchsicht hell.«<sup>31</sup> Eine dritte Form des Wasserzeichens stellt das Balkenwasserzeichen in der Mitte des Scheins dar. Mehrtonwasserzeichen und Drahtwasserzeichen bilden durch die unterschiedliche Papierdicke eine Reliefdarstellung. Das Papier wird somit dreidimensional und weist Merkmale einer Raumstruktur auf, die sich nur durch Erasten bemerkbar machen. Die Sicherheitsmerkmale sprechen also verschiedene Sinneskanäle an. Dadurch wird die Sicherheit vergrößert.

Die Urform des Wasserzeichens ist eine Wachsschabung, aus der nach mehrfacher Veränderung »der Prägestempel zur Herstellung des Wasserzeichensiebes entsteht«. Er stempelt »das Motiv des Wasserzeichens in das Drahtgewebe des Rundsiebs«. Von dieser Urform kann man durch die Vielzahl an Korrektur- und Übertragungsvorgängen nur schwer auf das Erscheinungsbild des fertigen Wasserzeichens schließen (vgl. Deutsche Bundesbank 1995: 21). Es ist daher nicht ungewöhnlich, dass das fertige Wasserzeichen den Wünschen und Vorstellungen der Planer und Handwerker nicht immer entspricht und eine neue Urform gestaltet werden muss. Trotz dieser Schwierigkeiten hält man auf Grund der einfachen Handhabung für den Nutzer, dem hohen Wiedererkennungswert und des etablierten Schutzes an dieser Art der Herstellung fest. Wer könnte z.B. auf Anhieb sagen, woran man ein gefälschtes Hologramm – auch ein Sicherheitsmerkmal von Banknoten (s.u.) – erkennt?<sup>32</sup>

Hält man die fertige Banknote gegen das Licht, erscheint das Wasserzeichen auf beiden Seiten des unbedruckten Bereichs. Das echte Wasserzeichen besitzt die Eigenschaft der Helligkeitsumkehr. Gegen das Licht betrachtet erscheinen da-

31 [http://papiermuseum.freyerweb.at/RZ\\_FOLDER\\_19%2004%2007.pdf](http://papiermuseum.freyerweb.at/RZ_FOLDER_19%2004%2007.pdf), 01.03.2010.

32 Vgl. den Beitrag von Jens Schröter im Heft »Kulturen des Kopierschutzes I«.

her Bildelemente, die vor einem dunklen Hintergrund hell zu sehen waren, plötzlich dunkel und umgekehrt.

Für die Gestaltung der Euro-Banknote, also auch des dazugehörigen Wasserzeichenmotivs, gab der Rat des Europäischen Währungsinstituts (EWI) die Themen *Zeitalter und Stile* und *Abstraktes und Modernes Design* vor. Der europaweite Wettbewerb begann 1996. In den nationalen Zentralbanken gingen daraufhin 44 Vorschläge verschiedener Künstler ein. Pro Thema wählte die Jury fünf Entwürfe aus. Diese wurden in einer öffentlichen Meinungsumfrage in 14 Mitgliedsstaaten der EU auf ihre Akzeptanz getestet. Nach Abschluss dieser Umfrage entschied sich der EWI-Rat für den Entwurf des österreichischen Nationalbankmitarbeiters Robert Kalina (vgl. Berliner Zeitung 1996).

In einer langen Phase des Feuchtigkeitsentzugs, der Trocknung, der Oberflächenleimung und der Glättung wird die Papierbahn der zukünftigen Banknote aufgerollt und in druckfertige Bögen zerteilt.

## 2.2.2 HERSTELLUNG DER EURO-BANKNOTE: DIE DRUCKVERFAHREN UND WEITERE SICHERHEITSMERKMALE

In einem Siebdruckverfahren wird die Farbe mit einem Rakel (Kratzeisen oder Abstreichholz) über ein feines Sieb aus Polyester gestrichen, welches an den zu bedruckenden Stellen der Bögen, farbdurchlässig ist. Dieses Verfahren ermöglicht eine dicke Farbdeckung, die für den Einsatz von Effektpigmenten nötig ist. Mit diesem Druck wird der Euro-Banknote ihre Wertzahl gegeben, die je nach Betrachtungswinkel ihre Farbe ändert. Man spricht dabei von einer optisch variablen Farbe (vgl. Renesse 2005). Den nächsten Schritt in der Herstellung einer Euro-Note bildet der Simultandruck. Mit dieser Drucktechnik werden Vorder- und Rückseite des Scheines passgenau und gleichzeitig bedruckt. »Die Elemente der Druckplatten werden von Farbwalzen eingefärbt und die kompletten Druckbilder für Vorder- und Rückseite auf zwei Sammelzylinder übertragen. Diese bedrucken anschließend (simultan) beide Seiten des Druckbogens.«<sup>33</sup> In diesem Schritt werden zudem mehrfarbige Bildelemente auf beide Scheinseiten gedruckt. Das Durchsichtsregister ist ebenfalls auf der Vorder- und Rückseite angebracht. Hält man den fertigen Schein später gegen das Licht, erscheint im Durchlicht die Wertzahl.

Die Folienelemente (kleines Folienquadrat und Folienstreifen) sind auf der Vorderseite der Noten zu sehen. Sie erhalten Hologramme, welche durch Bewegung der Banknote entweder das Architekturmotiv oder die Wertzahl zur Erscheinung bringen. Diese sog. Heißprägefolien erhöhen in hohem Maße die Fäls-

33 Zitat von den Erklärungstafeln des Geld Museums der Deutschen Bundesbank in Frankfurt. Besuch am 27.09.2009.

schungssicherheit und werden nach Fertigstellung unter Einsatz von Hitze und Druck auf das Banknotenpapier aufgebracht.<sup>34</sup>

Ebenfalls unter hohem Druck wird im Anschluss das Papier in die mit Farbe gefüllte Druckplatte gepresst. Dieser Stichtiefdruck schafft ausschließlich an der Vorderseite der Note ein fühlbares und sichtbares Relief. Die Dreidimensionalität wird also unter anderem durch den Schriftzug weiter verstärkt. »Im letzten Druckgang wird jede Banknote mit einer eigenen Notenummer versehen.«<sup>35</sup> Weitere Sicherheitsmerkmale der Banknote sind außerdem der Perlglanzstreifen und das Infrarot-Merkmal. »Mit Hilfe eines Infrarotgeräts werden der rechte Teil des Stichtiefdrucks und der Folienstreifen sichtbar.«<sup>36</sup>

Zudem sichert die neue Pit Signal Processing-Technologie (PSP), zur Herstellung farblicher Signale, die Banknoten Diese PSP Technologie kann in die farbliche Gestaltung des Scheins eine Signalstruktur integrieren, die von Kopierern und Scannern u.U. erkannt werden kann.<sup>37</sup> Praktisch heißt das, dass der Kopierer ein einfaches geometrisches Muster bestehend aus fünf, ein Millimeter großen Kreisen in verschiedenen Farben (meistens gelb, aber auch grün und orange), sucht. Dieses Muster kann mit einem passenden Filter leicht aufgespürt und auf die entsprechenden Charakteristika überprüft werden. Findet der Scanner (oder ähnliches) solche Muster, verweigert er den Auftrag. Der Euro verfügt also über technisch hoch moderne, optische und taktile Sicherheitsmerkmale.

Dieses aufwändige Herstellungsverfahren mit den vielfältigen grafischen Elementen, verschiedenen Druckvorgängen und den Sicherheitsmerkmalen nach den Prinzipien »Fühlen, Sehen, Kippen« sorgen dafür, dass die Banknoten des Euros nur schwer zu fälschen sind. Zudem schaffen sie eine hohe Sicherheitsredundanz. Auf vielen verschiedenen Ebenen wird Sicherheit erzeugt. Selbst wenn man einige Merkmale vergisst oder nicht alle Sinne ausgeprägt sind, bleiben weitere Merkmale zur Überprüfung der Echtheit des Scheins. Genau das bedeutet Sicherheit. Einen 100-prozentigen Kopierschutz wird es aber wohl nie geben.

### 3 DIGITALE WASSERZEICHEN

#### 3.1 EINLEITUNG

Wie bereits gezeigt, kennzeichneten Papierhersteller bereits im 13. Jahrhundert ihre Handelsobjekte mit Wasserzeichen, um Herkunft und Qualität zu dokumentieren. Ähnliches wird durch das Anbringen von digitalen Wasserzeichen versucht:

34 Vgl. den Beitrag von Jens Schröter im Heft »Kulturen des Kopierschutzes I«.

35 Zitat von den Erklärungstafeln des Geld Museums der Deutschen Bundesbank in Frankfurt. Besuch am 01.03.2010.

36 [http://www.bundesbank.de/bargeld/bargeld\\_banknoten\\_sicherheits-merkmale.php#infrarot](http://www.bundesbank.de/bargeld/bargeld_banknoten_sicherheits-merkmale.php#infrarot), 01.03.2010.

37 Vgl. <http://www.kurzefrage.de/computer-internet/111850/Geldscheine-scannen>, 01.03.2010.

Der zunehmende Einsatz digitaler Wasserzeichen in Text-, Bild- oder Tondaten erklärt sich aus der Sorge um das Geistige Eigentum, denn der weltweite Zugriff auf digitale Daten über das Internet birgt eine hohe Gefahr der illegalen Vervielfältigung (vgl. Cox 2001: 9). Digitale Wasserzeichen werden direkt in das Datenmaterial eingefügt, allerdings im Gegensatz zu papierbasierten Wasserzeichen in meist nicht wahrnehmbarer Weise (vgl. Schmitz 2006: 93), und dienen dem Nachweis der Authentizität und Integrität der Ursprungsdaten (vgl. Dittmann 2000: 26).

Was sich zunächst einfach anhört, erweist sich jedoch als kompliziert. Um den Einstieg in die Materie zu vereinfachen, sollen die Grundlagen digitaler Wasserzeichen dargestellt werden, um daran anknüpfend auf verschiedene Anwendungsmöglichkeiten des Digital Watermarking eingehen zu können (vgl. Achziger 2003). Danach soll ein Überblick verschiedener Wasserzeichenverfahren gegeben werden (Schutz von Bild-, Audio-, Video- und 3D-Modellen), um nicht zuletzt deren Vor- als auch Nachteile aufzuzeigen.

Auch wenn sich digitale Wasserzeichen seit Anfang der 1990er Jahre im Einsatz befinden (vgl. Koch 2002: 200), so ist die Forschungsarbeit auf diesem Gebiet noch längst nicht abgeschlossen, da alle bisherigen Wasserzeichenverfahren leicht zu umgehen sind. Abschließend soll deshalb der aktuelle Forschungsstand aufgezeigt sowie ein Blick in die Zukunft unternommen werden.

## 3.2 GRUNDLAGEN DIGITALER WASSERZEICHEN

### 3.2.1 VORREITER DIGITALER WASSERZEICHEN: KRYPTOLOGIE UND STEGANOGRAPHIE

»Ibich habibebi dibich,  
Lobittebi, sobi liebib.  
Habist aubich dubi mibich  
Liebibä Neibin, verbirgibib.

Nabih obidebir febirn  
Gobitt seibi dibir gubit.  
Meibin Hebirz habit gebirn  
Abin dibir gebirubiht.«  
Jochachim Ringelnatz

Die klassische Literatur lehrt uns, dass wo immer eine verliebte Julia ihrem geliebten Romeo eine geheime Nachricht zukommen lassen möchte, ein finsterner Bösewicht im Hintergrund lauert und nur darauf wartet das Brieflein abzufangen, um die Nachricht zu verfälschen und das junge Glück zu zerstören (vgl. Beutelspacher 2007: 1).

Manchmal sind die Verliebten die Leidtragenden, oftmals sind es Internetnutzer, Aktionäre, Diplomaten – kurz alle, deren Alltag aus dem Verschicken ver-

traulicher Nachrichten besteht (vgl. ebd.: 2). Doch was sind die Gegenmaßnahmen, um Angreifer an ihren illegalen Taten zu hindern? Hätte man Julia die Gelegenheit gegeben über eine Lösung für dieses Problem nachzudenken, sie wäre möglicherweise auf die Idee gekommen, sämtliche Buchstaben ihrer Nachricht durch andere Buchstaben, Symbole oder Zahlen auszutauschen. Natürlich ist es kein Können, eine Nachricht so zu verunstalten, dass kein Mensch mehr etwas mit ihr anfangen kann. Laut Beutelspacher besteht die eigentliche Hauptschwierigkeit für die Kryptologie darin, die Mitteilung so zu transformieren, dass niemand außer dem berechtigten Empfänger diese decodieren kann (vgl. ebd.: 2). Dieser Code, welcher nur dem betreffenden Empfänger vorliegt, wird in der Kryptologie als Schlüssel bezeichnet. Die klassischen Verschlüsselungsverfahren sind so angelegt, dass Sender und Empfänger einen gemeinsamen geheimen Code vereinbaren, mit dem der Sender Nachrichten verschlüsseln kann, während der Empfänger in der Lage ist, sie wieder zu entschlüsseln (vgl. Neymanns 2001: 52-58).<sup>38</sup>

Kurz zur Terminologie: Der Terminus der Kryptologie umfasst die Wissenschaft von der Geheimhaltung von Nachrichten. Zu den einzelnen Methoden der Kryptologie zählt u.a. das eng verwandte Verfahren der Steganographie. Bei der Steganographie geht es weniger darum eine Nachricht zu transformieren, sondern vielmehr darum, die Tatsache zu verbergen, dass gerade in diesem Moment eine Nachricht verschickt wird (vgl. Meyn 2003: 21; Werber 2004). Solche Verfahren wurden schon vor rund zweitausend Jahren von römischen Feldherren angewandt, um während der Kriegszeit wichtige Mitteilungen versteckt zu übertragen. So berichtet der griechische Geschichtsschreiber Herodot (490-425 v.Chr.), dass römische Adelige geheime Botschaften auf die kahl geschorenen Köpfe ihrer Sklaven tätowieren ließen. Eine zeitaufwändige Prozedur, denn erst, nachdem die Haare der Sklaven nachgewachsen waren, wurden sie zum Empfänger geschickt. Erreichte der Bote sein Ziel, rasierte man ihm seine Haare erneut ab und die Nachricht kam zum Vorschein (vgl. Klein 2007: 85).

Heutzutage verstecken moderne steganographische Verfahren geheime Nachrichten nicht mehr auf Köpfen, sondern beispielsweise in digitalen Bildern (vgl. ebd.: 86; vgl. Petitcolas et al. 1999). So können in einer Computergrafik einzelne Informationen verborgen eingeschleust werden, ohne dass diese für den Betrachter wahrnehmbar sind – zumindest nicht auf den ersten Blick und nur mit enormer Aufmerksamkeit (vgl. Meyn 2003: 21). Eine weitere Methode der Steganographie lässt sich auch in der digitalen Telekommunikation finden. Beim Telefonieren im ISDN können geheime Daten unhörbar über digitalisiertes Rauschen übertragen werden, ohne dass ein ungebetener Mithörer auf die Idee kommen würde, hier ginge es um etwas anderes als z.B. das tatsächliche Besprechen einer

---

38 Vgl. als sehr gut lesbare Einführung in die Geschichte der Verschlüsselung überhaupt Singh (2000), insb.: Kapitel 6-8 zur Verschlüsselung digitaler Daten unter Berücksichtigung neuerer Verfahren wie asymmetrischer Verschlüsselung und Quantenkryptographie.

Reise (s.u., vgl. ebd.: 21f.). Der Ursprung digitaler Wasserzeichen ist demnach in der Steganographie zu lokalisieren, da digitale Wasserzeichen nach Möglichkeit *verborgen* in die zu schützenden Daten eingebettet werden. Folgendes Beispiel aus der Steganographie soll diesen Sachverhalt verdeutlichen.

### 3.2.1.1 VERSTECKTER NOTRUF

Dass es sich bei nachstehendem Urlaubsgruß um eine geheime Botschaft respektive Hilferuf handelt, ist für einen Außenstehenden auf den ersten Blick nicht ersichtlich: *»Liebe Kollegen! Wir genießen nun endlich unsere Ferien auf dieser Insel vor Spanien. Wetter gut, Unterkunft auch, ebenso das Essen. Toll! Gruß, X.Y.«* (Dittmann 2001).

Um die geheime Nachricht entschlüsseln zu können, müssen je acht Wörter aus dem Text in Blöcke unterteilt werden. In diesem Fall entstehen bei der Unterteilung drei Blöcke. Für jeden erhaltenen Block werden nun die Buchstaben der einzelnen Wörter gezählt. Notiert man im Anschluss für sämtliche Wörter, die eine gerade Anzahl von Buchstaben haben eine »1« und bei ungerader Buchstabenanzahl eine »0«, so erhält man folgende Biteinheiten:

Block 1. Wörter: 1-8: 0101 0011  
 Block 2. Wörter: 9-16: 0100 1111  
 Block 3. Wörter: 17-24: 0101 0011

Nun wird jeder Biteinheit die entsprechende Dezimalzahl zugeordnet, um letztendlich für diese Zahl den entsprechenden Buchstaben aus dem ASCII-Alphabet<sup>39</sup> ermitteln zu können. Bei Anwendung dieses Verfahrens erhält man sowohl für den ersten als auch für den dritten Block den Buchstaben »S«, während sich für den zweiten Block ein »O« ergibt. Reiht man die Buchstaben aneinander, entsteht der, für einen unwissenden Betrachter überhaupt nicht wahrnehmbare, Notruf »S O S« aus diesem harmlos erscheinenden Urlaubsgruß. Diese »Nicht-Wahrnehmbarkeit« zeichnet die digitalen Wasserzeichen aus, obwohl sie in ihrer Ausprägung in manchen Fällen auch als wahrnehmbare bzw. sichtbare Wasserzeichen auftreten. So kennt man aus dem Fernsehen Wasserzeichen in Form von Senderlogos (vgl. Hlawatsch 2002).

39 »Üblicherweise codieren Computer Buchstaben im ASCII-Alphabet. Da das ASCII-Alphabet die Kodierung in einem Byte durchführt, kann es nicht sämtliche landestypischen Zeichen aufnehmen, daher wurden zu Beginn sog. (landestypische) Codepages eingeführt. Auch diese genügen jedoch nicht, um sämtliche chinesischen Schriftzeichen zu kodieren. Hierzu wurde Unicode geschaffen. Dabei handelt es sich um ein neues Alphabet, welches die Kodierung der Zeichen in einem Wort (2 Bytes) vornimmt. Damit können 65.536 Wörter verschiedene Zeichen in Unicode kodiert werden. So gibt es zum Beispiel für das Zeichen / (der Schrägstrich) den ASCII-Code 0x2f und den Unicode 0xc11c.« (Spenneberg, 2005: 303)

## 3.2.2 ANWENDUNGSGEBIETE UNSICHTBARER DIGITALER WASSERZEICHEN

Unsichtbare Wasserzeichen werden für das menschliche Hör- und Sehvermögen möglichst unauffällig eingebracht, so dass die Originaldatei nicht mehr vom markierten Datenmaterial zu unterscheiden ist. Sie lassen sich weiter in die Kategorien robust und fragil differenzieren, während sichtbare Wasserzeichen nicht weiter zu untergliedern sind (vgl. Abb. 11).

Die letzte Zeile des Diagramms verweist auf die unterschiedlichen Anwendungsgebiete der klassifizierten Verfahren. Robuste Wasserzeichen kommen beispielsweise bei der Urheberidentifizierung zum Einsatz, wobei die zur Verbreitung hergestellten Kopien eines Datensatzes mit einem Urheber- oder Copyrightvermerk versehen werden (vgl. Dittmann 2000: 30). Das Anwendungsgebiet der Kundenidentifizierung kennzeichnet sich durch die Einbettung eindeutiger Kundeninformationen, wie zum Beispiel Fingerabdrücke. Diese werden in das Datenmaterial inkludiert und tragen so zu einem hohen Sicherheitsstandard bei.

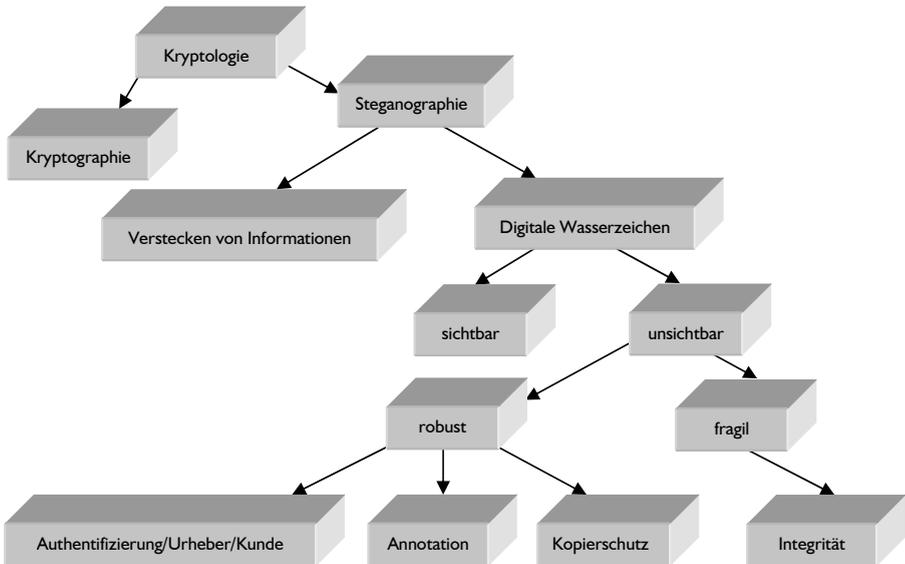


Abb. 11: Klassifikation digitaler Wasserzeichen (nach Dittmann 2001; vgl. Dittmann/Wohlbacher 2000: 119).

Eine ähnliche Vorgehensweise findet sich auch in der Annotation des Datenmaterials. Hier arbeitet man jedoch nicht mit Fingerabdrücken, sondern integriert zusätzliche Metainformationen wie Lizenzhinweise oder Szenenbeschreibungen in das zu schützende Dokument (vgl. ebd.: 30). Weiterhin kann das Einbringen von Markierungen zur Durchsetzung des Kopierschutzes oder der Übertragungskontrolle eingesetzt werden.

Fragile Wasserzeichen haben nur einen Einsatzbereich: Integrität. Um die Unversehrtheit des Datenmaterials nachzuweisen, wird ein unsichtbares, zerbrechliches Wasserzeichen in das Dokument eingesetzt. So lassen sich eventuelle Manipulationen am Datenmaterial feststellen (vgl. Steinebach/Dittmann 2002: 263). Was jedoch das Erkennen des Zeitpunkts der Manipulation sowie des manipulierten Bildteils anbelangt, steckt die Forschung noch in den Kinderschuhen (vgl. Dittmann 2000: 133). Die Anforderungen an fragile Wasserzeichen erweisen sich jedoch als problematisch: Auf der einen Seite müssen sie durch unerwünschte Veränderungen beeinträchtigt werden, auf der anderen Seite müssen sie stabil genug sein, um unproblematische Manipulationen wie z.B. Skalierungen und Kompressionen zu überstehen, damit sie überhaupt eingesetzt werden können.

### 3.2.3 ANFORDERUNGEN

Die genannten Einsatzgebiete setzen bestimmte Eigenschaften digitaler Wasserzeichen voraus, damit sie ökonomisch verwendet werden können (vgl. zum Folgenden Dittmann/Wohlbacher 2000: 118; Achziger 2003).



Abb. 12: Das rechte Bild erscheint hier in seiner Qualität durch Wasserzeichen stark verwascht (vgl. Hlawatsch 2002).

Die Einbettung *robuster Wasserzeichen* erfolgt, um sowohl versehentlichen als auch beabsichtigten Transformierungen am Datenmaterial vorzubeugen, beispielsweise geometrische Modifikationen, Verschiebungen oder Skalierungen. Doch die Anforderung ein Dokument gegen jegliche Transformationen widerstandsfähig erscheinen zu lassen, wirft besonders für den Schutz von Bilddaten ein Problem auf. Denn je robuster ein Bild vor Manipulationen geschützt wird, desto größer ist das Risiko eines Qualitätsverlustes des Bildes (vgl. Hlawatsch 2002). Es gilt also abzuwägen, ob eine möglichst hohe Robustheit erzielt werden soll, was zwangsläufig eine Verminderung der Qualität voraussetzt, oder ob auf Resistenz des Wasserzeichens verzichtet werden kann, um ein visuell besseres Ergebnis zu erreichen.

- 1) Um einen Qualitätsverlust von vornherein zu umgehen, ist die Einbettung fragiler Wasserzeichen in das Datenmaterial sinnvoll. Doch diese Wasserzeichenart ist eben nicht widerstandsfähig und lässt sich im Fall, dass der Angrei-

- fer über das entsprechende Wissen verfügt, leicht entfernen. (vgl. Hlawatsch 2002).
- 2) Von einer *Nicht-Detektierbarkeit* ist die Rede, wenn sich keine statisch signifikanten Unterschiede zwischen dem zu schützenden Datenmaterial und dem Originaldokument erkennen lassen. Ein vermeintlicher Angreifer kann daher nicht ermitteln, ob ein Wasserzeichen im Dokument präsent ist oder nicht.
  - 3) Die Bezeichnung *nicht-wahrnehmbares Wasserzeichen* wird benutzt, wenn eine Unterscheidung zwischen gekennzeichnetem Datenmaterial und Originaldokument weder mithilfe des Seh- noch des Hörsinns erfolgen kann.
  - 4) *Security* ist die Resistenz eines Wasserzeichens gegenüber gezielten Attacken. Bei hoher *Security* ist das Fälschen oder Zerstören eines Wasserzeichens kaum möglich, es sei denn, der Angreifer beherrscht nicht nur das Wasserzeichenverfahren, sondern kennt ebenso den dazugehörigen, geheimen Schlüssel.
  - 5) Die *Komplexität*: Dieser Parameter benennt die Mühen, die notwendig sind, um das Wasserzeichen einzubringen bzw. wieder auszulesen. Er legt auch fest, ob zum Identifizieren des Wasserzeichens das Originalbild verwendet werden muss oder nicht.
  - 6) Die *Kapazität* benennt die maximale Menge an Wasserzeicheninformationen, welche in die Originaldatenstruktur inkludiert werden können.
  - 7) *Geheime vs. öffentliche Verifikation*.<sup>40</sup> Hierbei geht es um die Frage, ob es nur einer spezifischen Personengruppe möglich ist, das Wasserzeichen auf seine Richtigkeit zu beglaubigen. Bei einer geheimen Verifikation soll nur der Urheber selbst oder eine dedizierte Expertengruppe dazu in der Lage sein. Im Gegensatz zur geheimen Verifikation bezieht sich die *öffentliche Verifikation* auf die öffentliche Prüfbarkeit des Wasserzeichens.

### 3.2.4 EINEBETTUNG DIGITALER WASSERZEICHEN

Wie findet jedoch nun das Wasserzeichen seinen Weg in das Datenmaterial? Zunächst sei festgehalten, dass ein Wasserzeichenalgorithmus sowohl aus einem Einbettungs-, als auch aus einem Abfrage- bzw. Ausleseprozess besteht.

Die Entwicklung verschiedener Algorithmen basiert auf dem Gedanken, Wasserzeichen so zu verschlüsseln, dass diese durch Fremdeinwirkung nur in zerstörter Weise aufgespürt werden können. Die Geheimhaltung der Einbettungsalgorithmen ist deshalb von oberster Priorität, denn nur mittels des geheimen Schlüssels kann die Sicherheit der Daten gewährleistet werden. Der Einbettungsprozess vollzieht sich, indem die Wasserzeicheninformation, bestehend aus Ur-

---

40 »Geheim, nur vom Markierer oder einer bestimmten Gruppe von Personen (Private Watermarking, manchmal auch als symmetrisches Wasserzeichen bezeichnet), öffentlich (Public Watermarking, manchmal auch als asymmetrisches Wasserzeichen bezeichnet)« (Dittmann 2000: 31; vgl. hierzu auch Neymanns 2001).

heberinformationen oder Metadaten, in das zu schützende Datenmaterial integriert wird, wobei die Wasserzeicheninformationen mit einem Muster, zum Beispiel einem Pseudorandommuster, markiert werden (vgl. Schmitz 2006: 97-105 zu den kommunikationstheoretischen Grundlagen). Diese Platzierungen des Wasserzeichenmusters auf den digitalen Datenträger werden meist pseudozufällig<sup>41</sup> mittels des geheimen Schlüssels festgelegt (vgl. Dittmann 2000: 19f.).

Betrachtet man die allgemeine Vorgehensweise bei Wasserzeichenverfahren, lässt sich feststellen, dass diese auf den grundlegenden Techniken der Steganographie beruhen. Nach Dittmann (2000: 22) können mit der Methode der substitutionalen Steganographie digitale Datenmaterialien so verändert werden, dass lediglich der verrauschte oder der für den Menschen nicht wahrnehmbare Bestandteil der Daten durch Wasserzeichenmuster ersetzt werden muss. Anders dagegen die konstruktive Steganographie: Hier liegt keine Substitution der vorhandenen Rauschkomponenten vor, vielmehr beruht das Verfahren auf der Nachbildung von Signalen, basierend auf dem Modell des Originalgeräusches (vgl. Kanemann 2003: 6). Des Weiteren unterscheidet sich die konstruktive von der substitutionalen Steganographie insofern, als das Originaldaten nur leicht verändert und nicht komplett ersetzt werden können.

Rückblickend kann die Entwicklung digitaler Wasserzeichen große Fortschritte in den letzten Jahren verzeichnen. Die anfänglich entwickelten Verfahren für Bildmaterial lassen sich heutzutage problemlos auf Audio, Video und 3D-Modelle übertragen (s.u.). Handelt es sich jedoch beim Markieren von digitalen Wasserzeichen um Textdokumente oder Quellcode wird es problematisch: Geringfügige Änderungen in der Datei machen sich stets sofort bemerkbar, sodass der konventionelle Wasserzeichenalgorithmus, der beispielsweise für den Bildbereich klassischerweise eingesetzt wird, keine Anwendung findet. Um für Textdateien einen gewissen Schutz gewährleisten zu können, bietet sich die Möglichkeit digitale Wasserzeichen im Text in Form von Phrasen oder als Leerzeichen zu verbergen (vgl. Steinebach/Dittmann 2002: 261).

### 3.2.5 ATTACKEN AUF DIGITALE WASSERZEICHEN

Obwohl die technische Entwicklung digitaler Wasserzeichen in den letzten Jahren stetig vorangetrieben wurde, sind gewisse Defizite in diesem Bereich weiterhin erkennbar. Grundsätzlich gilt, dass ein umfassender Schutz von digitalen Daten aufgrund vielzähliger Transformationen, ausgehend von Angreifern, die versuchen das Wasserzeichen zu zerstören oder das Auslesen unmöglich machen wollen, ein

---

41 In der Berechenbarkeitstheorie wird der Begriff »Pseudozufall« verwendet, wenn etwas zufällig erscheint, in Wirklichkeit jedoch berechenbar ist. So erscheint der Wurf einer Münze und das damit einhergehende Ergebnis zufällig. Aber: Solange sich die Münze in der Luft befindet, könnte das Ergebnis theoretisch aufgrund der Geschwindigkeit vorhergesagt werden. Ohne Messgeräte erscheint das Ergebnis allerdings zufällig (vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Pseudozufall>, 01.03.2010).

unrealisierbares Unterfangen ist. Metadaten zu schützen bedeutet gleichzeitig auch immer einen Qualitätsverlust hinnehmen zu müssen. Laut Schmitz ist es deshalb bei der Auswahl des Verfahrens wichtig, Vor- und Nachteile jeweiliger Prozesse abzuwägen. Folgende Punkte gilt es dabei zu berücksichtigen:

- I. Der Wert der zu schützenden Originaldatei.
- II. Die Sicherheitsanforderungen sowie das Anwendungsgebiet des Wasserzeichens.
- III. Der Aufwand, der betrieben werden muss, um das Wasserzeichen zu knacken (vgl. Schmitz 2006: 106).

Um digitale Wasserzeichen zu brechen, unterscheidet man zwischen verschiedenen Attacken, einige von ihnen sollen an dieser Stelle vorgestellt werden (vgl. ebd.: 106f.).

#### 3.2.5.1 UNZULÄSSIGES EINBETTEN

Diese Attacke liegt vor, wenn es dem Angreifer gelingt, ein eigenes Wasserzeichen in die originale Mediendatei einzubetten. Die Zuordnung der rechtmäßigen Urheberschaft verläuft in diesem Fall nicht ganz unproblematisch, da der Angreifer bei dieser Form der Attacke in der Lage ist zu behaupten, er selbst habe Anspruch auf das Copyright des Originals. Um unbefugtes Einbetten von Wasserzeichen potenziellen Angreifern zu erschweren, ist das Implementieren eines *Watermark Keys* notwendig (vgl. ebd.: 97). Nur wenn der Angreifer Zugriff auf diesen Schlüssel hat, befindet er sich in der Position eigene Wasserzeichen zu integrieren.

#### 3.2.5.2 ILLEGETIMES DETEKTIEREN VON WASSERZEICHEN

Hier ist zu differenzieren, ob das Wasserzeichen selbst wichtige Informationen transportiert oder ob es darum geht, überhaupt geheim zu halten, dass ein Wasserzeichen eingebettet ist. Allein der Test, ob ein Wasserzeichen in einer Mediendatei enthalten ist, kann dem potenziellen Angreifer wichtige Informationen liefern. Dabei ist das Aufspüren von Wasserzeichen mit kryptographischen Methoden nicht zu verhindern (vgl. ebd.: 107).<sup>42</sup>

#### 3.2.5.3 UNRECHTMÄßIGES ENTFERNEN DER WASSERZEICHEN

Es sollte so sein, dass der Versuch ein Wasserzeichen unrechtmäßig zu entfernen die Zerstörung bzw. das Unbrauchbarmachen der Daten zur Folge hat. Demgegenüber versucht der Angreifer Datenmaterial zu produzieren, welches kein

---

42 Vgl. hierzu den Beitrag von Daniel Köhne in diesem Heft.

Wasserzeichen mehr enthält und dem Original hinreichend ähnlich sieht (vgl. ebd.: 107f.).

### 3.2.5.4 STIRMARK

*Stirmark* ist ein häufig eingesetztes Werkzeug, um die Robustheit eines Wasserzeichens in digitalen Bildern zu überprüfen. Es handelt sich um eine Open-Source Software (vgl. Petitcolas 2009). Das Tool ist darauf ausgerichtet zu untersuchen, inwiefern das Wasserzeichen Manipulationen am Bild standhält. Bei dieser Methode gilt es das zu überprüfende Bild mit beispielsweise geometrischen Transformationen (Verzerren, Rotieren, Skalieren) zu attackieren, welche jedoch für das menschliche Auge nicht wahrnehmbar sind, aber dafür sorgen können, dass das eingebettete Wasserzeichen nicht mehr detektierbar ist (vgl. Lang et al. 2003: 399).

Wie Abbildung 13 zeigt, sind geringfügige Manipulationen im Bild für das menschliche Auge nicht wahrnehmbar. Aus dem darunter liegenden Gitternetz wird jedoch ersichtlich, dass im Bild deutliche Transformierungen vorgenommen wurden.

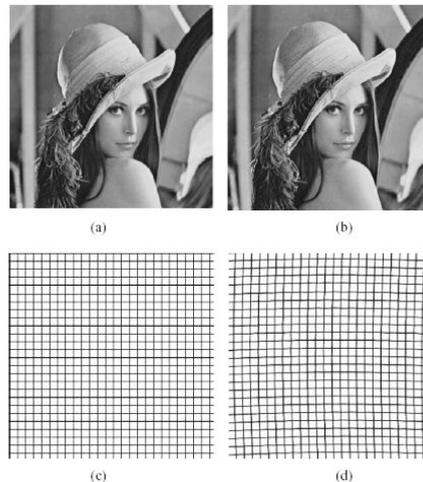


Abb. 13: Das linke Bild weist keine Veränderungen auf, während das rechte Bild durch *Stirmark* manipuliert wurde (vgl. Petitcolas et al. 1999: 1070).

## 3.3 WASSERZEICHENARTEN UND IHRE VERFAHREN

### 3.3.1 ROBUSTE WASSERZEICHEN

Von einem robusten Wasserzeichenverfahren ist die Rede, wenn eingebrachte Informationen trotz einer Modifikation am Datenmaterial ausgelesen werden kön-

nen (vgl. Mittenzwei 2006: 88). Insbesondere bei Bild-, Audio-, Video- und 3D-Modellen kommen nicht-wahrnehmbare robuste Wasserzeichen zum Einsatz und tragen in hohem Maße zur Urheberidentifizierung bei. Im Folgenden soll nun ein Abriss verschiedener Medientypen erfolgen, die sich für das unsichtbare, robuste Wasserzeichenverfahren eignen.

### 3.3.1.1 VERFAHREN FÜR EINZELBILDER

Wasserzeichenalgorithmen für Bilder lassen sich in zwei Verfahren einteilen, bestehend aus Bild- und Frequenzraumverfahren. Letztere Methode beschreibt jedes Bild durch die jeweilige Frequenzkomponente als Signal. Dies bedeutet, dass das Wasserzeichen im Rauschen des Originaldokuments eingespeist wird (vgl. Hlawatsch 2002). Dabei stehen die schnellen bzw. hohen Frequenzen für Bildteile, die in ihrer Struktur hohe Änderungen im Kontrast oder in der Helligkeit aufweisen (vgl. Dittmann 2000: 44f.), wohingegen gleichmäßige Bildflächen sich eher den tieferen oder langsameren Frequenzanteilen zuordnen lassen. Modifikationen des Bildes im nieder-, mittel- oder hochfrequenten Bereich sind dementsprechend auch als ein nieder- mittel- oder hochfrequentes Wasserzeichen einzustufen.



Abb. 14: Links: Das Bild im Original. Rechts: Die meisten Wasserzeicheninformationen wurden sukzessive in die blaue Feder eingearbeitet.

Niederfrequente Wasserzeichen, die eine sehr hohe Robustheit im Frequenzraumverfahren aufweisen, sind besonders wirksam gegenüber kleineren geometrischen Modifikationen. Demgegenüber können Wasserzeichen, welche im mittel- und hochfrequenten Bereich angesiedelt sind, deutlich mehr Informationen einfacher aufnehmen. Zudem werden sie vom menschlichen Auge nur geringfügig wahrgenommen.

Anders beim Bildraumverfahren, hier setzen Informationen direkt im Bild an, weshalb das Wasserzeichen im Vergleich zum Frequenzraumverfahren leichter

wahrnehmbar ist. Attacken auf Bildraumverfahren liegen meist in Form von Kompressionen oder Nachbearbeitungen des Bildes vor, wobei das eingebettete Wasserzeichen je nach Intensität des Angriffs zerstört werden kann (vgl. Menn 2000). An dieser Stelle soll kurz ein Bildraumverfahren erläutert werden, welches auf dem Blaukanal des Bildes arbeitet. Alle Farbwerte lassen sich durch Kombinationen der drei Grundfarben Rot, Grün und Blau<sup>43</sup> darstellen. Grund für das Verfahren im Blaukanal ist die Tatsache, dass das menschliche Auge gegenüber der Farbe Blau am unempfindlichsten reagiert. Das Wasserzeichenmuster wird deshalb vorwiegend durch die Veränderungen der Blauanteile eines Bildes vorgenommen.

Im Vergleich schneidet das Bildraumverfahren im Gegensatz zum Frequenzraumverfahren hinsichtlich der Nicht-Wahrnehmbarkeit deutlich schlechter ab, sollte aber im Hinblick auf die starke Robustheit gegenüber linearen und nicht-linearen Transformationen nicht außer Acht gelassen werden (vgl. Dittmann 2000: 49f).

### 3.3.1.2 VERFAHREN FÜR BEWEGTBILDER

Da ein Video technisch gesehen als eine schnelle Aneinanderreihung von Einzelbildern mit einer dazu parallel verlaufenden Tonspur betrachtet werden kann, ist es naheliegend, dass der Algorithmus für Bewegtbilder auf derselben Kombination beruht wie für Einzelbilder. Bei Videoverfahren gilt es die hinzukommende zeitliche Komponente zu berücksichtigen, da Bild und Ton in einer bestimmten zeitlichen Abfolge wiedergegeben werden. Durch die Zeitkomponente ist es möglich ein Wasserzeichenmuster auf eine ausgewählte, zu schützende Sequenz von Bildern anzubringen, wobei es ebenso opportun ist, ausschließlich Einzelbilder des Videos zu sichern (vgl. Dittmann 2000: 75).

Wird eine Wasserzeichenmarkierung über mehrere Bildersequenzen verstreut, so empfiehlt sich eine spezielle Angriffsstrategie, bei der die Reihenfolge der Einzelbilder verändert oder komplett gelöscht wird. Um der Attacke entgegen zu wirken, bietet sich als Gegenmaßnahme an, Komponenten zur Synchronisation und Fehlererkennung in das zu schützende Dokument einzubetten (vgl. ebd.: 75).

Grundsätzlich besitzen Videodaten eine höhere Kapazität als Einzelbilder, da die Wasserzeicheninformation über das gesamte Video verteilt werden kann. Faktisch lassen sich Wasserzeichenmuster über mehrere Sequenzen verstreuen, weshalb zusätzliche Informationen zur Synchronisation inkludiert werden müssen. Trotz des Mehraufwands steht immer noch mehr Kapazität für das Einbringen von Wasserzeichen zur Verfügung, als wenn jeder Bildbereich einzeln gekenn-

---

43 Additive Farbmischung: »[...] entsprechend den drei Zapfentypen der menschlichen Netzhaut beruht sie auf den drei Grundfarben Rot, Grün und Blau. [...] Kommen alle drei Farben in voller Intensität und gleichen Anteilen zusammen, ergänzen sie sich zu Weiß. Das ist das Prinzip, nach dem das Farbfernsehen und die Farbdarstellung am Computer-Bildschirm funktionieren« (Crüger 2002-2004).

zeichnet werden müsste. Der mit der Einbettung und der Abfrage entstehende Aufwand bei Einzelbildern, wird bei Bewegtbildern zu einem Problem, nicht zuletzt dadurch, dass ein Video aus mehreren tausend Sequenzen bestehen kann.

Bereits existierende Verfahren für Videodateien bringen die Wasserzeicheninformationen nicht in einzelne Bilder ein, sondern integrieren diese direkt in die Strukturinformationen der Bewegtbilder, wie beispielsweise in den Bewegungsvektoren bei MPEG-Videos. Visuell betrachtet ist die Qualität jener Verfahren einwandfrei, trotzdem gibt es auch hier ein bisweilen unlösbares Problem. Denn mit der Dekodierung oder einer erneuten Kodierung lässt sich das Wasserzeichen leicht zerstören (vgl. Kannemann 2003: 12).

### 3.3.1.3 VERFAHREN FÜR AUDIODATEN

Nicht nur Videodokumente enthalten Wasserzeichen, welche über die gesamte Zeit verteilt werden, auch Audiodateien erstrecken sich in der Zeit. Demnach ist es möglich, die Wasserzeicheninformation über das gesamte Musikstück zu verteilen oder auch sie ausschließlich auf einen einzelnen Ton anzusetzen. Da jedoch vielmehr das Gesamtstück von zu schützendem Interesse ist als der einzelne Ton, entscheidet man sich meist für die erste Methode.

Grundsätzlich kann bei Audiodaten eine weitaus geringere Menge an Wasserzeicheninformation aufgenommen werden, als das bei Bewegtbildern der Fall ist. Die Kapazität der einzubettenden Wasserzeichen hängt vor allem von der Toncharakteristik der Audiodaten ab (vgl. Seidenfaden 2006: 43). Probleme entstehen dann, Wasserzeicheninformationen in ein leises Musikstück zu integrieren, weil dadurch Informationen akustisch wahrnehmbar werden. Grund dafür: Wasserzeichendaten für Tonträger werden im Rauschen der Ursprungsdatei untergebracht (vgl. Heise Online 2002) und sind somit in leisen Musikstücken schwer zu verstecken. Bei Audiodaten gilt es demnach stets abzuwägen zwischen einer hohen Kapazität und der Wahrnehmbarkeit vorgenommener Manipulationen. Ein Rauschen im nicht-wahrnehmbaren Frequenzbereich stellt ebenfalls keine Alternative dar, da Wasserzeichen im unhörbaren Bereich anfällig gegenüber Kompressionen<sup>44</sup> sind. Um dem bestehenden Problem, der Zerstörung von Wasserzeichen durch Kompression entgegen zu wirken, wurden im Laufe der Zeit verschiedene Forschungsansätze veröffentlicht, von denen das Verfahren von Steinmetz (2000: 685) an dieser Stelle vorgestellt werden soll. Folgende Methodik beruht auf der Überprüfung erhaltener Wasserzeichendaten nach Durchführung einer Kompression:

- I. Generiere ein Wasserzeichen (W).
- II. Bette das Wasserzeichen (W) in das Originalsignal (S) ein.

---

<sup>44</sup> Gerade die weitverbreitete MP3-Kompression filtert Geräusche heraus, die unhörbar sind. Dadurch wird eine Reduktion der Datenmenge erreicht, welche die wahrgenommene Audioqualität nicht oder nur geringfügig herabsetzt.

- III. Führe eine Kodierung und Dekodierung von  $(S+W)$  mit einer möglichst hohen Kompressionsrate durch  $(S+W \text{ CoDec } S' + W')$ .
- IV. Unterziehe das Originalsignal  $(S)$  einer Kodierung und Dekodierung mit der gleichen Kompressionsrate  $(S \text{ CoDec } S')$ .
- V. Ermittle die Differenz der beiden erzeugten Signale:  $(S' + W' - S = W')$ . Dabei ist  $W'$  genau der Teil des Wasserzeichens, welcher die Kompression überstanden hat.
- VI. Mische  $W'$  dem Originalsignal bei  $(S+W)$ .

Dieses Verfahren besitzt nicht nur den Vorteil, Wasserzeichen mit einer hohen Robustheit gegenüber Angriffen durch Kompression auszustatten, sondern ermöglicht zudem den Ausleseprozess der Wasserzeicheninformation trotz Kompression. Eine absolute Sicherheit vor unerwünschten Modifikationen am Datenmaterial kann allerdings auch dieses Verfahren nicht gewährleisten, da das Wasserzeichen durch Entfernen oder Umdornen einzelner Tonsequenzen zerstört werden kann.

#### 3.3.1.4 VERFAHREN FÜR 3D-MODELLE

3D-Modelle weisen eine geometrische Beschaffenheit auf (Linie, Körper), die sich anhand von unterschiedlichen Attributen wie Farbe, Oberfläche usw. beschreiben lassen. Um ein Wasserzeichen in ein 3D-Modell besonders robust einzubetten, eignen sich die Geometrien, also die Grundelemente eines 3D-Modells, außerordentlich gut. Dabei werden digitale Wasserzeichen in dreieckige Maschennetze (die »Primitive«) eines Gittermodells eingefügt (Ohbuchi-Modell; vgl. Dittmann 2000: 103).

Einige bekannte Wasserzeichenalgorithmen, wie der von Ohbuchi, beruhen auf dem Prinzip der blinden Verfahren, d.h. sie benötigen beim Abfrageprozess kein Original. Doch auch die Wasserzeichenverfahren für 3D-Modelle weisen gewisse Schwachpunkte auf. So sind Angriffe auf 3D-Modelle mit geringer Anzahl der Primitiven, zum Leidwesen der Urheber, häufig erfolgreich (ebd.: 103).

#### 3.4 FAZIT

Auf dem noch recht jungen Forschungsgebiet digitaler Wasserzeichen existieren bereits zahlreiche verschiedene Wasserzeichenverfahren, von denen jedes Verfahren spezifische Vor- und Nachteile für spezifischen Anwendungen aufweist. Universelle Verfahren sind nicht verfügbar.

Doch nicht nur in der Medienlandschaft, auch im Rechtswesen ist die Entwicklung sicherer Verfahren digitaler Wasserzeichen von Bedeutung. So ist eine absolut zuverlässige Authentifizierung via digitaler Wasserzeichen leider noch nicht möglich. Digitale Wasserzeichen gewährleisten zwar ein hohes Potenzial an

Datenschutz, doch bis dieses vollkommen ausgeschöpft werden kann, ist noch eine Menge Forschungsarbeit zu leisten.

#### 4 RESÜMEE

Durch die enorme Ausbreitung digitaler Medien und der damit verbundenen Leichtigkeit schnell und einfach Kopien des Datenmaterials zu erstellen, avancieren digitale Wasserzeichen zu einer unverzichtbaren Technologie für Wirtschaft und Justiz. Mit dem Rückgang des Papiers tritt auch das Wasserzeichen auf Papier in den Hintergrund, obwohl es als Sicherheitsmerkmal auf Banknoten und Wertpapieren unverzichtbar bleibt. Es zeigt sich: Das Verfahren des Wasserzeichens als Technologie des Kopierschutzes bleibt *bestehen* – nur sind mit den digitalen Medien *neue Formen* des Wasserzeichens, unsichtbare Formen und auch Wasserzeichen in Klang- und Bewegtbildmedien, entstanden. Wie so oft in der Mediengeschichte hat man es mit der Koexistenz von Kontinuität und Diskontinuität zu tun.

#### LITERATURVERZEICHNIS

- Achziger, Roman (2003): »Digitale Wasserzeichen«, [http://www.wi.uni-muenster.de/pi/lehre/ws0304/seminar/03\\_DigitaleWasserzeichen.pdf](http://www.wi.uni-muenster.de/pi/lehre/ws0304/seminar/03_DigitaleWasserzeichen.pdf), [17.12.2003], 01.03.2010.
- Altmann, Jörn (1997): *Volkswirtschaftslehre*, Stuttgart: Lucius & Lucius/UTB.
- Ash, Nancy/Fletcher, Shelley (1998): *Watermarks in Rembrandt's Prints with a Contribution by J.P. Filedt Kok*, Washington D.C.: National Gallery of Art.
- Berliner Zeitung (1996): »EWI Rat über Design der Euro-Banknoten einig«, <http://www.berlinonline.de/berlinerzeitung/archiv/.bin/dump.fcgi/1996/1204/none/0165/index.html>, 01.03.2010.
- Beutelspacher, Albrecht (2007): *Kryptologie. Eine Einführung in die Wissenschaft vom Verschlüsseln, Verbergen und Verheimlichen*, Wiesbaden: Vieweg Verlag.
- Beyerling, Magdalene (1940): *Das Papier und seine Zeichen*, Bergisch Gladbach: Zanders.
- Birkner International PaperWorld (Hg.) (2005): »PaperWorld Journal«, <http://www.paper-world.com/pdf/papierwirtschaft.pdf>, [04.02.2005], 01.03.2010.
- Born, Karl Erich (1972): *Die Entwicklung der Banknote vom „Zettel“ zum gesetzlichen Zahlungsmittel*, Wiesbaden: Steiner Verlag.
- Braudel, Fernand (1985): *Sozialgeschichte des 15.-18. Jahrhunderts. Band I: Der Alltag*, München: Kindler.
- Cox, Ingemar J. (2001): *Digital Watermarking*, San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.
- Crüger, Ingrid (2002-2004): »Farbmischgesetze«, <http://www.ipsi.fraunhofer.de/~crueger/farbe/farb-misch.html>, [2002-2004], 01.03.2010.

- Crummett, Clovis von T. (1982): »The Ancient Art of Watermarks«, in: *The Numismatist*, Vol. 95, No. 12, S. 2929-2935.
- Deutsche Bundesbank (Hg.) (1963): *Deutsches Papiergeld 1772-1870*, München: Giesecke und Devrient.
- Deutsche Bundesbank (Hg.) (1995): *Von der Baumwolle zum Geldschein*, Frankfurt a.M.: Knapp.
- Dietz, Georg/Schmidt, Frieder (2009): »Papierproduktion im Übergang zur industriellen Revolution«, in: Rückert, Peter et al. (Redaktion): *Ochsenkopf und Meerjungfrau. Papiergeschichte und Wasserzeichen vom Mittelalter bis zur Neuzeit*, Stuttgart/Wien: herausgegeben in englischer und deutscher Sprache vom Projekt Bernstein, S. 20-26.
- Dittmann, Jana (2000): *Digitale Wasserzeichen: Grundlagen, Verfahren, Anwendungsgebiete*, Berlin u.a: Springer-Verlag.
- Dittmann, Jana (2001): »Anwendungsgebiete digitaler Wasserzeichen«, <http://www.ipsi.fhg.de/merit/teaching/fh01/ecss/wok-shop-koethen-2001-2.pdf>, [2001], 01.03.2010.
- Dittmann, Jana/Wohlmacher, Petra (2000): »Aspekte der Sicherheit multimedialer Daten und Anwendungen mittels Kryptographie und digitaler Wasserzeichentechniken«, in: Schumacher, M./Steinmetz, R. (Hg.): *Sicherheit in Netzen und Medienströmen*, Berlin u.a.: Springer, S. 107-123.
- Duda, Erich (2000): *Das musikalische Werk Franz Xaver Süßmayrs. Thematisches Werkverzeichnis (SmWV) mit ausführlichen Quellenangaben und Skizzen der Wasserzeichen*, Kassel/Basel: Bärenreiter.
- Exner, A.H. (1889): *China. Skizzen von Land und Leuten mit besonderer Berücksichtigung kommerzieller Verhältnisse*, Leipzig: Weigel.
- Gerardy, Theodor (1964): *Datieren mit Hilfe von Wasserzeichen. Beispielhaft dargestellt an der Gesamtproduktion der Schaumburgischen Papiermühle Arensburg von 1604-1650*, Bückeburg: Grimme.
- Gerardy, Theodor (1974): »Die Vinlandkarte – eine Fälschung«, in: *IPH-Information 8*, Marburg: Assoc., S. 27.
- Gerardy, Theodor (1975): »Das älteste Wasserzeichen der Welt«, in: *IPH-Information 9*, Marburg: Assoc., S. 51-52.
- Griffiths, Antony/Hartley, Craig (1997): »Watermarks in the Paper of Bellange Etchings«, in: *Jacques Bellange c. 1575-1616*, London: printmaker of Lorraine (Katalog zur Ausstellung), S. 125-135.
- Haidinger, Alois (2004): »Datieren mittelalterlicher Handschriften mittels ihrer Wasserzeichen«, in: *Anzeiger der Phil.-Hist. Klasse 139*, S. 5-30.
- Hanebutt-Benz, Eva (1999): »Technik des Buches«, in: Leonhard, Joachim-Felix et al. (Hg.): *Medienwissenschaft: Ein Handbuch zur Entwicklung der Medien und Kommunikationsformen*, Berlin/New York: Walter de Gruyter, S. 390-420.

- Heise Online (2002): »Digitale Wasserzeichen: Unsichtbarer Schutz für Filme und Musikstücke«, <http://www.heise.de/news-ticker/meldung/30116>, [2002], 01.03.2010.
- Hlawatsch, Sven (2002): »Digitale Wasserzeichen«, <http://homepages.fh-giessen.de/~hg10013/Lehre/MMS/SS02/Hlawatsch/text.htm>, [2002], 01.03.2010.
- Hudson, Frederick (1987): »Musicology and Paper Study: a Survey and Evaluation«, in: Spector, Stephen (Hg.): *Essays in Paper Analysis*, Washington/London/Toronto: Associated University Presses, S. 34-60.
- Hunter, Dard (1978): *Papermaking. The History and Technique of an Ancient Craft*, New York: Alfred A. Knopf.
- Kämmerer, Carmen (2009a): »Papiergeschichte und Papierherstellung im historischen Kontext«, in: Rückert, Peter et al. (Redaktion): *Ochsenkopf und Meerjungfrau. Papiergeschichte und Wasserzeichen vom Mittelalter bis zur Neuzeit*, Stuttgart/Wien: herausgegeben in englischer und deutscher Sprache vom Projekt Bernstein, S. 12-14.
- Kämmerer, Carmen (2009b): »Vitae sanctorum«, in: Rückert, Peter et al. (Redaktion): *Ochsenkopf und Meerjungfrau. Papiergeschichte und Wasserzeichen vom Mittelalter bis zur Neuzeit*, Stuttgart/Wien: herausgegeben in englischer und deutscher Sprache vom Projekt Bernstein, S. 51-59.
- Kämmerer, Carmen/Rückert, Peter (2009): »Die Welt im Wasserzeichen«, in: Rückert, Peter et al. (Redaktion): *Ochsenkopf und Meerjungfrau. Papiergeschichte und Wasserzeichen vom Mittelalter bis zur Neuzeit*, Stuttgart/Wien: herausgegeben in englischer und deutscher Sprache vom Projekt Bernstein, S. 28-30.
- Kannemann, Fabian (2003): *Digitale Wasserzeichen*, München: Grin.
- Keim, Karl (1956): *Das Papier. Seine Herstellung und Verwendung als Werkstoff des Druckers und Papierverarbeiters*, Stuttgart: Otto Biersch.
- Keller, Arnold (1955): *Deutsche Wertpapierwasserzeichen*, Selbstverleger.
- Klein, Andreas (2007): *Visuelle Kryptographie*, Berlin u.a.: Springer-Verlag.
- Koch, Eckhard (2002): »Content Security: Digitale Wasserzeichen«, in: Eberspächer, Jörg (Hg.): *Die Zukunft der Printmedien*, Berlin u.a.: Springer-Verlag, S. 195-206.
- La Rue, Jan (1961): »Watermarks and Musicology«, in: *Acta Musicologica* 33, S. 120-146.
- Lang, Andreas et al. (2003): »Psychoakustische Modelle für Stirmark Benchmark – Modelle zur Transparenzevaluierung«, <http://subs.emis.de/LNI/Proceedings/Proceedings36/GI-Proceedings.36-44.pdf>, [2003], 01.03.2010.
- Mannucci, Ulisse (1993): »La filigrana nelle applicazioni dei cartai fabrianesi«, in: Castagnari, Giancarlo (Hg.): *Carta e cartiere nelle Marche e nell'Umbria dalle manifatture medioevali all'industrializzazione*, Fabriano: Museo di Storia della Mezzadria, S. 291-309.

- Mariani, Franco/Pellegrini, Georgio (2009): »Das Papier: von Fabriano nach Europa«, in: Rückert, Peter et al. (Redaktion): *Ochsenkopf und Meerjungfrau. Papiergeschichte und Wasserzeichen vom Mittelalter bis zur Neuzeit*, Stuttgart/Wien: herausgegeben in englischer und deutscher Sprache vom Projekt Bernstein, S. 14-16.
- Menn, Ralph (2000): »Versteckter Schutz gegen Datenraub«, [http://www.tecchannel.de/sicherheit/identity\\_access/401366/versteckter\\_schutz\\_gegen\\_datentraub/](http://www.tecchannel.de/sicherheit/identity_access/401366/versteckter_schutz_gegen_datentraub/), [2000], 01.03.2010.
- Meyer, Josef Bernhard (1935): *Die Sicherungstechnik der Wertpapiere unter besonderer Berücksichtigung der Sicherheitspapiere, der graphischen und schreibtechnischen Sicherungsmethoden*, Zürich: Paco-Verlag.
- Meyn, Christian (2003): *Verschlüsselung und innere Sicherheit*, Wiesbaden: DUV.
- Mittenzwei, Julius (2006): *Informationen zur Rechtswahrnehmung im Urheberrecht*, München u.a.: Grin.
- Neymanns, Harald (2001): *Verschlüsselung im Internet*, Frankfurt a.M.: Campus Verlag.
- Peticolas, Fabien et al. (1999): »Information Hiding – A Survey«, in: *Proceedings of the IEEE*, Vol. 87, No. 7, S. 1062-1078.
- Petitcolas, Fabien (2009): »StirMark Benchmark 4.0«, <http://www.petitcolas.net/fabien/watermarking/stirMark/>, [2009], 01.03.2010
- Piccard, Gerhard (1954): »Die Wasserzeichenforschung als historische Hilfswissenschaft«, in: *Der Archivar* 4, Sp. 263-265.
- Piccard, Gerhard (1956): »Die Wasserzeichenforschung als Historische Hilfswissenschaft«, in: *Archivalische Zeitschrift* 52, S. 62-115.
- Renesse van, Rudolf L. (2005): *Optical Document Security*, Boston/London: Artech House.
- Renker, Armin (1950): *Das Buch vom Papier*, Wiesbaden: Insel-Verlag.
- Rosenberg, Holger (2001): *Die deutschen Banknoten ab 1871*, Büttenberg: Gietl Verlag.
- Rückert, Peter (2009): »Zur Einführung«, in: Rückert, Peter et al. (Redaktion): *Ochsenkopf und Meerjungfrau. Papiergeschichte und Wasserzeichen vom Mittelalter bis zur Neuzeit*, Stuttgart/Wien: herausgegeben in englischer und deutscher Sprache vom Projekt Bernstein, S. 9-10.
- Sandermann, Wilhelm (1988): *Die Kulturgeschichte des Papiers*, Berlin: Springer.
- Schmitz, Roland (2006): »Mediensicherheit«, in: Schmitz, Roland/Kiefer, Roland/Maucher, Johannes et al. (Hg.): *Kompendium Medieninformatik. Medienetze*, Berlin u.a.: Springer Verlag, S. 83-126.
- Schöberl, Matthias (2009): »Slowakei begrüßt den Euro«. <http://www.phoenix.de/content/217405.htm>, [02.01.2009], 01.03.2010.

- Schwenck, Konrad (1934): *Wörterbuch der deutschen Sprache in Beziehung auf Abstammung und Begriffsbildung*, Frankfurt a.M.: Sauerländer.
- Schwieger, Heinz G. (1973): *Papier-Praktikum. Herstellung – Beurteilung – Verarbeitung*, Wiesbaden: PR-Vlg. H.G. Schwieger.
- Seidenfaden, Lutz (2006): »Absatz digitaler Produkte und Digital Rights Management: Ein Überblick«, in: Hagenhoff, Svenja/Hogrefe, Dieter/Mittler, Elmar et al. (Hg.): *Internetökonomie der Medienbranche*, Göttingen: Universitätsverlag, S. 19-49.
- Singh, Simon (2000): *Geheime Botschaften. Die Kunst der Verschlüsselung von der Antike bis in die Zeiten des Internet*, München.
- Speneberg, Ralf (2005): *Intrusion Detection und Prevention mit Snort 2 & Co.*, München: Addison-Wesley Verlag.
- Spoer, Gertraude (1987): *Rosen, Tulpen, Nelken: Aus der Formenwelt der Wasserzeichenkunst*, Leipzig: Deutsche Bucherei.
- Spoer, Gertraude (1996): »Drahtgeschichten«, in: Schmidt, Frieder (Hg.): *Papiergeschichte(en)*, Wiesbaden: Harrassowitz, S. 153-170.
- Steinebach, Martin/Dittmann, Jana (2002): »Digitale Wasserzeichen: Grundlagen, Anwendungen – Grenzen«, in: *Information, Wissenschaft und Praxis*, Jg. 53, Nr. 5, S. 261-268.
- Steinmetz, Ralf (2000): *Multimedia Technologie – Grundlagen, Komponenten und Systeme*, Berlin u.a.: Springer.
- Tschudin, Peter F. (1996a): »Methodik der Papierdatierung«, in: *IPH-Congress Book 11*, S. 29-35.
- Tschudin, Peter F. (1996b): »Der Ursprung der Haus- und Handelsmarken in Wasserzeichen«, in: Schmidt, Frieder (Hg.): *Papiergeschichte(en)*, Wiesbaden: Harrassowitz, S. 223-236.
- Tschudin, Peter F. (2002): *Grundzüge der Papiergeschichte*, Stuttgart: Hiersemann.
- Ulbricht, Gangolf (2000): »Wasserzeichen oder die transparente Geschichte des Papiers«, in: *Lebendiges Rheinland-Pfalz 37/1-2*, S. 37-44.
- Van Damme, Ingrid (2008): »Die Wiege der europäischen Banknote steht in Schweden«, <http://www.nbbmuseum.be/de/2008/04/cradle-european-banknote.htm>, [11.04.2008], 01.03.2010.
- Weber, Bernt (1970): *Die Banknote. Eine volkswirtschaftlich- historische Betrachtung*, Frankfurt a.M.: Knapp.
- Weiss, Karl Theodor/Weiss, Wiso (1962): *Handbuch der Wasserzeichenkunde*, Leipzig: VEB Fachbuchverlag.
- Weiss, Wiso (1986): *Historische Wasserzeichen*, Leipzig: VEB.
- Werber, Niels (2004): »Vom Unterlaufen der Sinne. Digitalisierung als Codierung«, in: Schröter, Jens/Böhnke, Alexander (Hg.): *Analog/Digital – Opposition*

oder Kontinuum? Zur Theorie und Geschichte einer Unterscheidung, Bielefeld: Transcript, S. 81-96.

Will, Matthias O. (2002): *Aufbau und Nutzung einer digitalen Bibliothek in einer universitären Ausbildungsumgebung*, Münster: Waxmann.

Wolbe, Eugen (1923): *Handbuch für Autographensammler*, Berlin: Rich. Carl Schmidt.

Woodward, David (1987): »The Analysis of Paper and Ink in Early Maps«, in: Spector, Stephen (Hg.): *Essays in Paper Analysis*, Washington u.a.: Associated University Press, S. 200-221.

