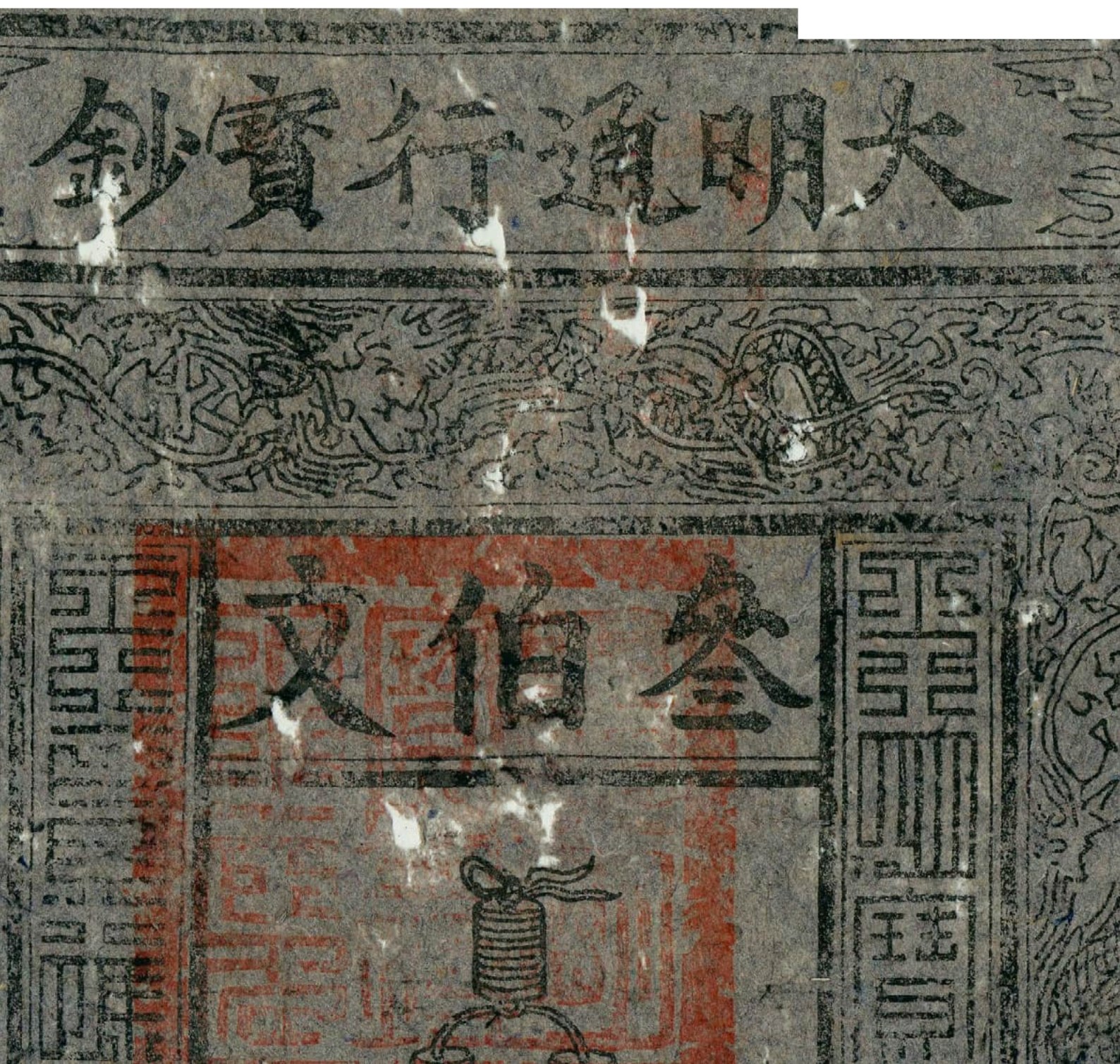


# Papiergeld der Ming-Dynastie aus der Sammlung der Deutschen Bundesbank

Untersuchungen zur Authentizität

Jenny Fey, Sonja Behrendt, Antonia Höhne, Boaz Paz



## Papiergeld der Ming-Dynastie aus der Sammlung der Deutschen Bundesbank Untersuchungen zur Authentizität

Jenny Fey, Sonja Behrendt, Antonia Höhne, Boaz Paz

Mittels verschiedener naturwissenschaftlicher Methoden wurden drei Banknoten aus dem historischen Papiergeldbestand der Numismatischen Sammlung der Deutschen Bundesbank, die bisher der Ming-Dynastie (1368–1644) zugeordnet wurden, einer umfassenden materialanalytischen Untersuchung unterzogen. Die Herstellung und breite Zirkulation von gefälschten Banknoten führten bereits während der Ming-Dynastie u. a. zu einer rapiden Entwertung des chinesischen Papiergeldes. Ab dem 20. Jahrhundert stieg das Interesse von Kunstsammlern an historischem Papiergeld stark an, wodurch der Anteil an gefälschten Banknoten zu einem komplexen Phänomen wurde. Materialtechnologische Untersuchungen zur Feststellung der Authentizität von historischem Papiergeld sind immer noch relativ selten. Die aus der Kombination von optischen und analytischen Methoden erhaltenen Ergebnisse ließen Rückschlüsse zur Unterscheidung von modernen und historischen Materialien und damit zur Authentizität der untersuchten Banknoten zu.

*Paper money from the Ming dynasty from the collection of the Deutsche Bundesbank  
Investigations into authenticity*

*Three banknotes from the historical paper money collection of the Numismatic Collection of the Deutsche Bundesbank, which had previously been attributed to the Ming dynasty (1368–1644), were subjected to comprehensive material analysis using various scientific methods. The production and widespread circulation of counterfeit banknotes even during the Ming dynasty led to the rapid devaluation of Chinese paper money, among other things. From the 20th century onwards, art collectors' interest in historical paper money increased significantly, making the proportion of counterfeit banknotes a complex phenomenon. Material technology investigations to determine the authenticity of historical paper money are still relatively rare. The results obtained from combining optical and analytical methods enabled conclusions to be drawn about the distinction between modern and historical materials, and thus about the authenticity of the examined banknotes.*

Das Papiergeld der Ming-Dynastie (1368–1644) beschreibt ein faszinierendes, jedoch missglucktes Kapitel in der Geschichte des chinesischen Geldwesens. Während die Yuan-Dynastie (1271–1368) Papiergeld erfolgreich als zentrales Zahlungsmittel etablierte, scheiterte die Ming-Dynastie daran, eine papierbasierte Währung nachhaltig zu implementieren. Die Einführung von Ming-Banknoten im Jahr 1375 erfolgte in einer Phase solider Staatsfinanzen, was der frühen Ming-Regierung zunächst erlaubte, auf eine masvolle Geldpolitik zu setzen. Doch der Wert der Banknoten begann rapide zu sinken und zwar deutlich schneller als in den vorangegangenen Dynastien. Ein wesentlicher Faktor hierfür war die Verbreitung von gefälschten Banknoten, die bereits in den Anfangsjahren der Währung auftraten. Die wirtschaftlichen Folgen waren gravierend: Innerhalb von nur vier Jahrzehnten sank der offizielle Wert des Papiergeldes gegenüber Silber auf etwa 3 % seines ursprünglichen Wertes von 1375 und erreichte 1436 nur noch 0,1 %. Bereits 1428 stellte die Ming-Regierung die Produktion von Papiergeld ein, bis es in den 1430er Jahren vollständig als Zahlungsmittel verschwand.<sup>1</sup>

Trotz der Inflation, die mit der Erfindung des Papiergeldes einherging, und der resultierenden Wiedereinführung von Silberbarren im chinesischen Geldhandel bietet das Ming-

zeitliche Papiergeld wertvolle Einblicke in die wirtschaftlichen, technologischen und politischen Herausforderungen der damaligen Zeit. Die Herstellungstechniken und die Zusammensetzung der Banknoten sind dabei von besonderem Interesse, da sie nicht nur Rückschlüsse auf die Produktionsprozesse, sondern auch auf die kulturellen und technologischen Praktiken der Ming-Dynastie erlauben.<sup>2</sup>

Die Numismatische Sammlung der Deutschen Bundesbank stellt in diesem Zusammenhang eine wichtige Ressource dar. Sie umfasst eine große Vielfalt an historischem Papiergeld aus unterschiedlichen Epochen und Regionen sowie aktuellen Weltbanknoten. Besonders bemerkenswert ist, dass die Sammlung seltene Exemplare historischer Zahlungsmittel im Geldmuseum der Deutschen Bundesbank in Frankfurt am Main präsentiert. Darunter auch Ming-zeitliche Banknoten, die erstmals einer materialtechnologischen Untersuchung unterzogen wurden. Ziel ist es, die Zusammensetzung und Herstellungstechniken dieser Banknoten zu analysieren und die Ergebnisse in den Kontext der bisherigen Forschung einzuordnen. Dabei wird nicht nur die historische Bedeutung des Ming-Papiergeldes beleuchtet, sondern auch ein Beitrag zur interdisziplinären Erforschung von Papiergeld und seiner kulturellen, technologischen und wirtschaftlichen Relevanz geleistet.



1 a + b Vorder- und Rückseite einer 300-Käsch-Banknote, Numismatische Sammlung der Deutschen Bundesbank, Frankfurt am Main, Inv.-Nr. 793/95

### Materialtechnologische Untersuchungen

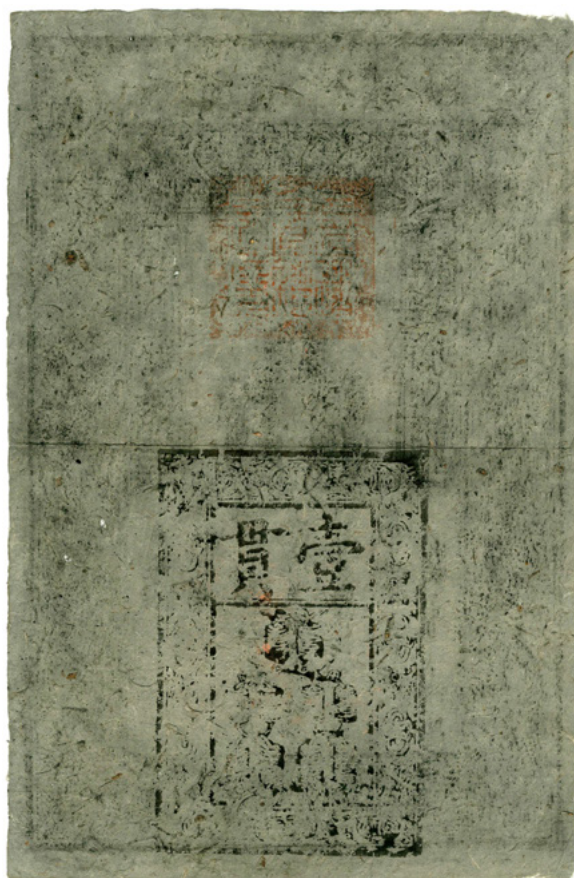
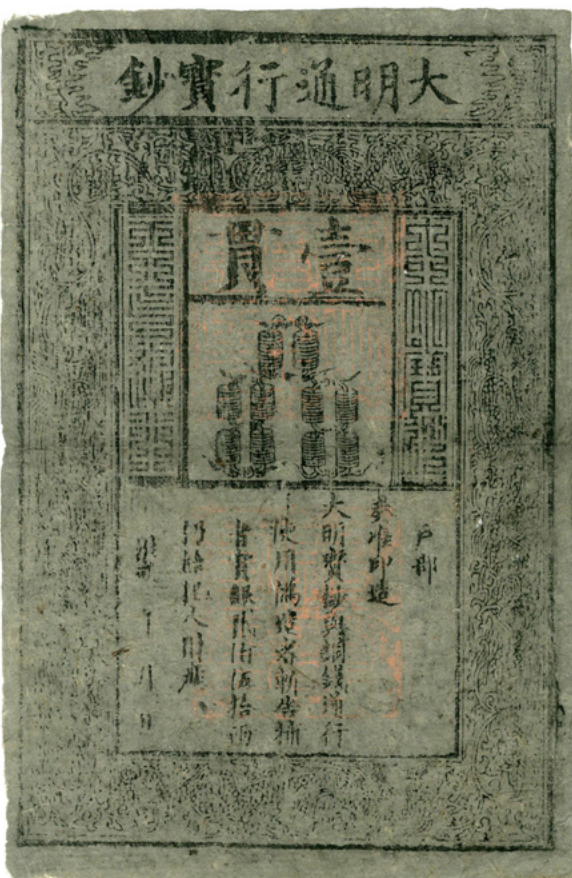
Insgesamt wurden drei Ming-zeitliche Banknoten (Abb. 1–3) einer umfangreichen zerstörungsfreien Materialanalyse und mikroskopischen Untersuchung unterzogen, deren Ziel die Identifizierung der verwendeten Farbmittel sowie die Ermittlung der für die Papierherstellung genutzten Rohstoffe war. Bei den Banknoten handelte es sich um eine 300-Käsch-Banknote (Inventarnummer 793/95) sowie zwei 1000-Käsch-Papiergeldscheine (Inventarnummern K05687 und 218/09). Für die Analysen kamen als Untersuchungsmethoden die portable Röntgenfluoreszenzanalyse (p-RFA) und die mobile Raman-Spektroskopie (Raman) zum Einsatz.<sup>3</sup> Die mikroskopischen Untersuchungen an entnomme-

nem Fasermaterial erfolgten mittels Auf- und Durchlichtmikroskopie, 3D-Keyence-Digitalmikroskopie (VHX-1000 und VHX-7100), konfokaler 3D-Laserscanning-Mikroskopie und Rasterelektronenmikroskopie (REM).

Für die bessere Darstellung der Faserstruktur im Durchlicht und zur Charakterisierung der Fasern über deren Farbton wurden einzelne Faserproben mit einer Chlorzinkjod-Lösung nach Behrens angefärbt. Die Anfärbung erzeugt bei den Pflanzenfasern je nach Lignin- und Zellulosegehalt eine gelblich-braune, rötliche oder blaue Färbung im Durchlichtpreparat.



2 a + b Vorder- und Rückseite einer 1000-Käsch-Banknote, Numismatische Sammlung der Deutschen Bundesbank, Frankfurt am Main, Inv.-Nr. K05687



3 a + b Vorder- und Rückseite einer 1000-Käsch-Banknote, Numismatische Sammlung der Deutschen Bundesbank, Frankfurt am Main, Inv.-Nr. 218/09

### Struktureller Aufbau der Banknoten

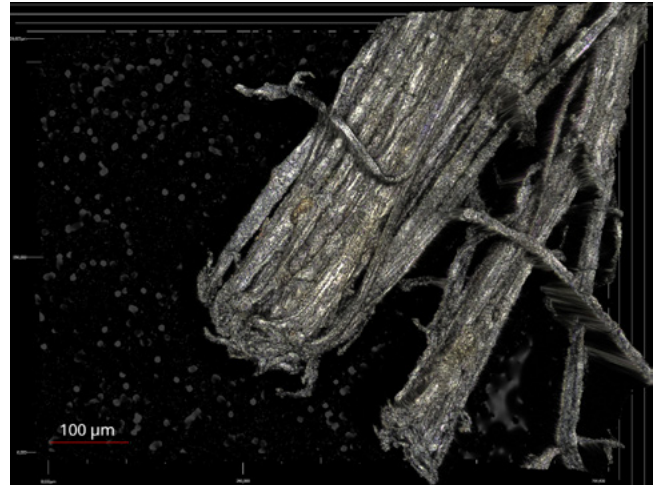
Der strukturelle Aufbau der Banknoten wurde mit Hilfe des 3D-Digitalmikroskops VHX-1000 untersucht und dokumentiert.

Grundsätzlich weisen Papiergeldscheine aus der Zeit der Ming-Dynastie eine weiche und lockere Textur auf, wobei die Fasern in drei Hauptkategorien unterteilt sind: eine allgemeine Fasermasse, lose oberflächengebundene Fasern und teilweise oder vollständig unbearbeitete Faserbündel.<sup>4</sup> Für die beiden 1000-Käsch-Banknoten ließen sich diese drei Hauptkategorien der Fasern erkennen und dokumentieren (Abb. 4). Die Fasermasse des Papiervlieses ist bei den 1000-Käsch-Scheinen von stumpfgrauer Farbe und weist keine bevorzugte Faserausrichtung auf. Die Fasern bilden eine flache Oberfläche, auf der sich sowohl lose Fasern als auch Faserbündel erkennen lassen. Die losen Fasern sind oftmals in sich selbst verschlungen, während die Faserbündel durch eng beieinander liegende, gleichmäßig ausgerichtete Fasern charakterisiert sind. Mit Hilfe des 3D-Laserscanning-Mikroskops konnten die Faserbündel in der 1000-Käsch-Banknote mit der Inventarnummer 218/09 sehr gut sichtbar gemacht und charakterisiert werden (Abb. 5).

Ein weiteres typisches Merkmal für Ming-zeitliche Banknoten sind größere Einschlüsse in der Faserstruktur. Dabei handelt es sich u. a. um Fragmente von Baumrinde, Halme, Stängeln oder weitere Pflanzenbestandteile.<sup>5</sup> Diese Fragmente unterscheiden sich von der allgemeinen Fasermasse durch eine abweichende Farbgebung und Größe. Meistens sind sie tief in die Hauptfasermasse eingebettet. Bei den beiden 1000-Käsch-Banknoten konnten derartige Einschlüsse mehrfach identifiziert werden (Abb. 6).



4 Aufnahme der Faserstruktur der 1000-Käsch-Note mit der Inv.-Nr. K05687 (Digitalmikroskop VHX-1000)



5 Aufnahme von Faserbündeln bei der 1000-Käsch-Banknote mit der Inv.-Nr. 218/09 (Laserscanning-Mikroskop VK-X3050)



6 Aufnahme von Einschlüssen bei der 1000-Käsch-Banknote mit der Inv.-Nr. 218/09 (Digitalmikroskop VHX-1000)

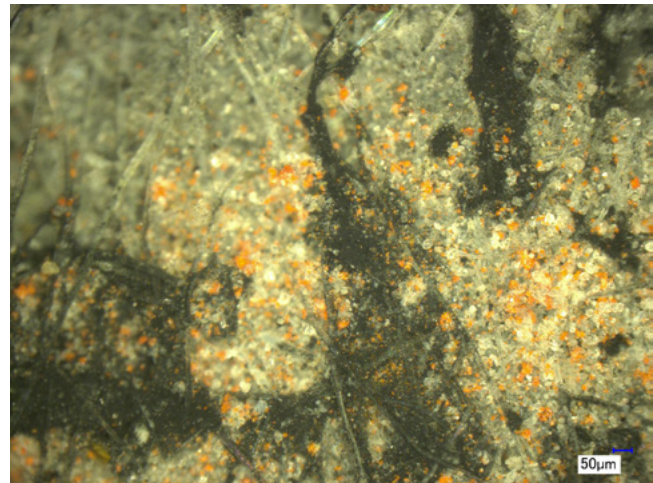
Die Fasermasse der 300-Käsch-Banknote besteht aus grauen sowie farbigen (u. a. blau, lila) Fasern, die im Vergleich zu den 1000-Käsch-Papierscheinen viel dichter miteinander verflochten sind. Neben Einzelfasern sind wiederum Faserbündel erkennbar (Abb. 7). Im Gegensatz zu den 1000-Käsch-Banknoten konnten bei dem 300-Käsch-Schein keine Einschlüsse in der Faserstruktur festgestellt werden.

Das Papiervlies ist bei allen drei Banknoten kunstvoll mit einem Textteil sowie einem Siegel in den Farben Schwarz und Rot bedruckt. Die Art und Weise, wie das für den Haupttext der beiden 1000-Käsch-Banknoten verwendete schwarze Pigment an den Papierfasern haftet, unterscheidet sich deutlich von dem roten Siegelabdruck. Bei den Fasern in den Textbereichen scheint das schwarze Pigment gut an der Faseroberfläche gebunden zu sein. Im Gegensatz dazu liegt das für den Siegelabdruck verwendete rote Pigment nur lose zwischen den Hauptfasern (Abb. 8). Die Partikelgröße, Struktur und Oberflächenbeschaffenheit des schwarzen Pigments begünstigen hingegen eine gute Adhäsion an den Fasern, was zu einem insgesamt gut lesbaren Text führt. Aufgrund der schlechten Haftung des partikelförmigen roten Pigments an den Fasern wird die Erkennbarkeit deutlich beeinträchtigt.

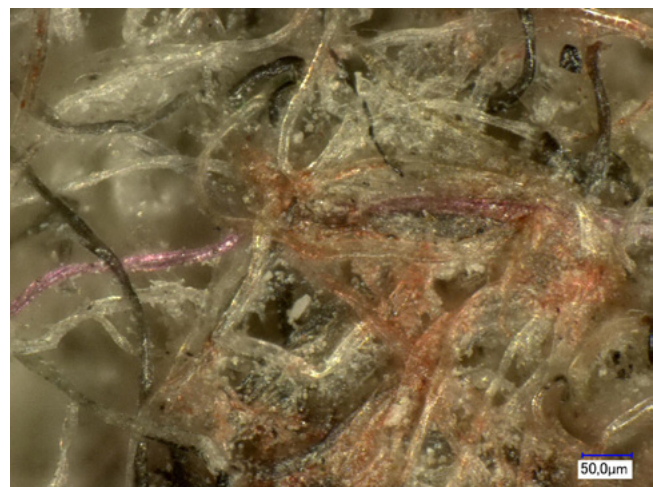
Im Vergleich dazu werden bei der 300-Käsch-Banknote die einzelnen Fasern gänzlich von den roten und schwarzen Farbstoffen umhüllt (Abb. 9). Dadurch sind sowohl der Haupttext als auch der rote Stempelabdruck des Siegels in einem wesentlich besseren sowie sehr gut lesbaren Zustand.



7 Aufnahme der Faserstruktur der 300-Käsch-Banknote mit der Inv.-Nr. 793/95 (Digitalmikroskop VHX-1000)



8 Aufnahme von dem schwarzen und roten Pigmentauftrag bei der 1000-Käsch-Banknote mit der Inv.-Nr. 218/09 (Digitalmikroskop VHX-1000)



9 Aufnahme von dem schwarzen und roten Pigmentauftrag bei der 300-Käsch-Banknote mit der Inv.-Nr. 793/95 (Digitalmikroskop VHX-1000)

## Farbmittel

Alle drei Banknoten weisen einen beeinträchtigten Erhaltungszustand auf, wobei insbesondere die roten Siegelabdrucke auf den beiden 1000-Käsch-Banknoten kaum noch zu erkennen sind.

Eine Identifizierung der Pigmente war dennoch mit Hilfe der p-RFA und Raman-Spektroskopie<sup>6</sup> möglich. Die p-RFA dient der Elementanalyse. Da die Banknoten aus verschiedenen chemischen Komponenten (Pigmente / Farbmittel, Papierfasern, Füllstoffe, Verunreinigungen) in unterschiedlichen Schichten zusammengesetzt sind, deren Schichtdicke äußerst gering ist, setzen sich die Ergebnisse der p-RFA aus der Summe der am jeweiligen Messpunkt vorliegenden Materialien zusammen. Die Raman-Spektroskopie gab Aufschluss über die auf den Banknoten verwendeten anorganischen Pigmente sowie über die organischen Farbstoffe.

An den schwarzen Bereichen der Banknoten ließen sich mittels p-RFA keine charakteristischen Elementsignaturen für schwarze Pigmente finden, während durch die Methodenkombination mit der Raman-Spektroskopie bei den 1000-Käsch-Papiergeldscheinen als schwarzes Pigment amorpher Kohlenstoff (Ruß) nachgewiesen wurde (Abb. 10).<sup>7</sup> Anhand der p-RFA ließen sich die roten Farbbereiche auf den beiden 1000 Käsch-Papierscheinen durch signifikante Bleiwerte charakterisieren, wodurch sich Hinweise auf die Anwendung von bleihaltigen Pigmenten ergaben. Dank der Raman-Spektroskopie ließ sich das rote Pigment eindeutig als Mennige (Bleioxid -  $Pb_3O_4$ ) bestimmen (Abb. 11).

Bei der 300-Käsch-Banknote konnten mittels p-RFA keine Hinweise auf die Verwendung von mineralischen Pigmenten nachgewiesen werden. Dementsprechend wurden für die rote Farbgebung natürliche organische Farbstoffe oder synthetisch hergestellte Farbmittel verwendet. Wie die Raman-Untersuchungen belegen (Abb. 12), handelt es sich bei dem Rot um ein synthetisch hergestelltes organisches Pigment aus der Gruppe der Azopigmente.<sup>8</sup> Zudem ergaben sich beim Vergleich der Ramanspektren der roten mit der schwarzen Farbkomponente kaum Unterschiede. Folglich handelt es sich bei dem Schwarz auch um ein synthetisch hergestelltes organisches Pigment aus der Gruppe der Azopigmente, vermutlich um Amidoschwarz 10B.<sup>9</sup> Abgesehen von den roten und schwarzen Farbbereichen zeigte auch das graue Papiervlies der 300-Käsch-Banknote die Ramanspektren der synthetischen Azopigmente.

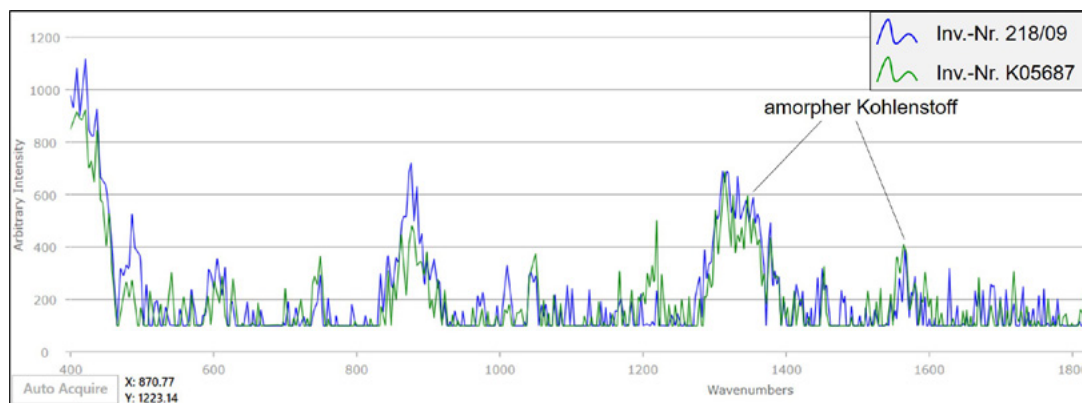
## Fasermaterial

Zur Überprüfung der Originalität der Banknoten hinsichtlich der für die Herstellung des Papiervlieses verwendeten Fasern wurden weiterführende Untersuchungen mit Hilfe von verschiedenen mikroskopischen Verfahren vorgenommen. Dafür konnte von den Banknoten minimalinvasiv Fasermaterial entnommen werden.

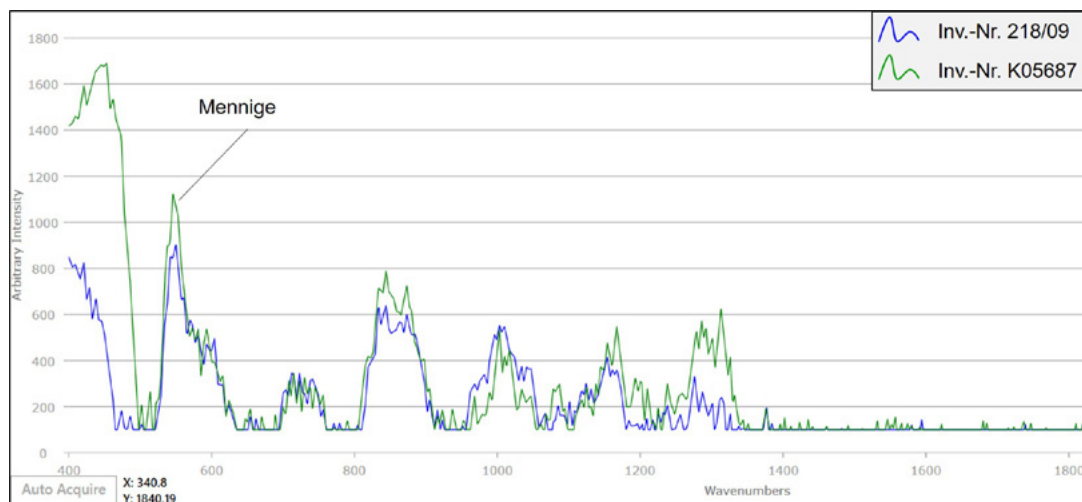
Von den Gesamtproben und von einzelnen extrahierten Fasern sind Durchlichtaufnahmen unter normalem und polarisiertem Licht erstellt worden. Für die Erfassung weiterer Oberflächendetails wurden hochauflösende Aufnahmen mit Hilfe eines neuartigen digitalen Laserscan-Mikroskops und eines Rasterelektronenmikroskops angefertigt.

Prinzipiell können Ming-zeitliche Papiergeldscheine je nach zeitlicher Einordnung und Herkunftsregion aus verschiedenen Fasern zusammengesetzt sein. So belegen bereits publizierte Forschungsergebnisse,<sup>10</sup> dass vergleichbare Banknoten aus Fasern der Papiermaulbeere (*Broussonetia papyrifera*), der weißen Maulbeere (*Morus alba*), der chinesischen Maulbeere (*Morus australis*) sowie aus Bambusarten (*Bamboo*), Hibiskus/Baumwoll-Rosemallow (*Hibiscus mutabilis*), Reis(-stroh) (*Oryza sativa*), Weizen(-stroh) (*Triticum sp.*) und Hanf (*Cannabis sativa*) bestehen können. Zur Unterscheidung der verschiedenen Faserarten können sowohl die Faserlängen und -breiten als auch markante morphologische Fasermerkmale herangezogen werden.

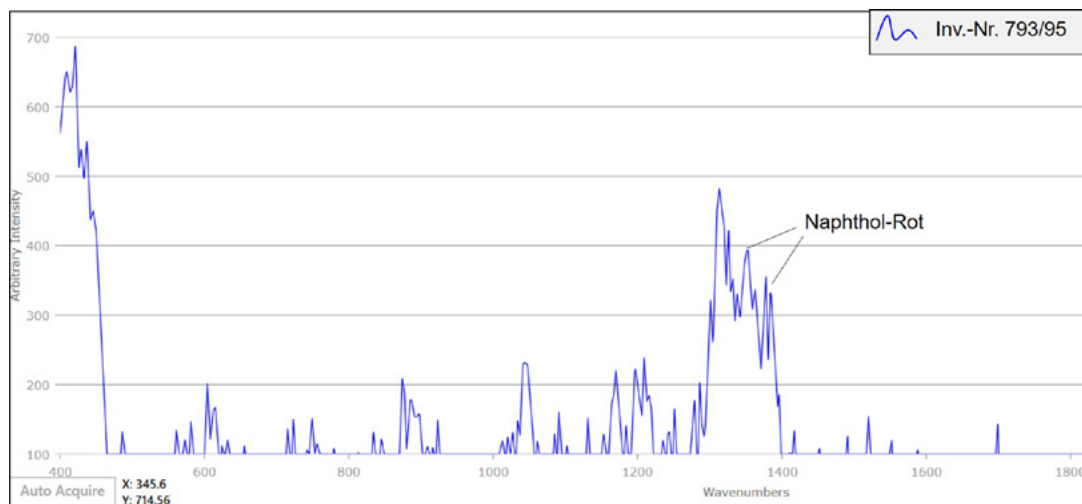
Die untersuchten Fasern der Banknoten nahmen nach dem Anfärben mit der Chlorzinkjod-Lösung vornehmlich eine rötliche Färbung an. Demzufolge können folgende Faserarten von vornherein ausgeschlossen werden: Reisstroh (*Oryza sativa*), Weizenstroh (*Triticum sp.*) sowie die Bambusarten (*Bamboo*). Ferner weisen die genannten Faserarten auch wesentlich geringere Faserlängen im Vergleich zu den vorliegenden Proben auf (Abb. 13).<sup>11</sup> Basierend auf den ermittelten Faserlängen sowie weiterer morphologischer Charakteristika können auch die Fasern der weißen Maulbeere (*Morus alba*) und der chinesischen Maulbeere (*Morus australis*) als Rohstoffe für die Banknoten ausgeschlossen werden.



**10** Raman-Spektren von schwarzen Farbbereichen der 1000-Käsch-Banknoten (Inv.-Nr. 218/09 und K05687) mit dem Nachweis von amorphem Kohlenstoff (Ruß)

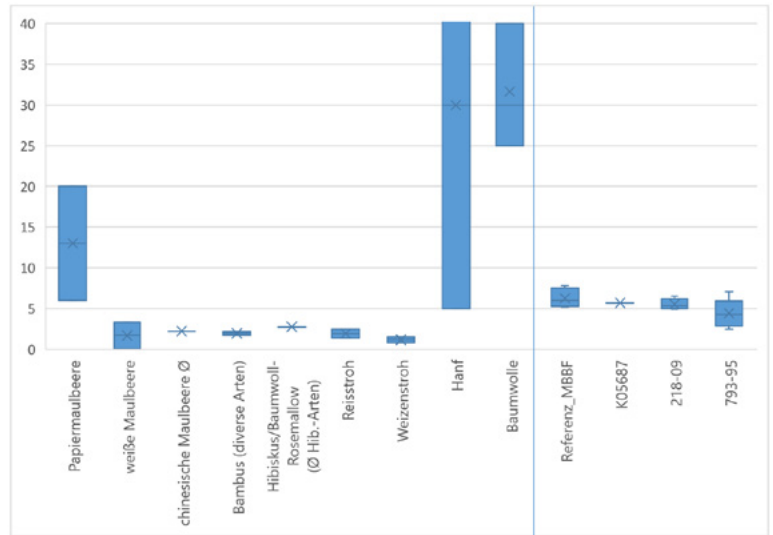


**11** Raman-Spektren von roten Farbbereichen der 1000-Käsch-Banknoten (Inv.-Nr. 218/09 und K05687) mit dem Nachweis von Mennige (Bleioxid)



**12** Raman-Spektrum von einem roten Farbbereich der 300-Käsch-Banknote (Inv.-Nr. 793/95) mit dem Nachweis von Naphthol-Rot

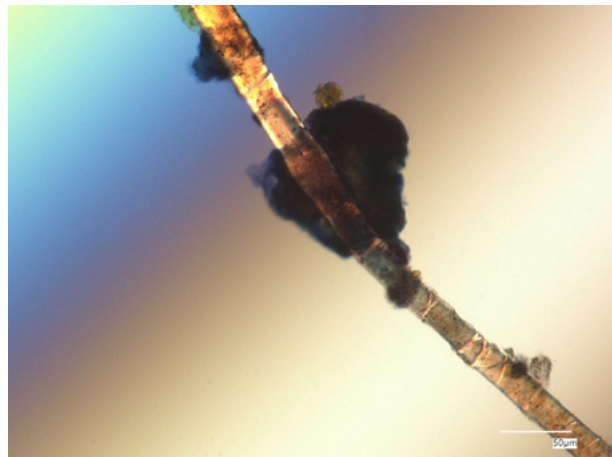
**13** Boxplotdiagramm zum Vergleich der Verteilung der Faserlängen (in mm) von verschiedenen Faserarten mit den untersuchten Proben



Vergleichbare Faserlängen sowie ähnliche Fasermerkmale zu den untersuchten Proben zeigen dagegen Hanffasern (*Cannabis sativa*) sowie Papiermaulbeerbaumfasern auf (Abb. 13).

In China wurden Hanffasern schon frühzeitig (während der Han-Dynastie) verwendet.<sup>12</sup> Hanffasern sind lang, dickwandig und weisen Querzeichnungen, ähnlich denen des Papiermaulbeerbaums (*Broussonetia papyrifera*), auf. Zudem färben sie sich mit Hilfe von Chlorzinkjod-Lösung ebenfalls rötlich und besitzen vergleichbare Faserlängen und -breiten.

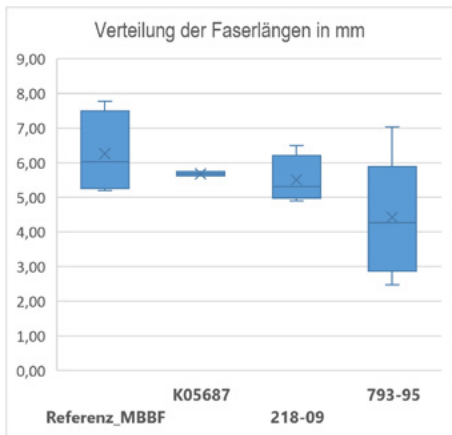
Das maßgebliche Unterscheidungsmerkmal zwischen Hanf- und Papiermaulbeerbaumfasern ist jedoch eine dünne, durchscheinende Hüllmembran, die sich mit Hilfe der Chlorzinkjod-Lösung blau färbt. Diese Membran wird bei der Papierverarbeitung häufig entfernt, sodass davon oft nur noch Reste mit Hilfe der mikroskopischen Untersuchung nachweisbar sind. Bei den untersuchten Faserproben waren vielfach Fragmente der Hüllmembran erkennbar (Abb. 14), sodass davon ausgegangen werden kann, dass es sich bei den Fasern der 1000-Käsch-Banknoten um Papiermaulbeerbaumfasern (Tab. 1) und nicht um Hanffasern handelt.



**14** Aufnahme einer mit Chlorzinkjod-Lösung angefärbten Einzelfaser der 1000-Käsch-Note mit der Inv.-Nr. K05687 im polarisierten Durchlicht (Digitalmikroskop VHX-7100) mit feiner Querzeichnung und Resten der Hüllmembran

**Tabelle 1** Zusammenstellung der Merkmale der Papiermaulbeerbaumfasern (Quelle: FRANKE 1993 & TYLOR 2025)

gebräuchlicher Name	Papiermaulbeere
wissenschaftlicher Name	Moraceae ( <i>Broussonetia Papyferia</i> )
Faserlänge	durchschnittlich 10 mm (6–20 mm)
Faserbreite	durchschnittlich 30 µm (25–35 µm)
Faserenden	variabel
Zellwände, Lumen	dickwandig, Lumen als Linie in Längsrichtung der Faser
Faserquerschnitt	häufig walzenförmig, abgeplattet
Kreuzmarkierung/Querzeichnung	schwache, feine Querzeichnung; wenige knotenartige Verdickungen
assoziierte Zellen	Parenchym, rechteckig, mit Oberflachennarben
Herzberg-Farbe (mittels Chlorzinkjod-Lösung)	rot mit blauem Lumen; Hüllmembran blau

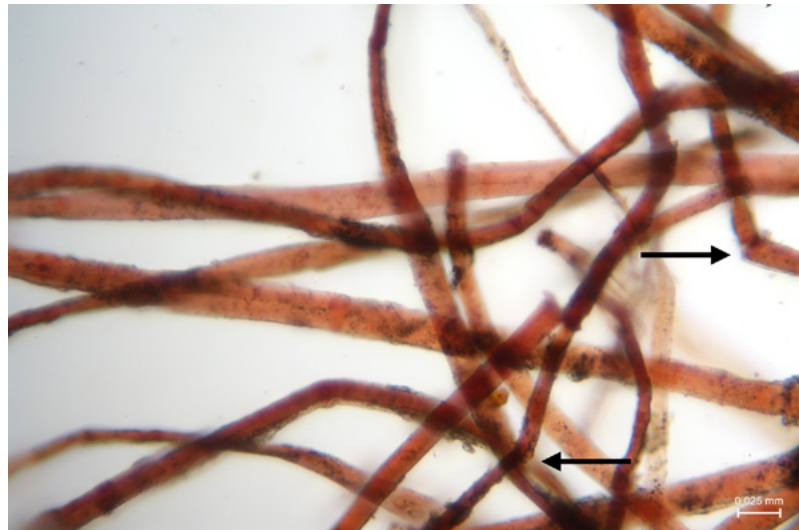


15 Boxplotdiagramm der Faserlängen (in mm) von den untersuchten Proben

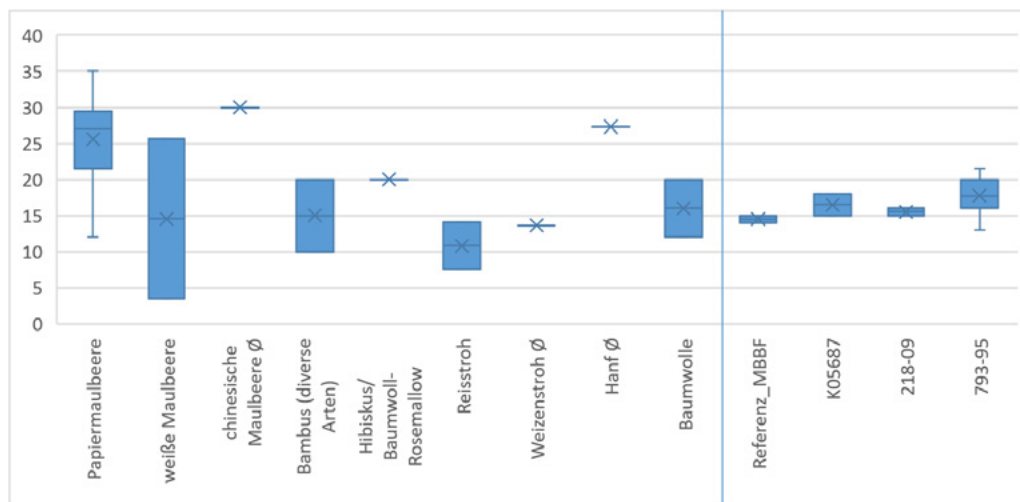
Das aus den Fasern der Bast­schicht des Papiermaulbeerbaums hergestellte Papier war in China bereits ab der Tang-Dynastie (705–907 n. Chr.) sehr beliebt. Es war das vorrangig verwendete Papier für Papiergeld und ist als *chhu chhao* bekannt.<sup>13</sup>

Bei den 1000-Käsch-Banknoten ließen sich Faserlängen zwischen 5 und 6,5 mm ermitteln (Abb. 15). Diese Faserlängen liegen im Vergleich zum Referenzmaterial<sup>14</sup> aus Papiermaulbeerfasern im unteren Langensbereich (vgl. Tab. 1). Vermutlich ist dies auf die Herstellungsprozesse der Papierfasern zurückzuführen. Prozesse wie Stampfen, Kochen und Schlagen können zu Bruchstellen an den Fasern führen, womit sich die geringen Fasergroen erklären lassen. Am Beispiel der 1000-Käsch-Banknote mit der Inventar­nummer K05687 sind deutliche Faserbruchstellen zu erkennen (Abb. 16).

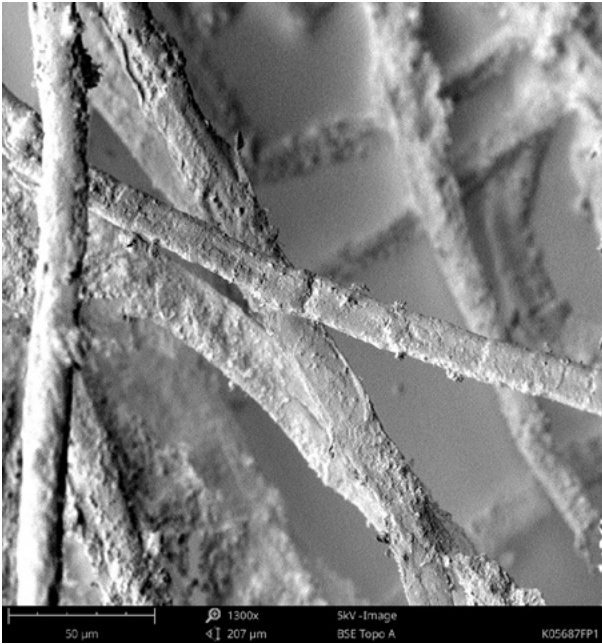
Eine weiterführende Differenzierung der Fasern mit Hilfe der Faserbreiten wurde als nicht zielführend erachtet, da sich die verschiedenen Faserarten in ihren Breiten nicht signifikant voneinander unterscheiden (Abb. 17)<sup>15</sup>. Die Fasern der Banknoten waren nur ca. 12 bis 22  $\mu\text{m}$  breit und somit relativ dünn. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass die Fasern bei der Papierherstellung nicht ausgiebig gestampft wurden. Ein weiteres charakteristisches Merkmal für Papiermaulbeerbaumfasern ist ihre walzenförmige bzw. abgeplattete Gestalt.<sup>16</sup> Diese ließ sich an den 1000-Käsch-Banknoten sehr gut mit Hilfe des Laser-Keyence-Mikroskops sowie mit dem REM darstellen (Abb. 18). Ferner sind Papiermaulbeerbaumfasern durch eine feine, gleichmäßige Querzeichnung<sup>17</sup> gekennzeichnet, welche sich vielfach an den beiden 1000-Käsch-Banknoten, vor allem im polarisierten Licht, aufzeigen ließ (Abb. 14 und 18).



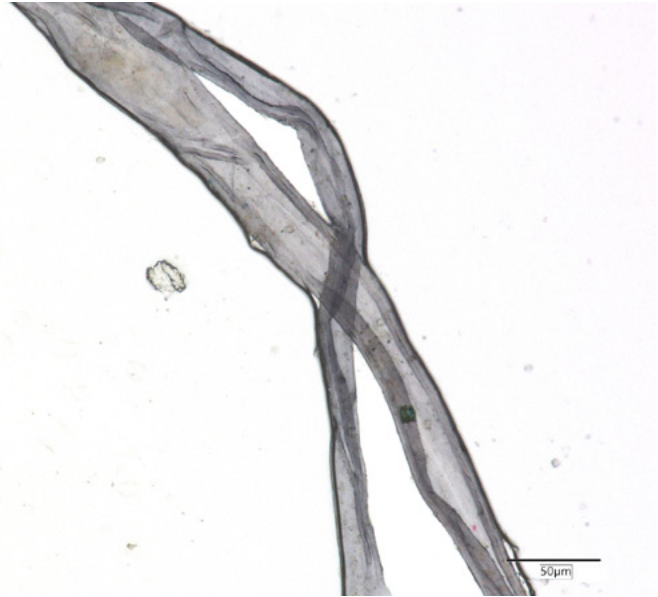
16 Übersichtsaufnahme der mit Chlorzinkjod-Lösung angefärbten Faserprobe der 1000-Käsch-Note mit der Inv.-Nr. K05687 im Durchlicht (Forschungsmikroskop Ortholux) mit gebrochenen/ geknickten Fasern (Pfeile schwarz)



17 Boxplotdiagramm zum Vergleich der Verteilung der Faserbreiten (in  $\mu\text{m}$ ) von verschiedenen Faserarten mit den untersuchten Proben



18 REM-Aufnahme einer Faserprobe der 1000-Käsch-Note mit der Inv.-Nr. K05687 mit abgeplatteter Faser



19 Aufnahme von Einzelfasern aus Baumwolle (Nasspräparat) der 300-Käsch-Note mit der Inv.-Nr. 793/95 im Durchlicht (Digitalmikroskop VHX-7100)

Bei den Fasern der 300-Käsch-Banknote handelt es sich hingegen um ein Fasergemisch aus wenigen Papiermaulbeerbaumfasern sowie anderen vornehmlich unterschiedlich gefärbten Fasern. Von letztgenannten konnten bisher die Baumwollfasern aufgrund ihrer morphologischen Eigenschaften (typische Wölste am Rand, die durch das eingefallene Lumen entstehen, sowie eine in sich verdrehte Struktur) eindeutig identifiziert werden (Abb. 19). Ihre unterschiedliche Farbigkeit und geringe Faserlänge deuten darauf hin, dass es sich vermutlich um moderne recycelte Baumwolltextilien in Form von stark zerkleinerter Kleidung handelt.

In der Zeit der Ming-Dynastie wurde zwar der Anbau von Baumwolle (*Gossypium sp.*) stark gefördert, es gibt jedoch keine Belege dafür, dass sie in der Papierherstellung Verwendung fand. Dies wird durch die Untersuchung von Cartwright, Duffy und Wang<sup>18</sup> an elf analysierten Ming-zeitlichen Banknoten des British Museum und der British Library bestätigt, bei der ebenfalls keine Baumwollfasern nachgewiesen wurden.

Neben den Baumwollfasern enthält das Papiervlies der 300-Käsch-Banknote weitere Fasern. Diese sind entweder auffällig breit und flach oder zeigen bis auf ihre Farbigkeit keine besonderen morphologischen Merkmale auf, oder es handelt sich um blaue spiralförmig aufgewickelte Fasern.

### Zusammenfassung und Schlussbetrachtung

Die materialtechnologischen Untersuchungen an den drei Banknoten aus dem Bestand der Numismatischen Sammlung der Deutschen Bundesbank in Frankfurt am Main, deren Herstellung in der Zeit der Ming-Dynastie vermutet wird, zeigen sehr unterschiedliche Ergebnisse (Tab. 2).

Mit Hilfe der Röntgenfluoreszenz- und Raman-Analysen konnten an den beiden 1000-Käsch-Banknoten als farbgebende Pigmente rote Mennige und schwarzer Ruß (amorpher Kohlenstoff) festgestellt werden. Beide Pigmente wurden in der Vergangenheit bereits von anderen Forschergruppen<sup>19</sup> auf Ming-zeitlichen Papiergeldscheinen identifiziert und gelten daher als zeitgem.

Dank der digitalen 3D-Mikroskopie zeigte sich bei den 1000-Käsch-Banknoten, dass die schwarzen Rußpigmente aufgrund ihrer geringen Teilchengröße, Struktur und Oberflächenbeschaffenheit sehr gut an den Papierfasern haften. Demgegenüber befindet sich das größere rote Pigment (Mennige) nur lose verstreut in den Faserzwischenraumen. Demzufolge ist der in Schwarz gehaltene Textteil auf den Banknoten in einem besseren Erhaltungszustand als der rote Stempelabdruck des Siegels.

Hinsichtlich des strukturellen Aufbaus des Papiervlieses weisen die beiden 1000-Käsch-Scheine sowohl in der Faserstruktur als auch bei der Art der Einschlüsse typische Merkmale für Ming-zeitlichen Banknoten auf.

**Tabelle 2** Zusammenfassung der Ergebnisse zur Analyse der Farbmittel, Struktur des Papiervlieses und der Faseruntersuchungen (kursiv: abweichende Merkmale)

Fragestellung (Methode)	K05687 (1000-Käsch-Banknote)	218/09 (1000-Käsch-Banknote)	793/95 (300-Käsch-Banknote)
Farbmittel rot (p-RFA und mobile Raman-Spektroskopie)	Mennige (+ evtl. Eisenoxide)	Mennige	<i>synthetisch hergestelltes organisches Pigment (Azopigment)</i>
Anhaftung der roten Farbmittel an den Fasern (digitale 3D-Mikroskopie)	lose gebunden zwischen den Fasern	lose gebunden zwischen den Fasern	<i>Fasern komplett von Pigmenten umschlossen</i>
Farbmittel schwarz (p-RFA und mobile Raman-Spektroskopie)	amorpher Kohlenstoff (Ruß)	amorpher Kohlenstoff (Ruß)	<i>synthetisch hergestelltes organisches Pigment (Azopigment); vmtl. Amidoschwarz</i>
Anhaftung der schwarzen Farbmittel an den Fasern (digitale 3D-Mikroskopie)	sehr gut an Faseroberfläche gebunden	sehr gut an Faseroberfläche gebunden	<i>Fasern komplett von Pigmenten umschlossen</i>
Papiervlies allgemein (digitale 3D-Mikroskopie)	allgemeine Papiermasse aus grauen, ungerichteten Fasern; lose Fasern, Faserbündel; Einschlüsse von Rindenstückchen o. a.	allgemeine Papiermasse aus grauen, ungerichteten Fasern; lose Fasern, Faserbündel; Einschlüsse von Rindenstückchen o. a.	<i>allgemeine Papiermasse sehr dicht und aus verschiedenfarbigen, ungerichteten Fasern; lose Fasern, Faserbündel; keine Einschlüsse von Rindenstückchen o. a.</i>
Faserlängen [mm] (Mikroskopie)	5,63 bis 5,74	5,25 bis 6,49	<i>4,70 bis 7,03 und 2,48 bis 5,52</i>
Faserbreiten [m] (Mikroskopie)	15 bis 18	15 bis 16	<i>13 bis 17,5 und 17 bis 21,5</i>
morphologische Merkmale der Fasern (Mikroskopie)	feine Querzeichnung, vereinzelt Verdickungen; teils Hüllmembran; abgeplattete Fasern	feine Querzeichnung, vereinzelt Verdickungen; teils Hüllmembran; abgeplattete Fasern	<i>feine Querzeichnung, vereinzelt Verdickungen; teils Hüllmembran; abgeplattete Fasern; rote, blaue, schwarze und farblose Fasern mit eingefallenen Lumen, verdrehte Struktur; flache, sehr breite Fasern; blaue, spiralförmig gedrehte Fasern; blaue Fasern ohne typische morpholog. Charakteristika</i>
Anfärbung mit Chlorzinkjod-Lsg. (Mikroskopie)	rot; Hüllmembran teilweise blau	rot; Hüllmembran teilweise blau	<i>rot; Hüllmembran teilweise blau; rötlich</i>
verwendete Fasern (Mikroskopie)	Papiermaulbeerbaumfasern	Papiermaulbeerbaumfasern	<i>Papiermaulbeerbaumfasern; Baumwollfasern; noch nicht identifizierte Fasern</i>

Mit Hilfe zahlreicher mikroskopischer Untersuchungen ließen sich die Papierfasern der beiden 1000-Käsch-Banknoten als Papiermaulbeerbaumfasern identifizieren, welche während der Ming-Dynastie vorwiegend zur Herstellung von Papiergeldscheinen verwendet wurden.

Um die Papiermaulbeerbaumfasern einer bestimmten Herkunftsregion zuordnen zu können, müssten weiterführende Elementaranalysen mit Hilfe der induktiv gekoppelten Plasma-Atomemissionsspektrometrie (ICP-AES) oder induktiv gekoppelten Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS) vorgenommen werden. Dafür wird allerdings Probenmaterial von 0,1 bis 0,3 Gramm benötigt.<sup>20</sup>

Bei der 300-Käsch-Banknote wurden im Gegensatz zu den 1000-Käsch-Banknoten Azopigmente als Farbmittel verwendet. Synthetische Azopigmente, wie beispielsweise Naphthol-Rot, wurden erst nach 1911 entwickelt und im Bereich der Kunst sogar erst nach 1920 eingesetzt.

Gemäß den mikroskopischen Aufnahmen umschließen die Azopigmente die roten und schwarzen Papierfasern vollständig, womit sich die gute Lesbarkeit der Schriftzeichen und Symbole erklären lässt.

Bei den Fasern der 300-Käsch-Banknote handelt es sich um ein Fasergemisch aus wenigen Papiermaulbeerbaumfasern sowie verschiedenen anderen Faserarten, wovon bis dato nur die Baumwollfasern aufgrund ihrer morphologischen Eigenschaften erkannt werden konnten. Aktuell gibt es keine Belege für die Nutzung von Baumwollfasern zur Papiergeldproduktion während der Ming-Dynastie.

Unter Berücksichtigung der durchgeführten materialtechnologischen Untersuchungen erwiesen sich nur die beiden 1000-Käsch-Banknoten als authentisch, da sie aus Materialien gefertigt wurden, die nach derzeitigem Kenntnisstand während der Ming-Dynastie zur Produktion von Papiergeld verwendet wurden.

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts wurde die Bestimmung der Faserarten mittels verschiedener mikroskopischer Verfahren vorgenommen. Fazit der Untersuchungen ist, dass es für die Identifizierung der Faserart anhand charakteristischer morphologischer Merkmale ausreicht, intakte Einzelfasern als Nasspreparat im Durchlichtmikroskop unter normalem und polarisiertem Licht zu analysieren. Weiterführende hochauflösende Aufnahmen mittels REM geben allenfalls eine Ergänzung zu einzelnen Oberflachenphanomenen. Sie liefern jedoch insgesamt zu wenige Informationen, um eine Faser eindeutig zu identifizieren. Die neuartige Anwendung eines konfokalen 3D-Laserscanning-Mikroskops erwies sich hinsichtlich einer gesamten Darstellung der Probenoberfläche als vorteilhaft, müsste aber zukünftig noch weiter getestet bzw. optimiert werden. Wesentliche Vorteile dieser Untersuchungsmethode sind, dass die Untersuchungen keine Probenahme erfordern und die Farbinformation der Objektoberflächen mit in die Darstellung integriert werden.

Wie die Untersuchungsergebnisse insgesamt gezeigt haben, bietet die Anwendung verschiedener zerstörungsfreier analytischer und optischer Methoden ein hervorragendes Instrument zur Unterscheidung von modernen und historischen Materialien, die bei der Herstellung von historischem Papiergeld Verwendung fanden.

**Jenny Fey M.A.**

Deutsche Bundesbank  
Mainzer Landstraße 46  
60431 Frankfurt am Main

**Dr. Sonja Behrendt**

**Antonia Höhne**

Dipl.-Rest. (FH)

**Dr. Boaz Paz**

Paz Laboratorien GmbH  
Planiger Str. 34, Haus 18/19  
55543 Bad Kreuznach

## Anmerkungen

1 CHEN/CHANG/CHEN 1995, S. 274 ff.

2 CARTWRIGHT/DUFFY/WANG 2014, S.105 f.

3 Für die zerstörungsfreien Materialuntersuchungen wurde ein portabler Rontgenfluoreszenzanalysator Niton XLT3t von der Firma Thermo Fisher Scientific (Rohrchentyp: Silberanode, 50 kV und 200  $\mu$ A, Rohrenschnung: 6 bis 50 kV. Messmodus: Cu-Zn-Mining) verwendet. Zur Durchführung der Raman-Analysen kam das mobile Raman-Spektrometer ‚MIRA-1‘ der Firma Metrohm mit einer Laserwellenlänge von 785 nm einer Laser-Ausgangsleistung von  $\leq$  100 mW sowie einem Spektralbereich von 400-2300 cm<sup>-1</sup> zum Einsatz. Die mikroskopischen Untersuchungen wurden an einem Auf- und Durchlichtmikroskop der Firma Leitz Wetzlar, an zwei verschiedenen 3D-Digitalmikroskopen (VHX-1000 und VHX-7100) der Firma Keyence sowie an einem konfokalen 3D-Laserscanning-Mikroskop (VK-X3050) der Firma Keyence ausgeführt. Zur Rasterelektronenmikroskopie wurde ein Phenom ProX G5 (mit integrierter EDX zur Elementanalyse) der Firma Thermo Fisher Scientific genutzt. Die Untersuchungen wurden von der Paz Laboratorien GmbH durch Dr. Boaz Paz, Dr. Sonja Behrendt und Dipl.-Restauratorin (FH) Antonia Höhne durchgeführt. Für die Erstellung der mikroskopischen Aufnahmen im Rahmen der Faseranalysen mittels des hochauflösenden 3D-Digitalmikroskops (VHX-7100), des 3D-Laserscanning-Mikroskops (VK-X1000) sowie des Rasterelektronenmikroskops sei ganz herzlich Dipl.-Rest. (FH) Dietmar Linke vom Atelier für Restaurierung Keller & Linke GbR in Berlin Karow gedankt.

4 CARTWRIGHT/DUFFY/WANG 2014, S. 111

5 Das Vorhandensein großer Faserbündel sowie Einschlüsse (Rinden- und Stammfragmente) deutet darauf hin, dass die Rohstoffe während der Papierherstellung nicht intensiv verarbeitet wurden.

6 Bei der Raman-Spektroskopie wird das zu untersuchende Material, in diesem Fall der Farbauftrag der Banknoten, mit monochromatischem Licht (üblicherweise einer leistungsstarken Laserquelle) bestrahlt. Dabei wird das eingestrahlte Licht von den Molekülen des Untersuchungsmaterials gestreut. Dies wird dadurch hervorgerufen, dass Schwingungen im Molekül angeregt werden. Es handelt sich folglich bei der Raman-Spektroskopie um eine Methode der Schwingungsspektroskopie. Die Raman-Spektroskopie ist eine komplementäre Untersuchungsmethode zur Röntgenfluoreszenzanalyse: Einige Pigmente, wie z. B. Azurit und Cuprit, sind zwar aus denselben Elementen aufgebaut, besitzen aber aufgrund der unterschiedlichen Wertigkeit

des Kupfers und der verschiedenen Modifikation des Kristallgitters eine andere Farbigkeit. Da die Elementanalyse mittels p-RFA keine Unterscheidung dieser Pigmente zulässt, wird die Raman-Spektroskopie zur Charakterisierung der mineralischen Zusammensetzung eingesetzt.

Die Messungen mittels p-RFA wurden in einem Strahlenschutzkoffer vorgenommen, dessen Hülle schichtartig aus verschiedenen strahlenabsorbierenden Materialien aufgebaut ist. In dem Strahlenschutzkoffer befindet sich ein spezieller Probenhalter in Form eines Acryl-Netzbodens, wodurch eine störungsfreie Messung von leichten Matrices wie Papier möglich ist.

- 7 SHI/LI 2013, Tab. 2, S. 897
- 8 BICCHIERI ET AL. 2020, S. 144 ff.
- 9 Amidoschwarz 10B gehört zu den Disazopigmente mit einem charakteristischen Alpha-Naphthol-Gerüst. An einer Banknote, die aus der Yuan-Dynastie (1260–1386) stammen sollte, wurde mittels Raman-Spektroskopie die Verwendung von Amidoschwarz 10B festgestellt. Vermutlich wurde Amidoschwarz 10B verwendet, um der Banknote ein antikes Aussehen zu geben, um somit den optischen Eindruck eines gealterten Papiergeldes zu vermitteln. Vgl. BICCHIERI ET AL. 2020, S. 145–146
- 10 CARTWRIGHT/DUFFY/WANG 2014, Tab. 2, S. 112
- 11 Boxplotdiagramm zum Vergleich der Verteilung der Faserlängen (in mm) von verschiedenen Faserarten (Literaturdaten aus CARTWRIGHT ET AL. 2014; SMITH ET AL. 2020; YI ET AL. 2006; HUSSAIN ET AL. 2020; SALIH 2022; ROTOWA 2015; JIN/CHEN 2007; SINGH ET AL. 2011; KORDSACHIA 2023; MIRSKI ET AL. 2017) mit den untersuchten Proben
- 12 ZHOU ET AL. 2025 und CARTWRIGHT/DUFFY/WANG 2014
- 13 TSJEN 1985
- 14 Die Referenzfasern (Referenz\_MBBF) stammen von einem handgeschopften chinesischen Papier aus Papiermaulbeerbaumfasern, welches im Aufbau und der Struktur sehr ähnlich zu original Ming-zeitlichen Papieren ist.
- 15 Boxplotdiagramm zum Vergleich der Verteilung der Faserbreiten (in  $\mu\text{m}$ ) von verschiedenen Faserarten (Literaturdaten aus CARTWRIGHT ET AL. 2014; SMITH ET AL. 2020; YI ET AL. 2006; HUSSAIN ET AL. 2020; SALIH 2022; ROTOWA 2015; JIN/CHEN 2007; SINGH ET AL. 2011; KORDSACHIA 2023; MIRSKI ET AL. 2017) mit den untersuchten Proben.
- 16 WIESNER 1903, S. 446 f.
- 17 FRANKE 1993, S. 45 sowie TAYLOR 2025
- 18 CARTWRIGHT/DUFFY/WANG 2014, Tab. 2, S. 112
- 19 BICCHIERI ET AL. 2020 sowie SHI/LI 2013
- 20 GO ET AL. 2021

## Literatur

### BICCHIERI ET AL. 2020:

Marina Bicchieri, Paola Biocca, Claudia Caliri, Filip Vostal, Ludek Vostal und Francesco Paolo Romano, Determining old Chinese non-circulating paper money's authenticity using  $\mu$ -Raman and MA-XRF spectroscopies. In: *Journal of Cultural Heritage*, Bd. 46, 2020, S. 140–147

### CARTWRIGHT/DUFFY/WANG 2014:

Caroline R. Cartwright, Christina M. Duffy und Helen Wang, Microscopical examination of fibres used in Ming dynasty paper money. In: *The British Museum Technical Research Bulletin*, Bd. 8, 2014, S. 105–116

### CHEN/CHANG/CHEN 1995:

Chau-Nan Chen, Pin-Tsun Chang und Shikuan Chen, The Sung and Ming paper monies: Currency competition and currency bubbles, *Journal of Macroeconomics*, Bd. 17 (2), 1995, S. 273–288

### EGBEWOLE/ROTOWA/OMOAKE 2015:

Zaccheaus Tunde Egbewole, Odunayo James Rotowa und Peter O. Omoake, Evaluation of Fibre Quality of Bambusa Vulgaris (Bamboo) as a Raw Material for Pulp and Paper Production. In: *Production Agriculture and Technology Journal*, Bd. 11 (2), 2015, S. 188–202

### FRANKE 1993:

Werner Franke, Prufung von Papier, Pappe, Zellstoff und Holzstoff. Bd. 2, Mikroskopische und photometrische Verfahren. Berlin 1993

### GO ET AL. 2021:

In Hee Go, Ah Hyeon Jo, Sir Lin Jeong, Tea Young Heo, Kun Cho und Tea Ho Choi, Predictive model of geographical origin discrimination of paper mulberry and handmade paper using ICP-AES/MS and multivariate statistical analysis. In: *Journal of Cultural Heritage*, Bd. 49, 2021, S. 222–228

### HUSSAIN/NASIR/KHAN 2020:

Tanvir Hussain, Ghulam Mustafa Nasir und Ayaz Khan, Comparative wood anatomy of *Morus alba* and *Morus nigra* grown in Swat, Khyber Pakhtunkhwa. In: *The Pakistan Journal of Forestry*, Bd. 70 (1), 2020, S. 10–15

### JIN/CHEN 2007:

Shengying Jin und Hongzhang Chen, Fractionation of fibrous fraction from steam-exploded rice straw. In: *Process Biochemistry*, Bd. 42 (2), 2007, S. 188–192

### KORDSACHIA 2023:

Tamas Kordsachia, Entwicklung eines neuen Verfahrens zur Faserstoffherzeugung aus Agrarreststoffen für die Herstellung von nachhaltigen Papierprodukten. Abschlussbericht zum DBU-Projekt AZ 35338/01. Hamburg 2023

### MIRSKI ET AL. 2017:

Radoslaw Mirski, Piotr Borszewski, Adrian Trociński und Dorota Dziurka, The Possibility to Use Long Fibres from Fast Growing Hemp (*Cannabis sativa* L.) for the Production of Boards for the Building and Furniture Industry. In: *BioResources*, Bd. 12 (2), 2017, S. 3521–3529

### SALIH 2022:

Rabar Salih, Growth, Yield, and Fiber Morphology of Kenaf (*Hibiscus Cannabinus* L.) Varieties Influenced by Different Levels of Npk Fertilizers. In: *Journal of Applied Agricultural Science and Technology*. Bd. 6, 2022, S. 129–138

### SHI/LI 2013:

Ji-long Shi, Tao Li, Technical investigation of 15th and 19th century Chinese paper currencies: Fiber use and pigment identification. In: *Journal of Raman Spectroscopy*, Bd. 44 (6), 2013, S. 892–898

### SINGH/DUTT/TYAGI 2011:

Shalini Singh, Dharm Dutt und C. H. Tyagi, Complete characterization of wheat straw (*Triticum aestivum* PBW-343 L. Emend. Fiori & Paul.) - A renewable source of fibers for pulp and paper making. In: *BioResources*, Bd. 6 (1), 2011, S. 154–177

### SMITH ET AL. 2020:

Catherine Ann Smith, Bronwyn J. Lowe, Nigel L. Fraser und Jacques-Joseph Boucher, Polarized light microscopy casts new light on plants used to make tapa. In: *Archaeometry*, Bd. 62 (5), 2020, S. 991–1008

TSJEN 1985: Tsuen-Hsuein Tsien, Paper and Printing. In: Joseph Needham (Hrsg.), *Science and Civilisation in China*. Bd. 5, Chemistry and Chemical Technology. Part I. Cambridge 1985, S. 485

### TAYLOR 2025:

Travis Taylor, Oriental Papermaking Fibres, Paper-mulberry. <https://cultural-conservation.unimelb.edu.au/papermulberry.html> [Zugriff: 14.07.2025]

### WIESNER 1903:

Julius Wiesner, Die Rohstoffe des Pflanzenreiches. Versuch einer technischen Rohstofflehre des Pflanzenreiches. Bd. 2. Leipzig 1903

### YI/CHO 2006:

Il-Roh Yi und Nam-Seok Cho, Sheet Formation Properties of *Morus Hanji*. In: *Journal of Korea Technical Association of The Pulp and Paper Industry*, Bd. 38 (3), 2006, S. 47–60

### ZHOU ET AL. 2025:

Xianjing Zhou, Yuchen Gong, Ruxuan Zhao, Yun Zhang, An Gu, Qu Yajie und Qi Wang, Scientific research and new evidence of the materials and craft of hard yellow paper. In: *npj Heritage Science*, Bd. 13 (1), 2025, Artikel-Nr. 207

## Abbildungsnachweis

Abb. 1–3: Numismatische Sammlung der Deutschen Bundesbank, Frankfurt am Main

Abb. 4–9: Boaz Paz, Paz Laboratorien GmbH, Bad Kreuznach

Abb. 5, 14, 18, 19: Antonia Höhne & Dietmar Linke, Atelier für Restaurierung Keller & Linke GbR in Berlin Karow

Abb. 6–12: Boaz Paz & Sonja Behrendt, Paz Laboratorien GmbH, Bad Kreuznach

Abb. 13, 15, 16, 17: Antonia Höhne, Paz Laboratorien GmbH, Berlin

Titel: Detail aus Abb. 1

## Lizenz

Dieser Beitrag ist unter der Creative-Commons-Lizenz CC BY-NC-ND 4.0 veröffentlicht.

