

Mikroskopische Streifzüge auf Banknoten

Dr. Horst Wörmann

Erweiterte und aktualisierte Fassung 22.01.2021

VORBEMERKUNGEN:	1
1. DIE EURO-BANKNOTEN	2
1.1. Motive	2
1.2. Herstellung	3
2. SICHERHEITSMERKMALE	4
2.1. Makroskopisch erkennbare Merkmale	6
2.1.1. Papier und Beschichtung	6
2.1.2. Größe	8
2.1.3. Durchsichtsregister	9
2.1.4. Mikroperforation	9
2.1.5. Wasserzeichen	10
2.1.6. Hologramme und Kinegramme	11
1.1.1.1. Exkurs: der 20-Euro-Schein als Spektrometer	14
1.1.1.2. Exkurs: Die Kohärenzlänge, erklärt an der 20-Euro-Note	15
2.1.7. Iridinstreifen	17
2.1.8. Optische Effekte: die Smaragdzahl	21
2.2. Mikroskopisch und physikalisch erkennbare Merkmale.....	23
2.2.1. Eurion-Konstellation	23
2.2.2. Melierfasern	26
2.2.3. Mikroschrift	27
2.2.4. Infrarot	28
2.2.5. Magnetcodierung	28
2.2.6. Sicherheitsfaden	29
2.2.7. Elektrische Leitfähigkeit	29
2.2.8. Das M-Feature	30
3 Weitere Sicherheitselemente; Ausblick	30
4 LITERATUR UND WEITERE, IM TEXT NICHT ZITIERTER QUELLEN	31
5 ABBILDUNGSVERZEICHNIS	32

Vorbemerkungen:

Dieser Bericht ist eine gekürzte Zusammenfassung von Vorträgen, gehalten bei der Dörnberg-Tagung am 28.08.2016, beim MKB am 20.10.2016 und in Hagen am 13.09.2018, ergänzt Anfang 2021 durch die Beschreibung einiger neuer Sicherheitsmerkmale auf der neuen 200-Euro-Banknote und auf den aktuellen Schweizer Franken-Noten.

Literatur zum Thema ist aus naheliegenden Gründen schwer zu finden. Die Branche der Hochsicherheitsdruckereien und Banknotenpapierhersteller ist sehr verschwiegen, Bücher und Zeitschriften gibt es nicht, mit einer Ausnahme: Klaus W. Benders Werk „Geldmacher. Das geheimste Gewerbe der Welt“ (1), eine tiefgründige Analyse der Branche.

Das Internet erwies sich als reichhaltige Quelle, aber die Informationen sind nicht zuverlässig, z.T. widersprüchlich, außerdem stößt man auf viele tote Links.

Die Internet-Informationen wurden auf Plausibilität geprüft; auf Widersprüche und nicht verifizierbare Fakten ist jeweils im Text hingewiesen. Alle Informationen sind frei zugänglich bzw. aus eigenen Beobachtungen zu erschließen, hier werden also keine Staatsgeheimnisse verraten.

Technisches:

Fotos guter Qualität zu erzeugen ist nicht einfach: die Lackierung der neuen Euro-Banknoten bewirkt Schärfeverluste tieferliegender Schichten und macht DIK unmöglich.

Außerdem ist es vom Banknotendesign her beabsichtigt, Abbildungen welcher Art auch immer zu erschweren. Speziell bei hohen Vergrößerungen sind durch die Welligkeit der Banknoten nur kleine Bereiche scharfzustellen. Am besten beschichtet man eine plane Metallplatte mit Sprühkleber, läßt nach Vorschrift ablüften und klebt die Banknote glatt auf. Sie ist auch nach längerer Lagerung zerstörungsfrei wieder abzuziehen.

1. Die Euro-Banknoten

1.1. Motive

Das Design hat Bruno P. Kremer im letzten erschienenen Heft des Mikrokosmos beschrieben (2). Auf den Webseiten von Europäischer Zentralbank (EZB) und Bundesbank findet man sehr ausführliche Informationen über die Geschichte und Gestaltung der Euronoten. 2016 ist auch eine Buchveröffentlichung zum Thema erschienen (3):

Stefan Hartmann, Christian Thiel:
„Der schöne Schein. Symbolik und Ästhetik von Banknoten“
Gietl-Verlag, 1. Aufl. 2016, 29 €
(mit dem Kapitel „Ästhetik des Sicherheitsdrucks“).

Bemerkenswert für den Mikroskopiker – weil sehr klein und normalerweise nicht beachtet – sind die „Fliegenschisse“ in der linken unteren Ecke der Europa-Karte auf der Banknoten-Rückseite (*die Rückseite ist immer die mit dem Brückenmotiv!*):

Azoren, Madeira:	zu Portugal
Kanarische Inseln:	zu Spanien
In drei Kästchen: Martinique, Guadalupe, Réunion:	zu Frankreich
Mit Küstenlinie: Französisch Guayana	zu Frankreich

Bei der Einführung der zweiten Serie der Euro-Banknoten mußte die Karte um Malta und Zypern ergänzt werden, da beide Länder dem Euro-Raum beigetreten sind.



Abbildung 1: links Banknoten der neuen Serie. Der kleine schwarze Fleck unter Sizilien ist Malta. In der ersten Serie (rechts) fehlt Malta noch.

1.2. Herstellung

So raffiniert die Gestaltung der Banknote und die eingearbeiteten Sicherheitsmerkmale auch sind, die Herstellungskosten sind angesichts der riesigen gedruckten Mengen sehr gering; von der häufigsten Banknote, dem 50-Euroschein, waren im März 2019 etwa 10 Milliarden Stück im Umlauf (EZB). So soll die Herstellung der neuen 20-Euro-Banknote nur 0,08 €/Stück betragen (4). Sehr gut gemachte Filme zur Herstellung von Banknoten findet man auf der Webseite der EZB (5).

In Deutschland existieren zwei Sicherheitsdruckereien: die Bundesdruckerei und die Firma Giesecke + Devrient GmbH, ein Familienunternehmen mit Sitz in München, Weltmarktführer auf den Gebieten Sicherheitsdruck, Maschinen zur Banknotenbearbeitung und anderen Sicherheitstechnologien – einer der deutschen „hidden champions“ (6).

Haltbarkeit:

Langlebig sind beispielsweise magnetische oder phosphoreszierende Elemente, oder auch Stahldruckfarben mit Infraroteigenschaften. Dagegen sind Merkmale wie elektrische Leit-

fähigkeit, Fluoreszenz und Aufhellerfreiheit des Papiers oft nach wenigen Monaten nicht mehr einwandfrei nachweisbar.

Die Lebensdauer beträgt je nach Wert zwischen zehn Monaten und fünf Jahren.

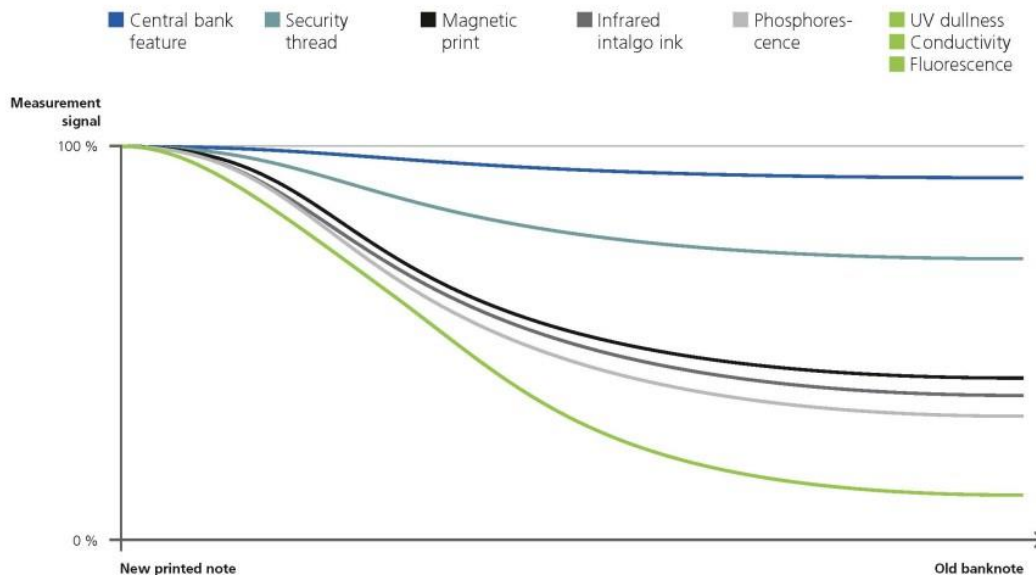


Abbildung 2: Haltbarkeit von Sicherheitsmerkmalen

2. Sicherheitsmerkmale

Hier sollen etwa 20 Sicherheitsmerkmale vorgestellt werden. Warum Sicherheitsmerkmale in dieser Menge und Qualität?

„Der wohl wichtigste Grund ist die Fälschungssicherheit. Aufgrund des geringen Materialwerts wurde Papiergeld schon immer gefälscht. Übrigens nicht nur von ‚privaten‘ Kriminellen, sondern auch von Staaten, getreu dem Motto von Lenin: „Wer eine Gesellschaft zerstören will, muß ihre Währung ruinieren“. Dies hat schon Napoleon mit der Fälschung der österreichischen und russischen Währungen versucht, ebenso die Nazis beim britischen Pfund. Die Fälschungsproblematik verschärfte sich ab den 1980er Jahren mit dem Aufkommen der digitalen Reprotechnologie. Moderne Banknoten sind deswegen mit einer ganzen Reihe von Sicherheitsmerkmalen versehen“ (3 S. 63).

Seit der ersten Herausgabe von Banknoten in Schweden 1661 sind Bank und Fälscher einander immer auf den Fersen: bereits 1853 wurde das neue Medium Fotografie schon zur Fälschung von Banknoten benutzt, also kurz nach der Erfindung (Daguerre 1837). Hier der Anfang des Artikels von A. Claudet, erschienen in Dingler's Polytechnischem Journal Band 130 (Augsburg 1853), S. 271-275:

„LXV. Ueber photographische Nachahmung der Banknoten und die Mittel diesen Betrug zu verhindern.

Die Times vom 8. October d. J. enthalten folgenden Artikel über einen photographischen Betrug, dessen Opfer die Bank von England wurde:

Man hat bei der Bank von England die Entdeckung gemacht, daß sich mittelst der Photographie die Banknoten so täuschend nachmachen lassen, daß eine solche falsche Note neuerlich für Gold eingewechselt werden konnte, indem der Kassier sie nicht von einer ächten zu unterscheiden vermochte.“

Die Gegenreaktion der Banknotendrucker war einfach: Umstellung von schwarzer Druckfarbe auf farbigen Druck - die Farbfotografie wurde viel später erfunden - :

„Es ist ein sehr glücklicher Umstand, daß die Photographie, während sie einerseits den Fälschern es möglich macht ihre gefährliche Industrie auszuüben, uns andererseits auch die Mittel liefert, deren Bemühungen fruchtlos zu machen. In der That ist dieses sehr leicht. Die Bank von England braucht nur ihre Noten, anstatt sie bloß in Schwarz und Weiß zu drucken, mit vielfarbigen Dessins verzierern zu lassen, um jede photographische Nachahmung derselben zu vereiteln.“ (A. Claudet, A.a.O. S. 273)

Der Mehrfarbdruck gehört neben dem Wasserzeichen zu den ältesten Sicherheitsmerkmalen. Heute wird praktisch jeder physikalische Effekt genutzt, um den Fälschern das Leben schwer zu machen.

Die Merkmale werden von der Bundesbank hinsichtlich ihrer „Stärke“ wie folgt klassifiziert:

Level 1: einfache Vorkenntnisse der Effekte ausreichend. Sie sind mit bloßem Auge und ohne Hilfsmittel zu erkennen: „Sehen – Kippen – Fühlen“.

Level 2 wird noch einmal unterteilt in

Level 2 a: Merkmale des Level 2 a sind mit einfachen Hilfsmitteln wie Lupe, UV-Lampe oder Filter zu erkennen.

Level 2 b: benötigt spezielle Kenntnisse und Hilfsmittel, wie zum Beispiel Infrarotkameras, Verifikationsgeräte oder Laser.

Level 3: Detaillierte Kenntnisse der Sicherheitsmerkmale erforderlich. Sie sind nur mit spezieller Laborausstattung oder Sensoren wie einem Mikroskop, einem Spektrometer oder einem Röntgengerät zu erkennen und zu prüfen. (Quelle: EZB-Webseite)).

Die Euro-Banknoten sind weder die fälschungssichersten der Welt noch die drucktechnisch anspruchsvollsten; vermutlich nehmen die Schweizer Franken den Spitzenplatz ein, die noch einige Merkmale mehr als die Euro-Noten haben (s.u.). Wegen der Forderung der Euro-

Staaten die Banknoten in landeseigenen Druckereien herstellen zu können, mußte auf deren unterschiedliche Leistungsfähigkeit Rücksicht genommen werden: die extremen Anforderungen an die Präzision erreicht nicht jede Hochsicherheitsdruckerei (vgl. (1), S.248 ff.). Man einigte sich also auf den kleinsten gemeinsamen Nenner, was zu Lasten der in der Sicherheitsbranche üblichen strengen Standards ging (1 S. 219 ff.). In Deutschland werden die Banknoten von der Bundesdruckerei und von Giesecke+Devrient GmbH gedruckt.

2.1. Makroskopisch erkennbare Merkmale

2.1.1. Papier und Beschichtung

Das Papier ist ein reines Baumwollfaserpapier, langfaseriger und fester als normales Papier. Verwendet werden von der Textilindustrie aussortierte, kurze Fasern. Die genaue Zusammensetzung des Papiers wird als Sicherheitsmerkmal nicht veröffentlicht und es wird ausschließlich an Notenbankdruckereien verkauft. Durch Zusammensetzung und Verarbeitung erreicht man die typische Haptik von Banknotenpapier. Jeder kennt (und schätzt!) das Gefühl und den typischen Klang beim Reiben einer Banknote, und so wurde von unseren Kursteilnehmern denn auch eine neue britische 5-Pfundnote aus reinem Polymermaterial glattweg als „Nicht-Geld“ oder „Plastiktüte“ abgelehnt. Außerdem schrumpfen sie angeblich beim Bügeln (Quelle: Wikipedia, Stichwort „Banknote“).

Der Schweizer Banknotenpapierhersteller Landqart hat eine bessere Lösung entwickelt, das Durasafe-Substrat, bestehend aus drei Schichten: zwei äußere Papierlagen und eine innere Polymerschicht. Damit ist das Papier einerseits gut mit herkömmlichen Verfahren bedruckbar und hat das gewohnte Banknoten-„Feeling“, hat andererseits hohe Haltbarkeit (7).

Die Euro-Banknoten sind waschbar und fluoreszieren nicht, es sei denn, nach dem Waschen sind optische Aufheller aus dem Waschmittel aufgezogen, die blau fluoreszieren (Stilben-Derivate) [11].

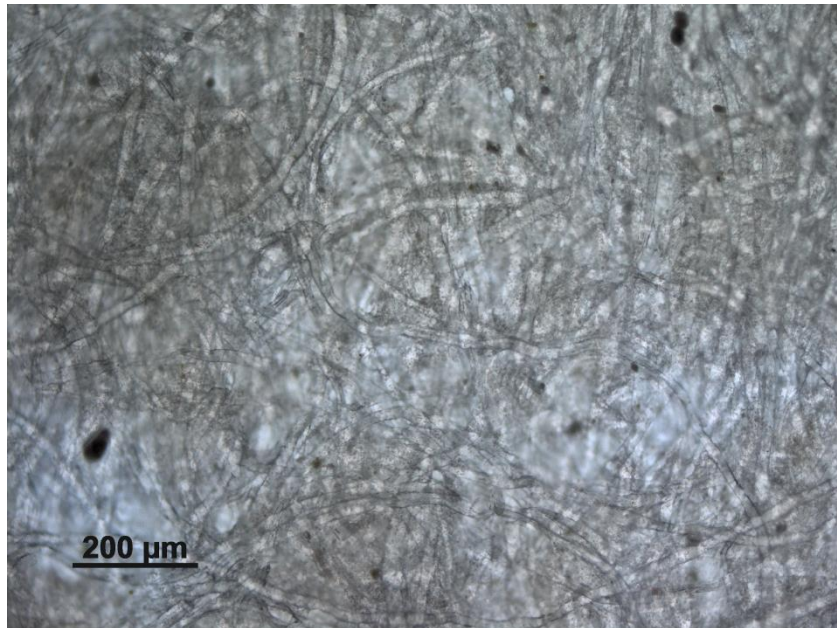


Abbildung 3: Banknote: Papieroberfläche mit Fasern

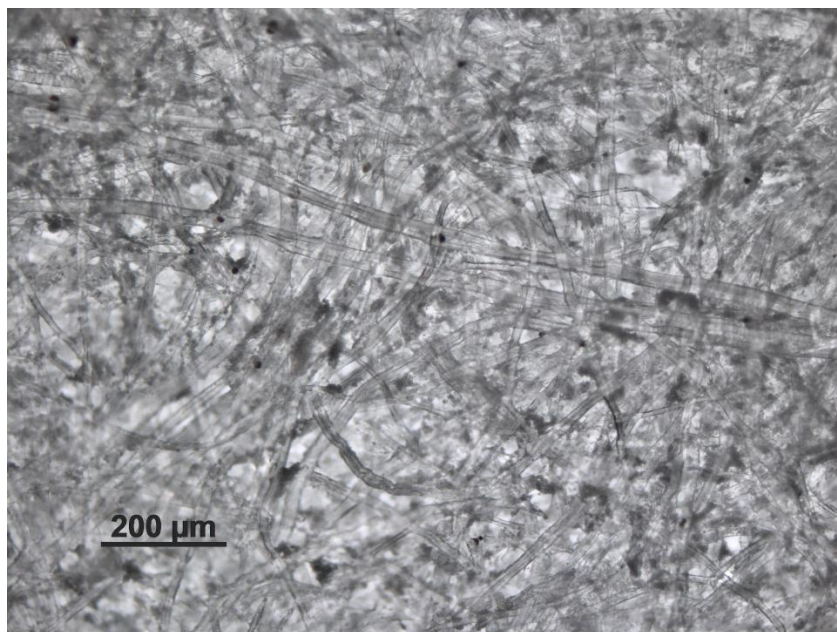


Abbildung 4: Druckerpapier zum Vergleich: inhomogenes Material mit vielen Fremdkörpern

Die Oberfläche der 5- und 10-Euro-Banknoten in der neuen Serie (seit 2013, in 2021 auch der 20er) ist lackiert, was im Auflicht-DIK sehr gut zu erkennen ist (Abb. 5). Die Lackierung erschwert jedoch aus optischen Gründen die Untersuchung bei hohen Vergrößerungen. Die dünne Lackschicht wird direkt auf das Substrat aufgetragen, Papierdicke und -struktur bleiben unverändert – der Schein behält seine haptischen Eigenschaften (8).



Abbildung 5: Papieroberfläche, Beschichtung (Auflicht-Hellfeld, DIK)

Banknotenpapier ist stärkefrei, anders als z.B. Druckerpapier. Mit speziellen Prüfstiften kann das schnell an der Kasse festgestellt werden (Iodid-Reaktion). Während sich Originale kaum bis gar nicht verfärben, werden Fälschungen sofort schwarz. Eine nicht sehr sichere Methode, aber billig und schnell, am besten mit Lugolscher Lösung selbst ausprobieren!

Weltweit existieren ungefähr 30 Betriebe, meistens Staatsunternehmen, welche Sicherheitspapier für Banknoten herstellen. Die Gesamtproduktion wird auf 140.000 Jahrestonnen geschätzt. Dies entspricht ungefähr der Menge, die eine Papiermaschine für Zeitungspapier innerhalb von vier bis fünf Monaten produziert (9). Solche Hochgeschwindigkeits-Papiermaschinen mit Ausstoßgeschwindigkeiten von 130 km/h (!) sind Langsiebmaschinen, also als solche für Banknotenpapier ungeeignet; dieses wird auf Rundsiebmaschinen produziert. Nur damit erreicht man die hohe Qualität und kann komplexe Wasserzeichen erzeugen. Der einzige deutsche Hersteller ist die Papierfabrik Louisenthal mit zwei Standorten am Tegernsee und in Königstein bei Dresden, eine Tochter der Sicherheitsdruckerei Giesecke + Devrient GmbH (8).

2.1.2. Größe

Die Größe steigt mit dem Wert. Sonst gäbe es die Möglichkeit, Banknoten mit niedrigem Wert zu entfärben, um das Original-Druckpapier mit Wasserzeichen zu erhalten, und dann höhere Werte aufzudrucken, gerne bei Dollarnoten gemacht.

Die Papiergröße ist ein wichtiges Merkmal, das von Banknotenprüfgeräten ausgewertet wird (10).

2.1.3. Durchsichtsregister

Durchsichtsregister bestehen aus sich ergänzenden Mustern auf Vorder- und Rückseite, die erst im Gegenlicht das Gesamtbild ergeben. Durchsichtsregister sind schwierig zu reproduzieren, da höchste Genauigkeit des Passers beim beidseitigen Druck nötig ist. Es bietet den Vorteil, dass schon kleine Ungenauigkeiten zu erkennen sind. Bei der neuen Serie wird dieses Merkmal nicht mehr eingesetzt.

Auf dem alten Fünfer oben links erkennt man die Wertzahl erst in der Durchsicht (Abb. 6).

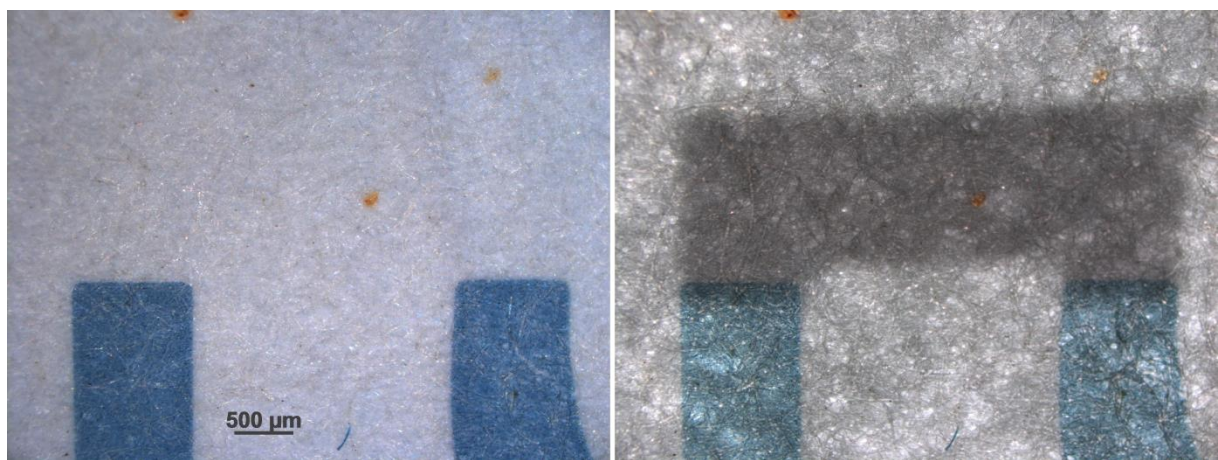


Abbildung 6: alter 5-Euro-Schein, links Wertzahl auf der Vorderseite im Auflicht, rechts Auf- und Durchlicht kombiniert.

2.1.4. Mikroperforation

Schweizer Banknoten enthalten eine Mikroperforation in Form eines Schweizerkreuzes, das in Reflexion nicht erkennbar ist, sehr gut aber in Transmission. Die Lochdurchmesser betragen $113 \pm 0,7 \mu\text{m}$. Solche Präzision hinsichtlich Durchmesser und Lage lässt sich nur mit Lasertechnik erzeugen: das Verfahren heißt Microperf®, nach einem Patent von von Orell-Füssli (CH), Hersteller: iai Industrials Systems, www.iai.nl. Eine solche Perforation lässt sich weder kopieren noch mechanisch nachahmen.

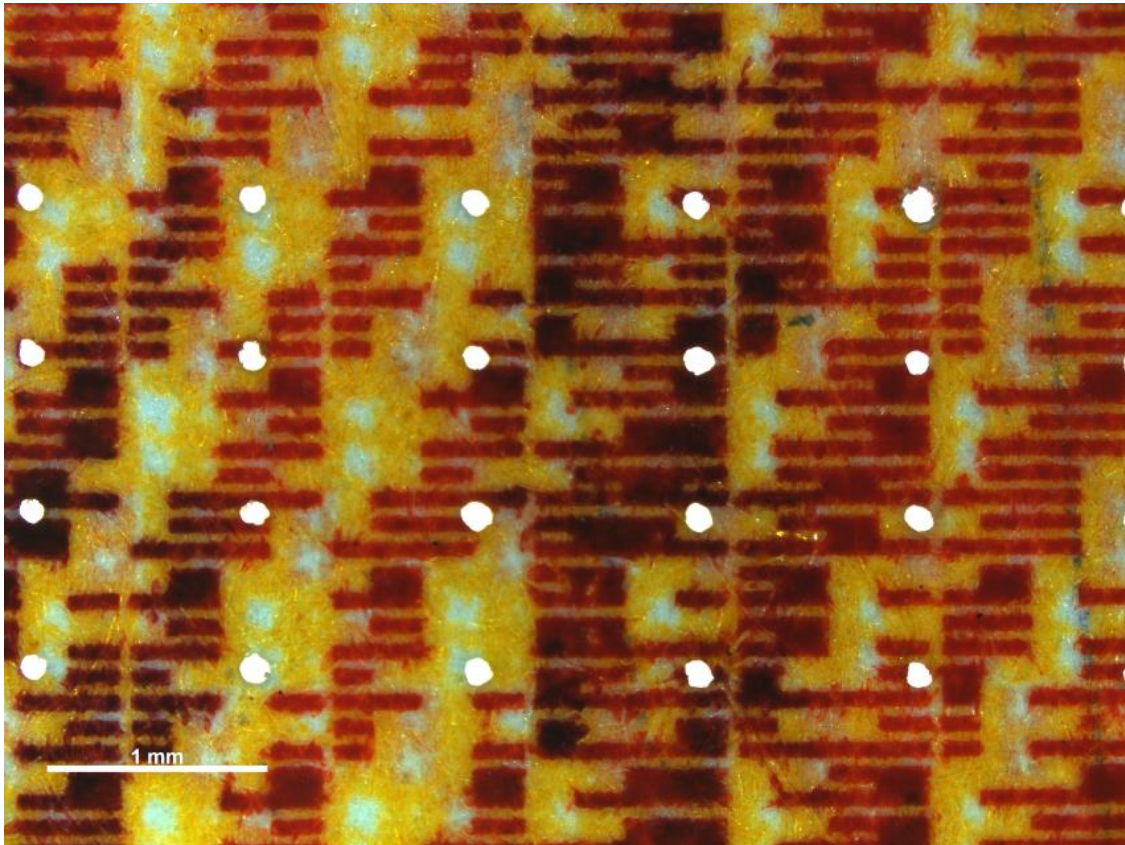


Abbildung 7: Mikroperforation auf einer neuen Schweizer Banknote im Durchlicht

2.1.5 Wasserzeichen

Das Wasserzeichen ist komplizierter als das auf Schreibpapier übliche, das nur ein gegenüber der Umgebung helleres Zeichen ist. Die Banknoten enthalten mehrstufig modulierte Wasserzeichen, das sind dreidimensionale Sicherheitselemente, die während der Blattbildung auf der Rundsieb-Papiermaschine entstehen. Dabei lagern sich die Papierfasern in unterschiedlicher Dichte ab und erzeugen verschiedene Dicken im Papier (Abb. 8 Mitte). Auf diese Weise entstehen stufenlos helligkeitsmodulierte Bilder wie z. B. Portraits. Da der hohe Kontrast zwischen den hellen und dunklen Flächen und den stufenlosen Übergängen nur mit der Rundsiebtechnologie erzeugt werden kann, werden diese Wasserzeichen als Rundsieb-Wasserzeichen bezeichnet (8). Das Wasserzeichen zeigt Europa, eine Gestalt der griechischen Mythologie; das Bild wurde einer 2000 Jahre alten griechischen Vase entlehnt, die heute im Pariser Louvre zu besichtigen ist.

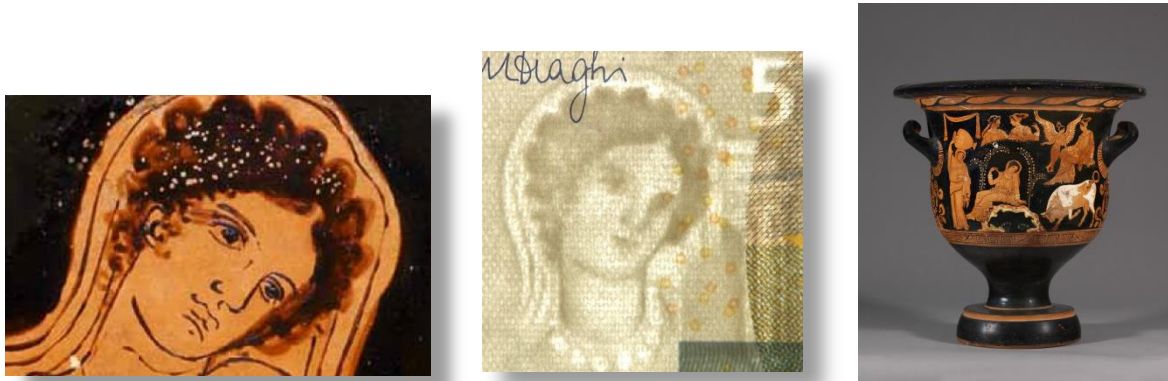


Abbildung 8: mitte: Wasserzeichen auf der 5-Euro-Banknote, links das Original, das von einer griechischen Vase im Pariser Louvre entnommen wurde (rechts) (Quelle: EZB).

2.1.6 Hologramme und Kinegramme

Kinegramme und Hologramme sind drucktechnisch hergestellte Muster, die als Metall-/Kunststofffolien durch Heißprägung eingearbeitet werden. Sie stellen ein blickwinkelabhängiges Erscheinungsbild dar, welches zwei- und dreidimensionale Abbildungen oder Bewegungsabläufe imitiert.

Kinegram[®] ist streng genommen ein Warenzeichen der Firma OVD Kinegram AG, eine Tochter der deutschen Firma Leonhard Kurz mit Sitz in Fürth, weltweit führend in der Heißprägetechnologie (ein Familienbetrieb mit 4500 Mitarbeitern, einer der technologisch weltweit führenden deutschen Mittelbetriebe – auch ein „hidden champion“). Die neue britische 5-Pfund-Note enthält z.B. ein Sicherheitselement von Kinegram: „KINEGRAM COLORS[®] foil stripe“ (11). Die neue Serie der Schweizer Franken enthält eine weitere Neuentwicklung der Firma Kurz, Kinegram Volume[®], derart mit Lasertechnik erzeugt, daß grüne und rote Farbeffekte neben Regenbogenfarben entstehen (9).

Ein „Kinegramm“ zeigt einen zweidimensionalen Bewegungsablauf, das „Hologramm“ einen echten 3-D-Effekt (11). Die Nomenklatur ist aber uneinheitlich; der zugrundeliegende physikalische Effekt ist bei beiden gleich.

Alle silbrig glänzenden Hologramme sind Prägehologramme. Das sind Transmissionshologramme, die auf der Rückseite eine metallische Schicht besitzen. Das Licht tritt von der Vorderseite ein, wird von der Rückseite reflektiert und an den Hologrammstrukturen gebeugt. Sie können 2D, 2,5D oder auch in 3D mit einer geringen optischen Tiefe sowie einem Bildumschlag ausgeführt werden. Das Material ist wahrscheinlich Aluminium, im Hochvakuum

auf Polyesterfolie aufgedampft. Die Folie wird mit Druck und Hitze auf der Oberfläche fixiert (Quelle: G&D, Glossar).

Prägehologramme werden in der Massengüterindustrie als Geschenklabers, Heftbeilagen, aber auch in der Verpackungsindustrie und als Sicherheitshologramme verwendet, da sie gemessen am Preis einen hohen Kopierschutz bieten (12).

An der neuen 20-Euro-Note wurde der in Abb. 9 rot umrandete Bereich bei hoher Vergrößerung untersucht. In diesem Bereich von etwa 3 x 8 mm findet man im Auflicht eine gitterartige Struktur (Abb. 9 rechts, in Abb. 10 weiter vergrößert).

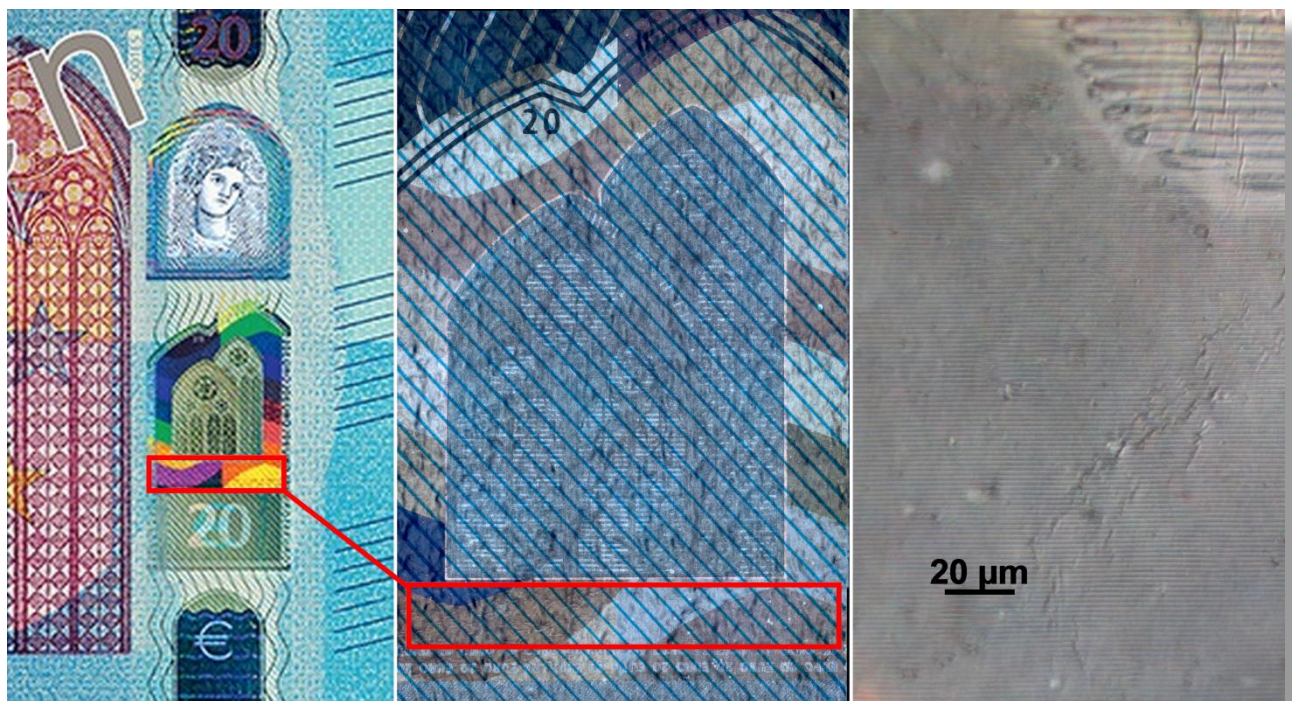


Abbildung 9: Detail des Hologramms auf der neuen 20-Euro-Note. Rechts: Gitterstruktur, erkennbar bei hoher Vergrößerung.

Die Gitterlinien verlaufen parallel zur langen Papierkante. Das Feld ist in der Mitte geteilt: die linke Hälfte grobes Muster mit $1,60 \mu\text{m}$ Gitterkonstante (625 Linien/mm), die rechte ist viel feiner mit $0,60 \mu\text{m}$ Gitterkonstante, entsprechend 1667 Linien/mm, damit in der Größenordnungen von Gittern, wie sie für Spektrometer verwendet werden (Abb. 10). Es lag also nahe, das auszunutzen und aus der Banknote ein Spektrometer zu bauen.

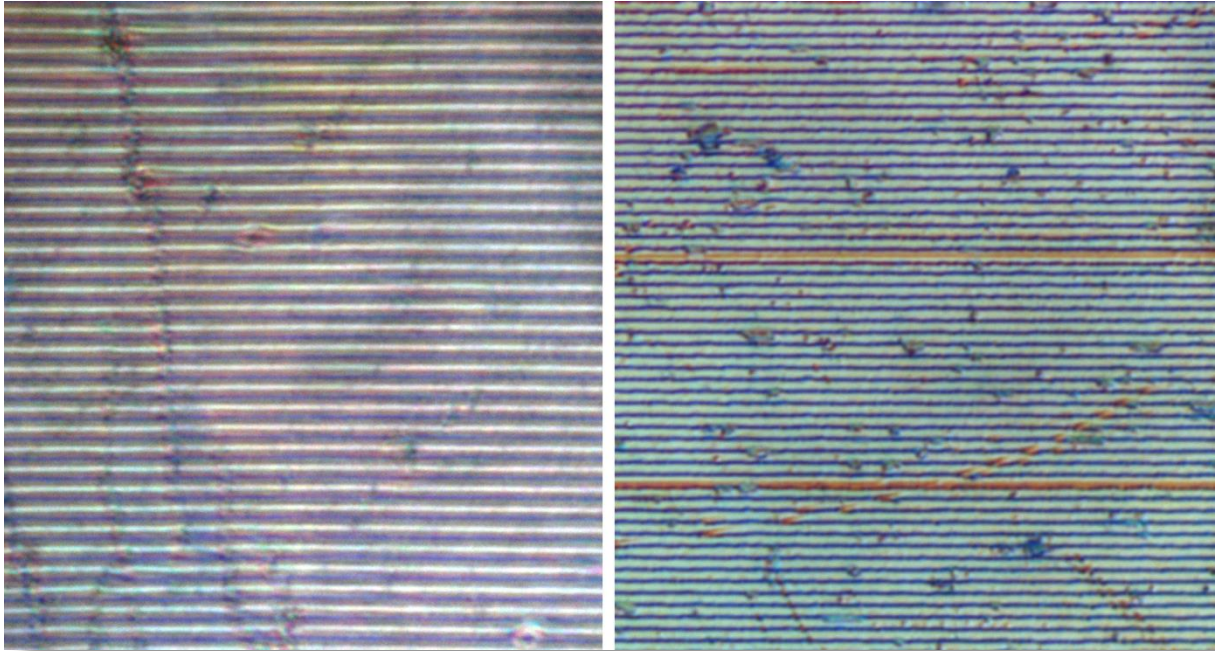


Abbildung 10: links Detail aus der Gitterstruktur im Hologramm-Feld, rechts als Vergleich ein optisches Gitter mit 1175 Linien/mm. Zeiss Epiplan-Neofluar 100x/0,090 mit Optovar 1,25x, Auflicht

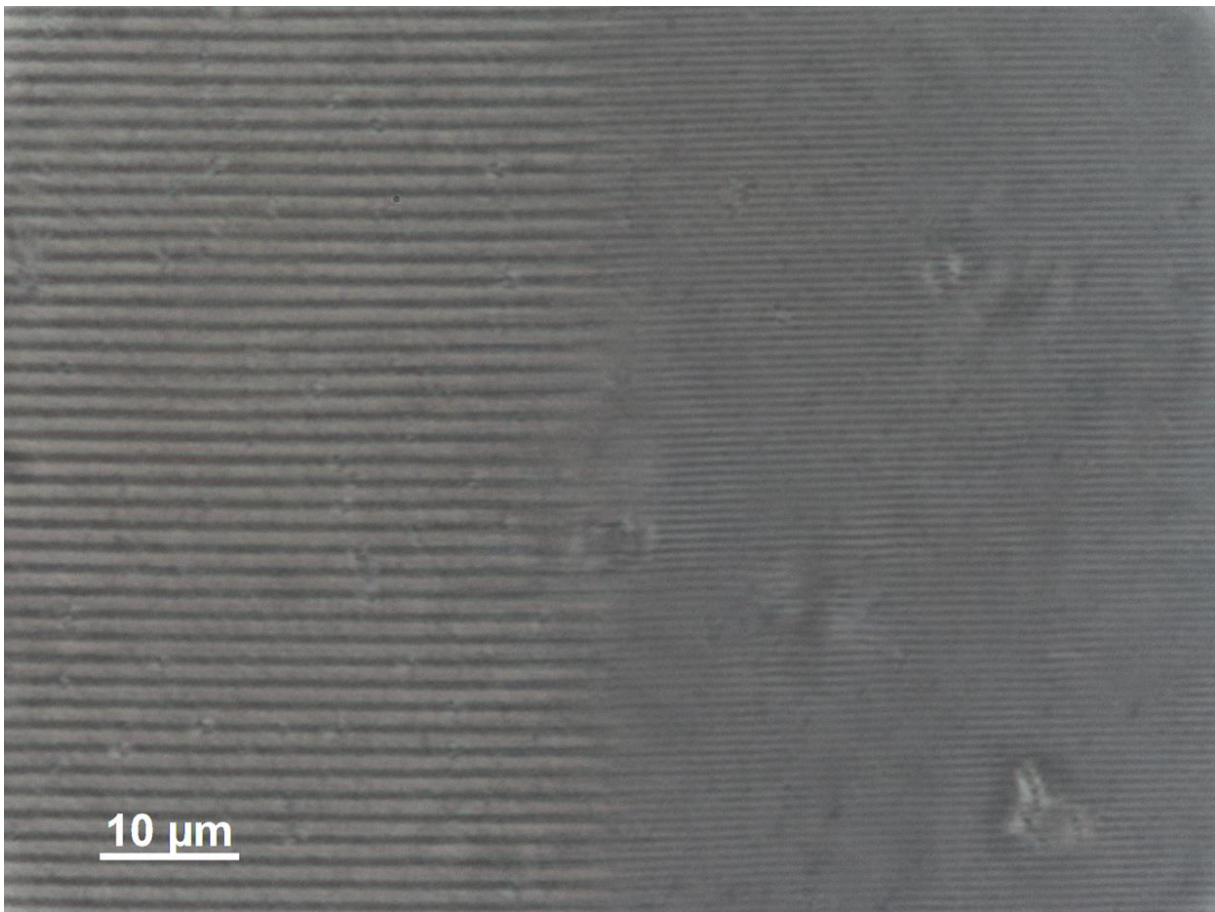


Abbildung 11: Mitte des rot markierten Feldes in Abb. 8. Links Gitterkonstante $1,60\ \mu\text{m}$, rechts $0,60\ \mu\text{m}$. Zeiss Epiplan-Neofluar 100x/0,90, Optovar 1,25x. Nachbearbeitung zur Kontraststeigerung mit ImageJ/CLAHE-Filter (Local Contrast Enhancement).

1.1.1.1. Exkurs: der 20-Euro-Schein als Spektrometer

Tatsächlich konnten mit dem Aufbau nach Abb. 12 Spektren erzeugt werden. La ist eine 6V - 12W-Lampe, Ko der Kollektor, der den Spalt Sp (0,2 mm) beleuchtet. Die Irisblende BI minimiert Streulicht. Die Linse L1 projiziert ein Spaltbild auf die Banknote Bn. Auf dem Schirm oben werden zwei Spektren sichtbar, zunächst irrtümlich als 1. und 2. Ordnung bezeichnet, tatsächlich sind es zwei Spektren jeweils vom feineren (2.O) und vom groben Gitter (1.O) erzeugt. Abb. 13 zeigt die erhaltenenen Spektren. Die Zuordnung zu den jeweiligen Gitterhälften kann man leicht durch Abdecken der entsprechenden Fläche nachweisen, das zugehörige Spektrum verschwindet dann.

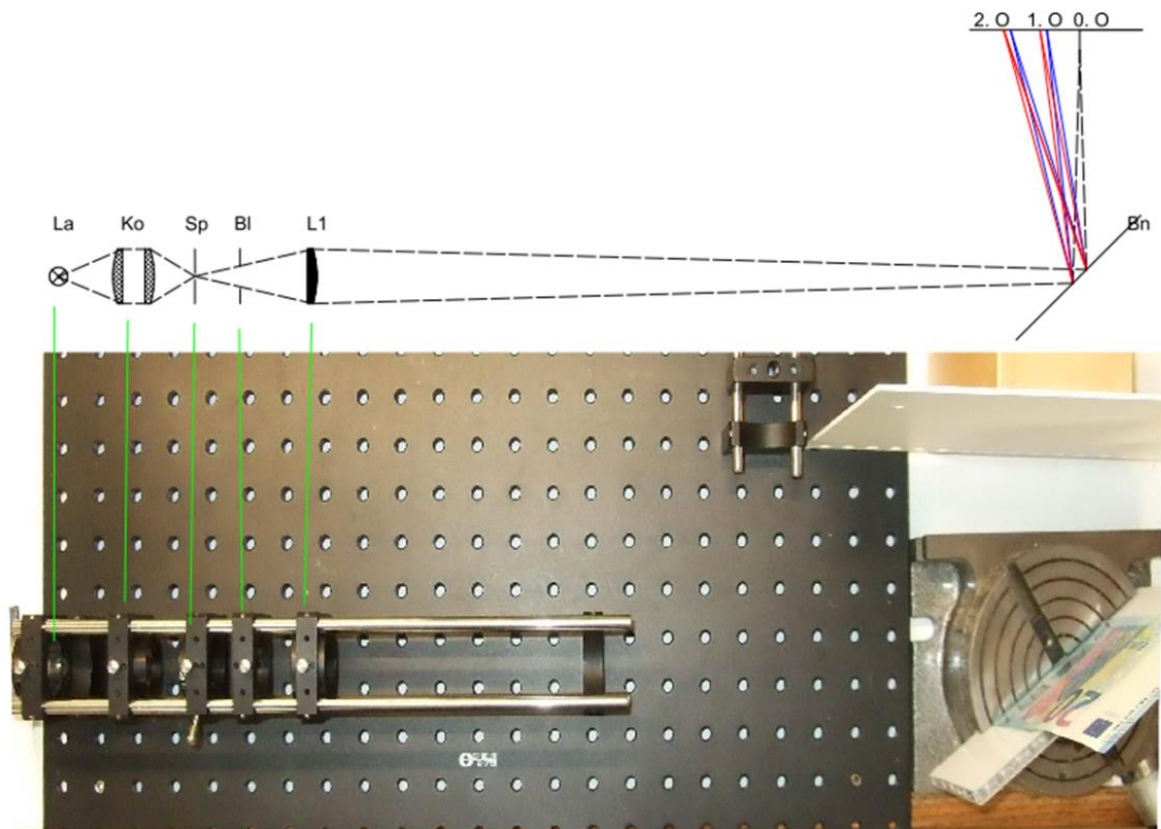


Abbildung 12: Spektrometer-Aufbau. Beschreibung im Text.

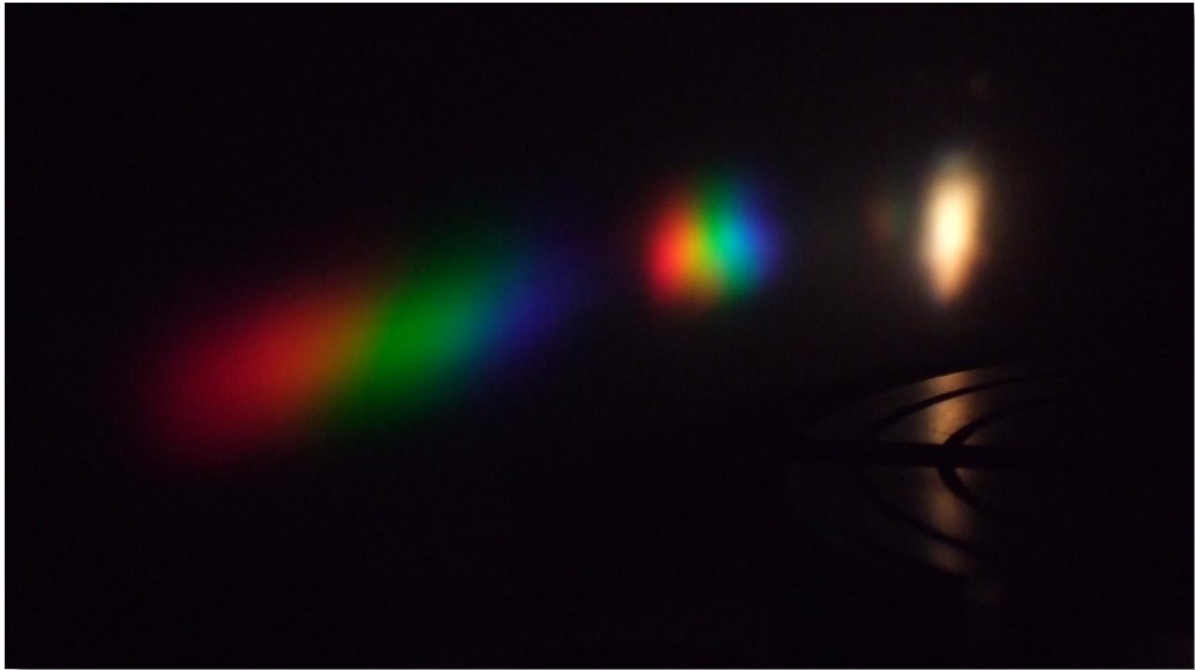


Abbildung 13: Die 20-Euro-Banknote als Spektrometer. Rechts die Nullte Ordnung, in der Mitte das Spektrum des groben Teilgitters, links das des feinen Gitters.

1.1.1.2. Exkurs: Die Kohärenzlänge, erklärt an der 20-Euro-Note

Beim Betrachten einer Banknote sollte auffallen, daß die Interferenzfarben der Hologramme sehr unterschiedlich ausgeprägt sind: das Licht des bedeckten Bonner Himmels erzeugt nur einen silberfarbenen Reflex; unter anderen Lichtverhältnissen entstehen dagegen prächtige Spektralfarben. Diese zunächst überraschende Erscheinung läßt sich durch die unterschiedliche „Kohärenzlänge“ des einfallenden Lichts erklären (13). Die **Kohärenzlänge** ist der maximale Weglängen- oder Laufzeitunterschied, den zwei Lichtstrahlen aus derselben Quelle haben dürfen, damit bei ihrer Überlagerung noch ein (räumlich und zeitlich) stabiles Interferenzmuster entsteht. Die Kohärenzlänge resultiert aus der zeitlichen Kohärenz und entspricht der optischen Weglänge, die das Licht während der Kohärenzzeit zurücklegt. Sie beträgt beim Bonner Himmelslicht nur $1 \cdot 10 \mu\text{m}$, zu wenig zur Interferenz. Im Versuch nach Abb. 11 wirkt der Spalt als Lichtquelle, über die Linse wird ein schmales Lichtbündel erzeugt, das die Kohärenzbedingung bei räumlich ausgedehnten Lichtquellen erfüllt:

Der Öffnungswinkel ϕ des verwendeten Lichtbündels (Durchmesser a) muß die folgende Bedingung erfüllen: $2a \cdot \sin \phi \ll \lambda$

Die besten Farbeffekte erhält man also bei weit entfernter Lichtquelle und engem Lichtbündel.

Diese Gitterstruktur ist allerdings nur im erwähnten Bereich der Banknote zu finden; auf den übrigen Hologrammen erkennt man erwartungsgemäß unregelmäßige Muster (Abb. 14).

Bisher nicht erklärt sind die unterschiedlich gefärbten Hälften auf der Hologrammfläche nach Abb. 8 rechts. Im polarisierten Licht sieht man eine optische Anisotropie, d.h. beim Drehen des Objekts relativ zur Polarisationssebene verändern sich die Farben (Abb. 15). Wahrscheinlich ist hier eine polarisierende Folie aufgebracht. Angaben in einem Patent der Firma Giesecke+Devrient deuten darauf hin (14). Den Effekt konnte ich aber nicht abschließend aufklären.

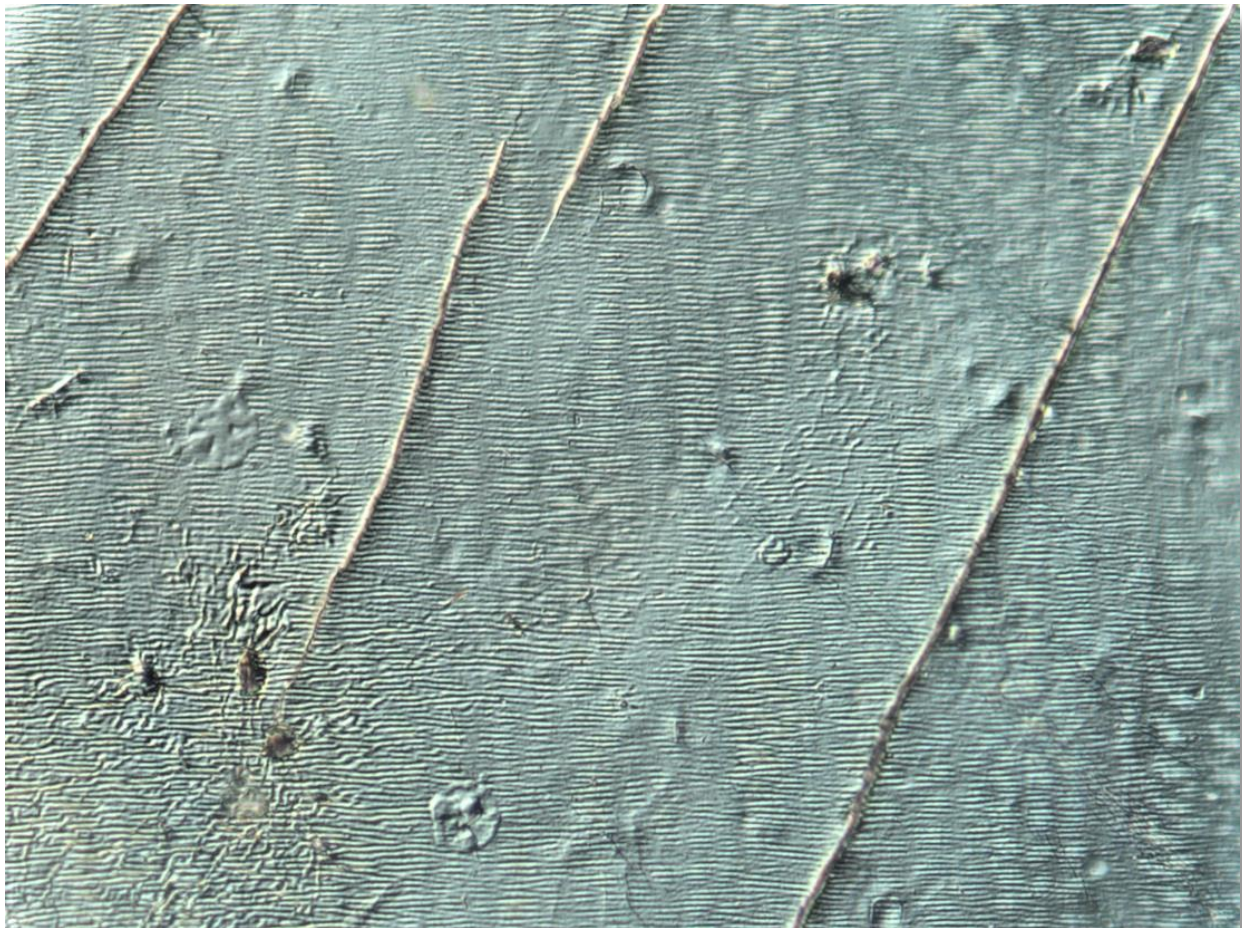


Abbildung 14: Hologramm auf der 5-Euro-Note (Zeiss Epiplan Neofluar 50x/0,80, Optovar 1,6x)

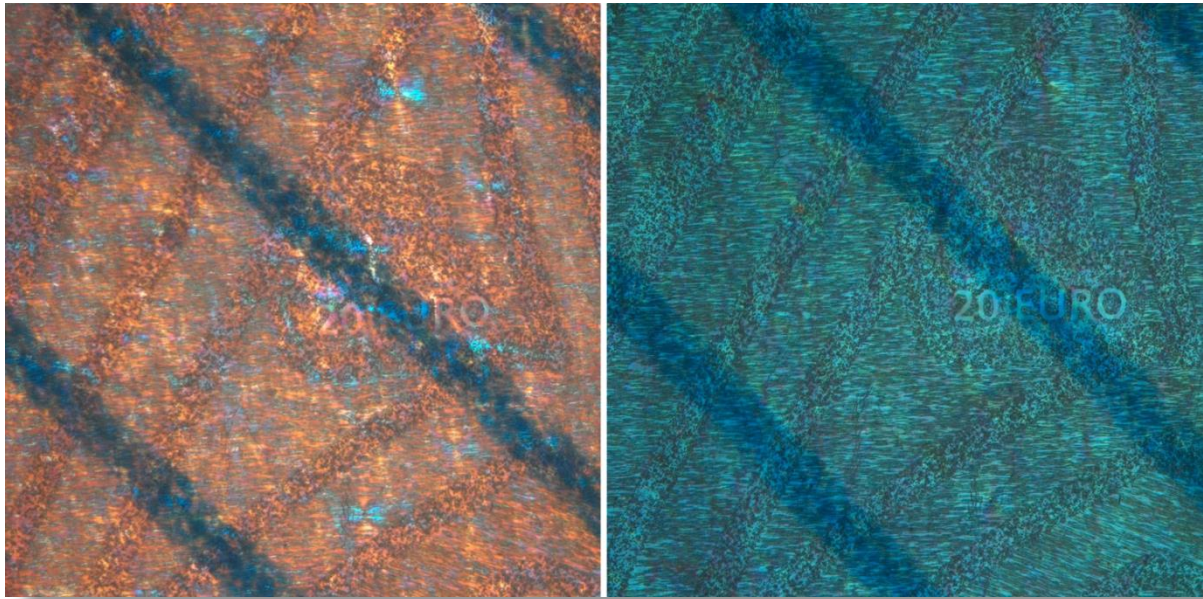


Abbildung 15: Farbig markierte Fläche aus Abb. 9. Auflicht Pol. Links und rechts jeweils gleicher Bildausschnitt, jedoch unterschiedlich zur Pol-Ebene orientiert.

2.1.7 Iriodinstreifen

Auf der Rückseite (das ist die Seite mit den Brücken-Motiven) z.B. einer 10- Euro-Banknote ist etwa 35 mm neben dem linken Rand ein 10 mm breiter „Iriodinstreifen“ aufgebracht. Der Streifen glänzt beim Kippen der Banknoten gegen eine Lichtquelle von hellgelb bis goldgelb und weist als Aussparungen das Euro-Symbol und die jeweilige Wertzahl auf. Der Streifen wird bereits in der Papierfabrik per Siebdruck aufgebracht.

Abb. 16 zeigt den Iriodinstreifen im Auflicht. Man erkennt flache Partikel, im Pol oder DIK bunt erscheinend.

Diese Partikel bestehen aus mit Titandioxid beschichteten Glimmerplättchen, die parallel zur Papieroberfläche übereinander geschichtet sind. Beschichtung und Lagerung bewirken infolge von Interferenzeffekten und Brechung einen perlmuttartigen, silbrigen Glanz. Derartige "Perlglanzpigmente" sind sehr weit verbreitet, sie werden von Merck unter der Bezeichnung "Iriodin" vertrieben und werden beispielsweise in Kosmetika (Abb. 17, ein "Eye Shadow" mit überraschend ähnlichen Partikeln), Automobillacken und Druckfarben eingesetzt.

Hierzu sei auf informative Veröffentlichungen insbesondere der Firma Merck verwiesen:

- Prof. Dr. G. Pfaff, Merck AG, „Effektpigmente“ Frankfurt 08.12.2012 (15)
- R. Maisch und F. Hofmeister, Microscopic Characterization of Automotive Finishes containing Pearl Lustre Pigments, Merck-Druckschrift o.J. (16)
- Papierfabrik Louisenthal (8), (17)

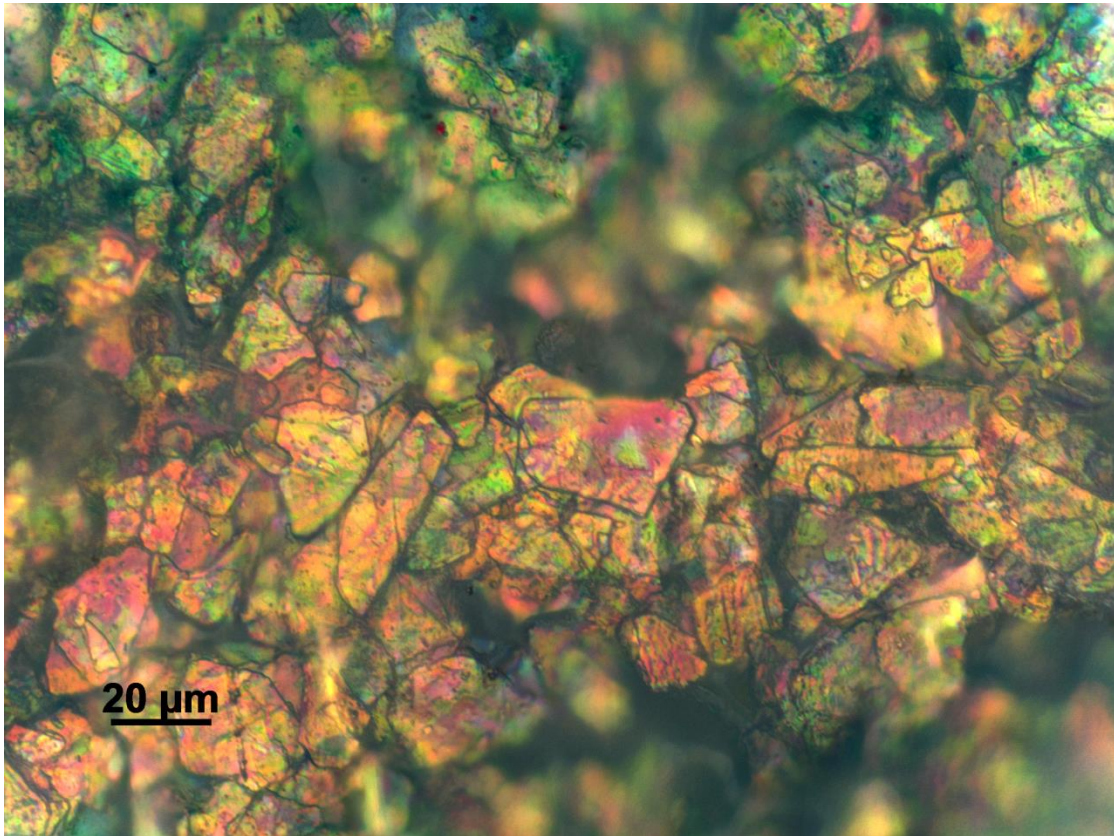


Abbildung 16: Iridinstreifen im Auflicht

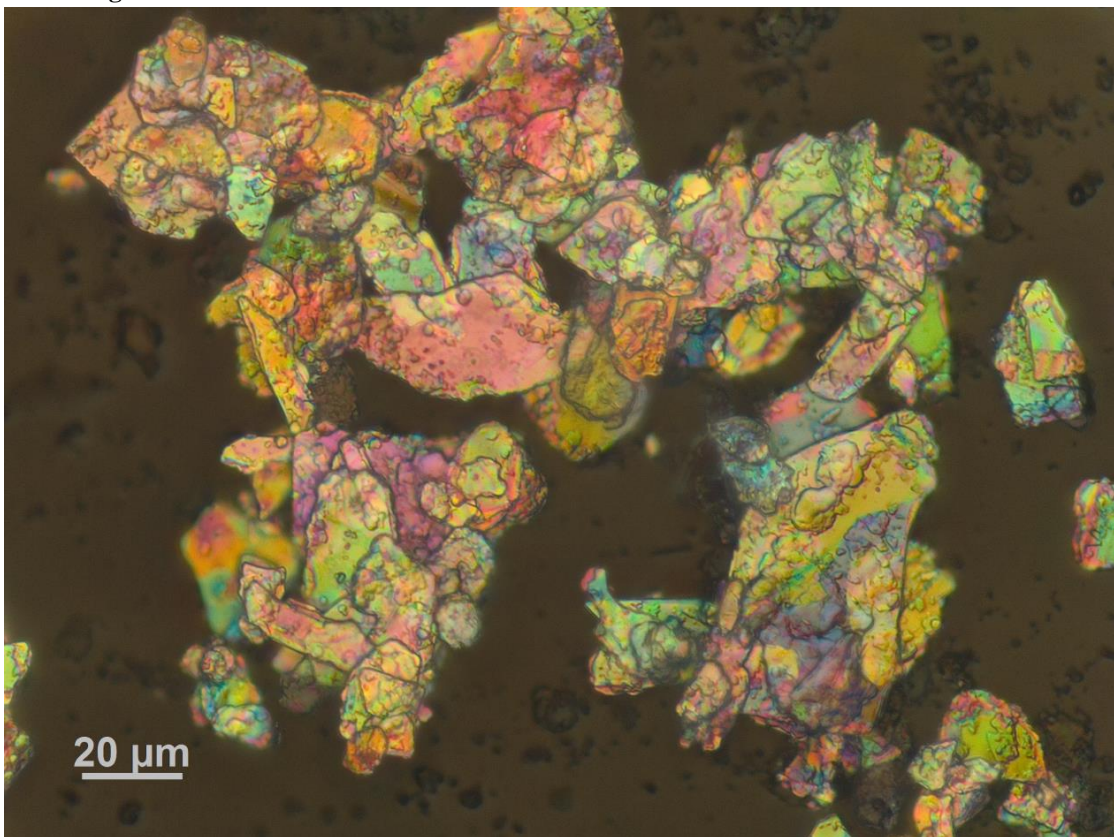


Abbildung 17: Lidschatten "Eye Shadow Colourize Powder Shadow "Lily of the Valley", The Boots Co., UK". Gleiche Vergrößerung und Auflichtbedingungen wie Abb. 16.

Im Durchlicht entdeckt man im Iridinstreifen bei genauem Hinsehen kleine Partikel mit abweichender Kristallform (Abb. 18). In der Auflichtfluoreszenz mit 365-nm-Anregung fluoreszieren diese Partikel rötlich-gelb (Abb. 19). Diese Partikel wurden erst mit der neuen Euro-Serie eingebracht, bei der alten fluoresziert nichts.

Das Emissionsspektrum zeigt bei Anregung mit 365 nm eine sehr breite Bande mit einem flachen Maximum zwischen 576 und 626 nm (Abb. 20). Die Zusammensetzung des Pigments konnte nicht geklärt werden. Es ist nicht identisch mit dem unten beschriebenen Rot-Pigment in den Omron-Ringen der ersten Euro-Serie (siehe Abschnitt 2.2.1). Im UV-A einer Banknotenprüflampe fluoresziert der Streifen schwach rot.

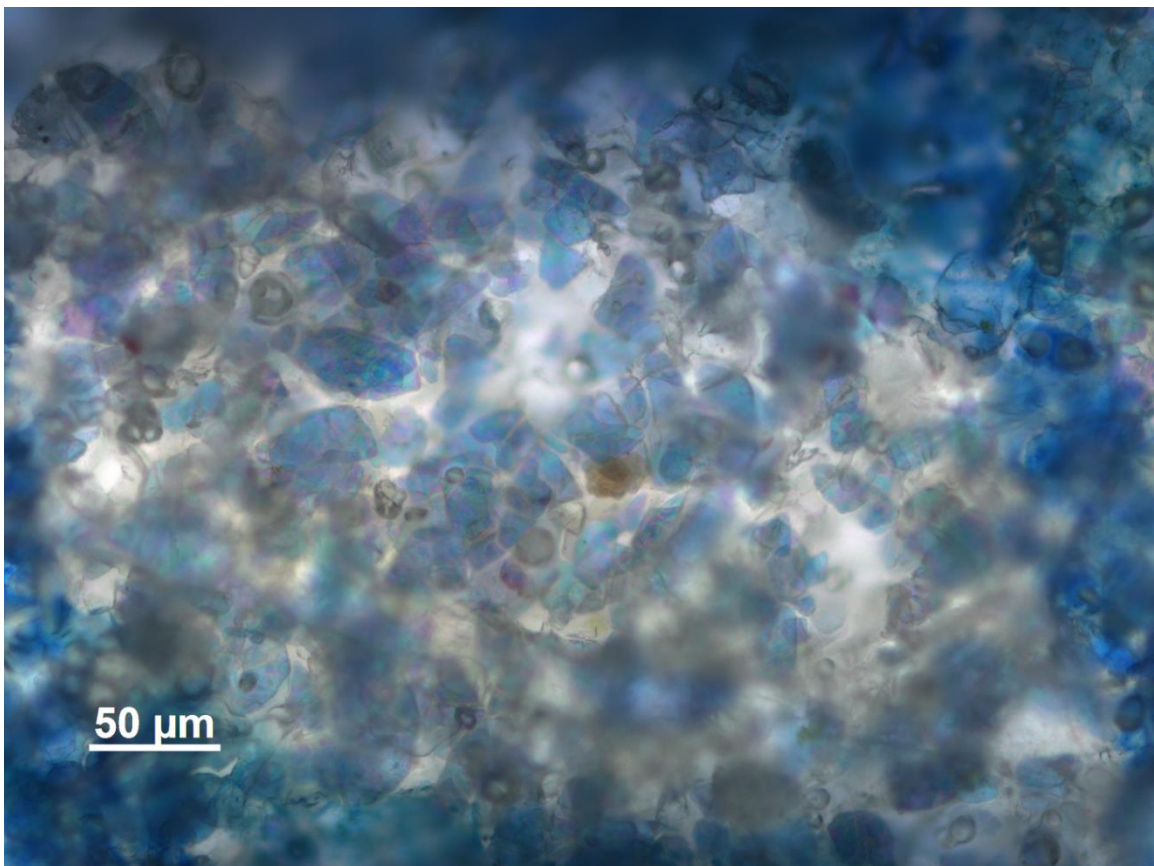


Abbildung 18: Iridinstreifen im Durchlicht, die Glimmerpartikel erscheinen hier bläulich. Eingelagert rundliche Körner.

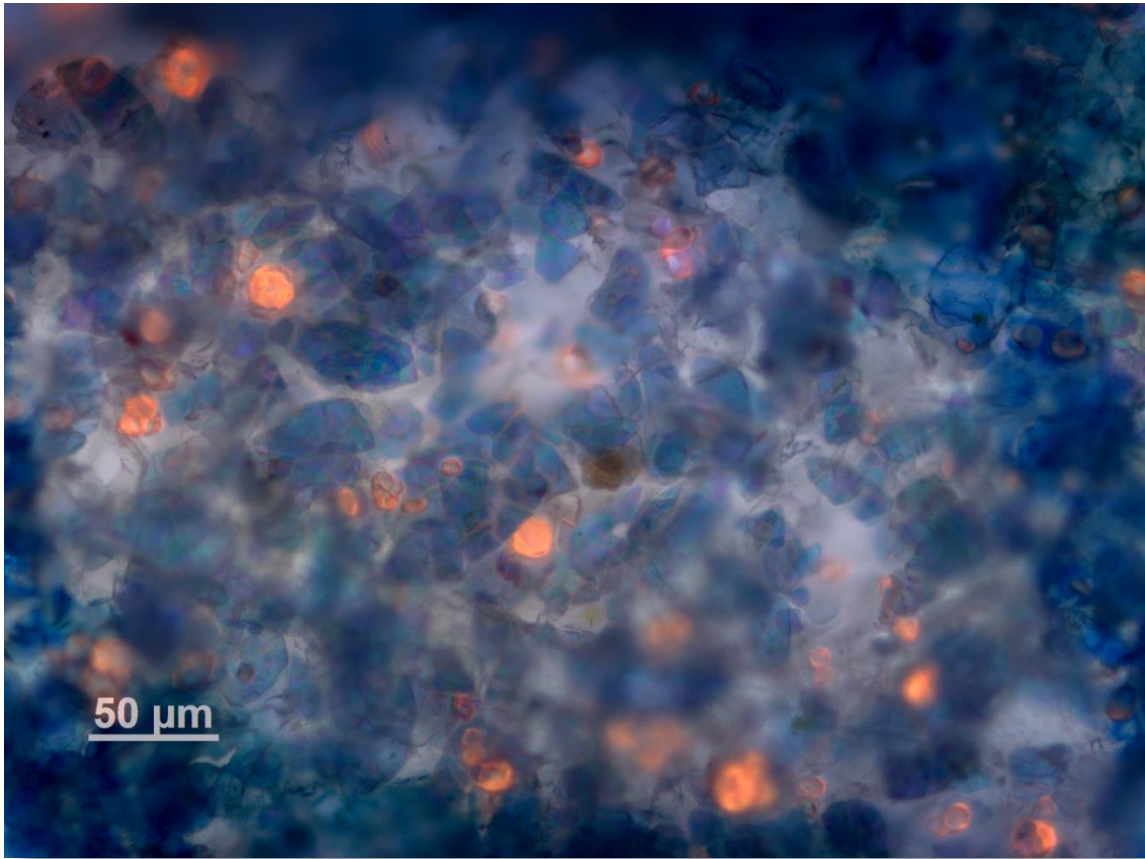


Abbildung 19: Überlagerung Durchlicht und 365-nm-Auflichtfluoreszenz.

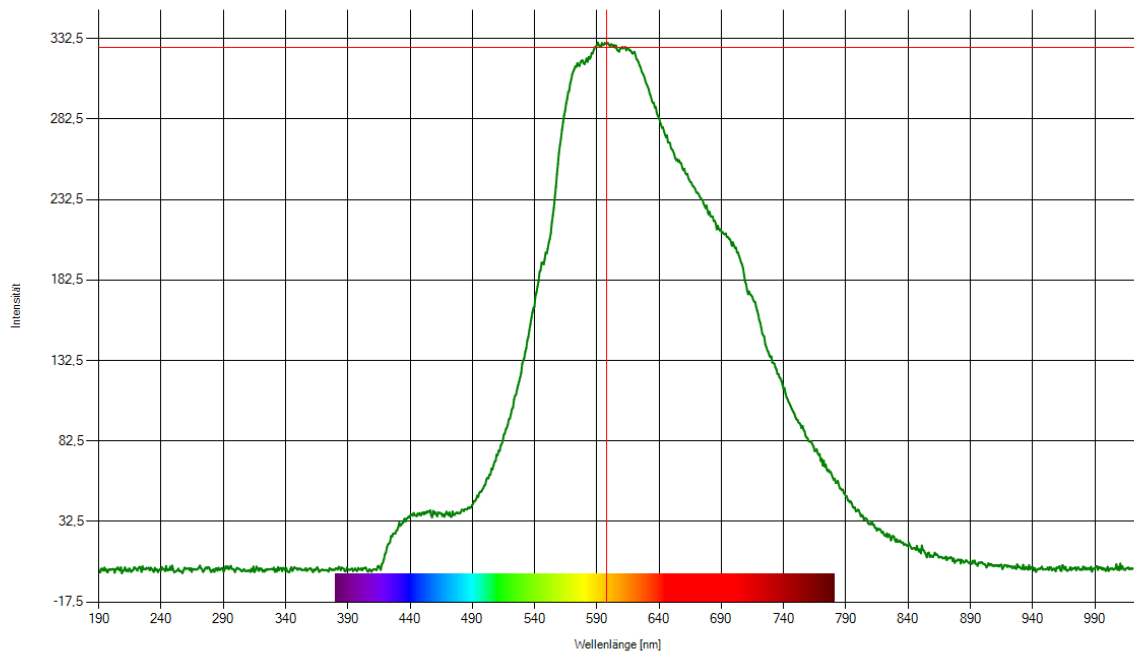


Abbildung 20: Emissionsspektrum bei 365-nm-Anregung, Zeiss Filtersatz 02

2.1.8 Optische Effekte: die Smaragdzahl

Wie funktioniert der Kippeffekt bei der Smaragdzahl?

Beim Kippen der Banknote wird ein dynamischer Bewegungseffekt erzeugt; dabei ändert sich sowohl die Farbe von tiefblau nach smaragdgrün als auch die Position des Streifens (Abb. 21). Der Effekt kann mit Kopiergeräten nicht reproduziert werden.

Die mikroskopische Analyse erklärt diesen Effekt. Im Auflicht zeigt sich, daß die „Druckfarbe“ aus Pigmentplättchen mit etwa 15 bis 20x20 µm Fläche und sehr geringer Dicke besteht, offensichtlich Dünnschichtelemente mit einer Interferenzschicht, die winkelabhängig reflektieren.

Fährt man bei 20- bis 50-facher Vergrößerung die in Abb. 21 gezeigte "1" in Längsrichtung ab, erkennt man, daß die Plättchen zur



Abbildung 21: Die Smaragdzahl“: Farbverlauf von grünlich in der Mitte nach blau

Papieroberfläche orientiert aufgebracht sind. Im hell reflektierenden Streifen liegen die Plättchen parallel zur Oberfläche (Abb. 22), in den dunkleren Bereichen stehen sie schräg bis senkrecht (Abb. 23). Bei stärkerer Vergrößerung erkennt man die schräge Orientierung und die Kanten der Plättchen. Weil die Plättchen nicht streng ausgerichtet und relativ groß sind, erzielt man einen Glitzereffekt, andernfalls würde eine einheitliche glänzende Fläche erscheinen.

Beim Kippen kommen also andere Orientierungen in Reflexionsstellung, damit erklärt sich der blickwinkel-abhängige Effekt hinsichtlich Farbe und Bewegung.

Nun weiß der Mikroskopiker, daß sich Plättchen immer in eine stabile Lage parallel zum Objektträger begeben – offensichtlich verhalten sie sich in der flüssigen „Druckfarbe“ anders. Die Lösung ist einfach: die Plättchen sind magnetisch. Das kann man ohne großen Aufwand prüfen, indem man ein winziges Partikel aus der Ziffer herauspräpariert. Das geht ohne sichtbare Beschädigung und ist für den geübten Mikroskopiker ein leichtes. Mit einem starken Magneten unter dem Objektträger kann das Teilchen leicht bewegt werden. Man kann sich dann gut vorstellen, daß beim Druck ein Magnetfeld angelegt wird, sich die Teilchen gezielt an den Feldlinien ausrichten und beim Aushärten fixiert werden (Abb. 24).

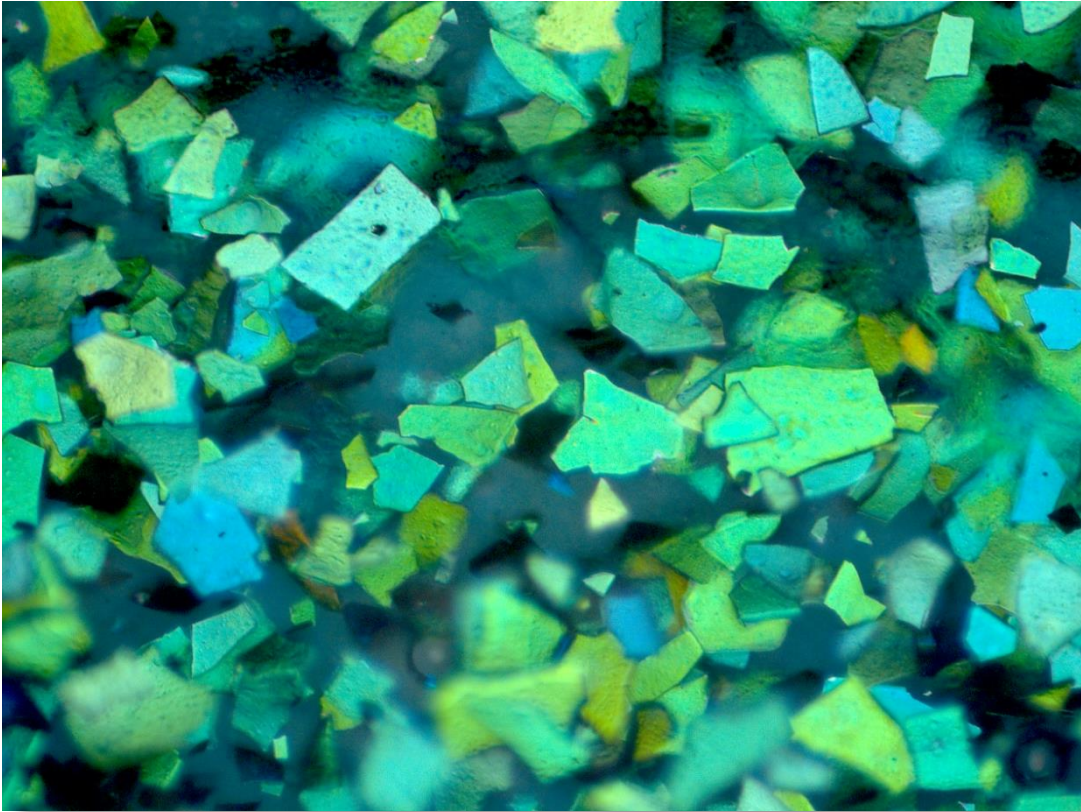


Abbildung 22: glänzender Streifen in der Mitte der Ziffer. Orientierung der Plättchen parallel zur Papieroberfläche.

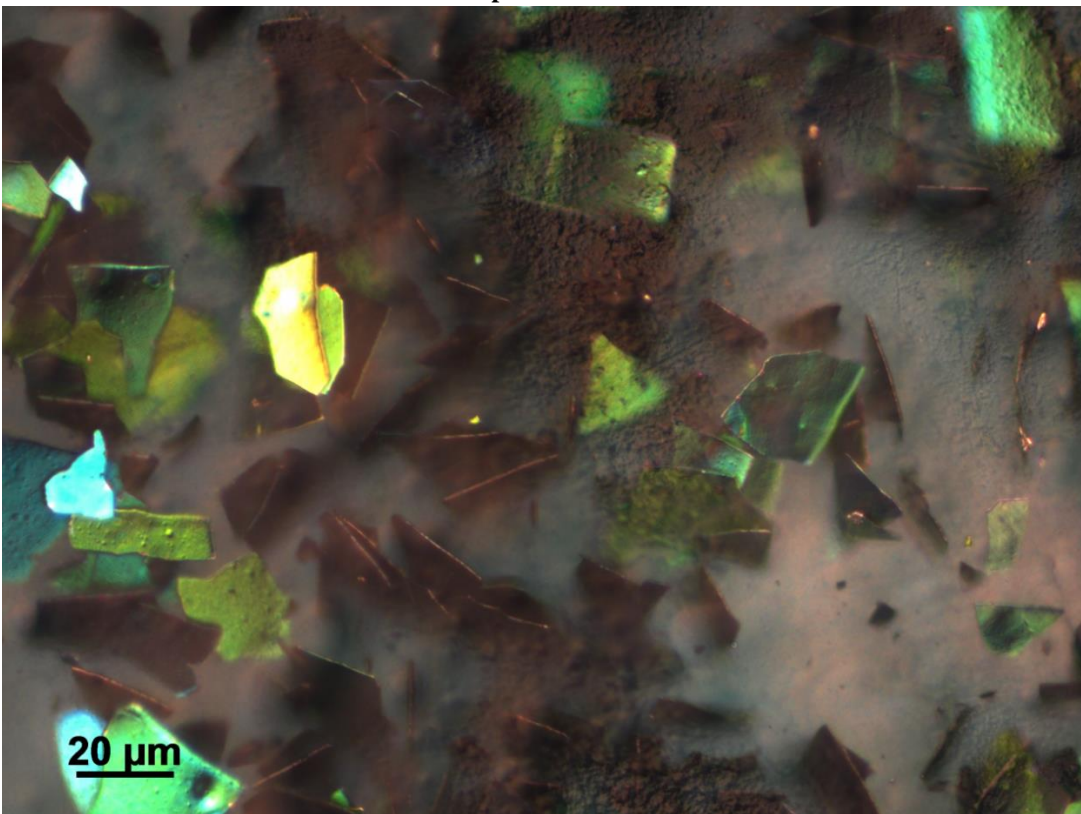


Abbildung 23: dunkler Bereich im oberen Viertel der Ziffer. Schräg bis senkrecht stehende Plättchen. Zeiss Epiplan-Neofluar 20x/0,50 Auflicht-Hellfeld, Abb. 22 und 23 unter jeweils gleichen Bedingungen.

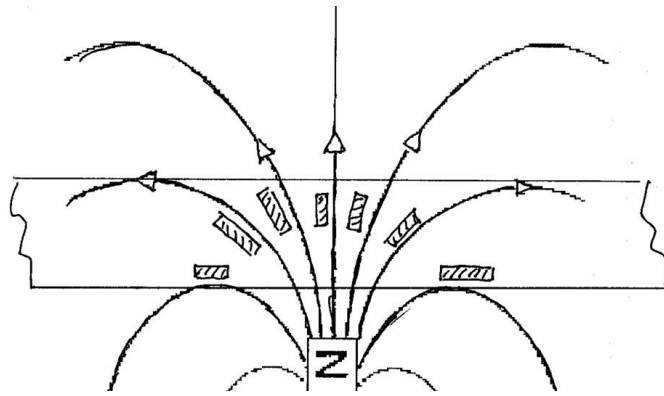


Abbildung 24: Ausrichtung magnetischer Partikel in der noch flüssigen Druckfarbe entlang der Feldlinien

Das ist ein häufig angewandtes Verfahren, z.B. beschrieben in Patenten der Firma Giesecke + Devrient (2011 und 2012). Die Patente sind öffentlich zugänglich, sie haben mir die oben angestellten Beobachtungen bestätigt. Auch die Magnetpigmente sind nichts wirklich Neues, sie wurden versuchsweise auch in der Autoindustrie eingesetzt (pers. Mitt. Klaus Herrmann). Bei den Banknoten werden die Kippelemente im Siebdruckverfahren aufgebracht. In den 2020 ausgegebenen 200- und 500-Euro-Banknoten wurde dieses Kippelement noch verfeinert, indem innerhalb der Ziffern noch kleine Euro-Symbole erzeugt wurden.

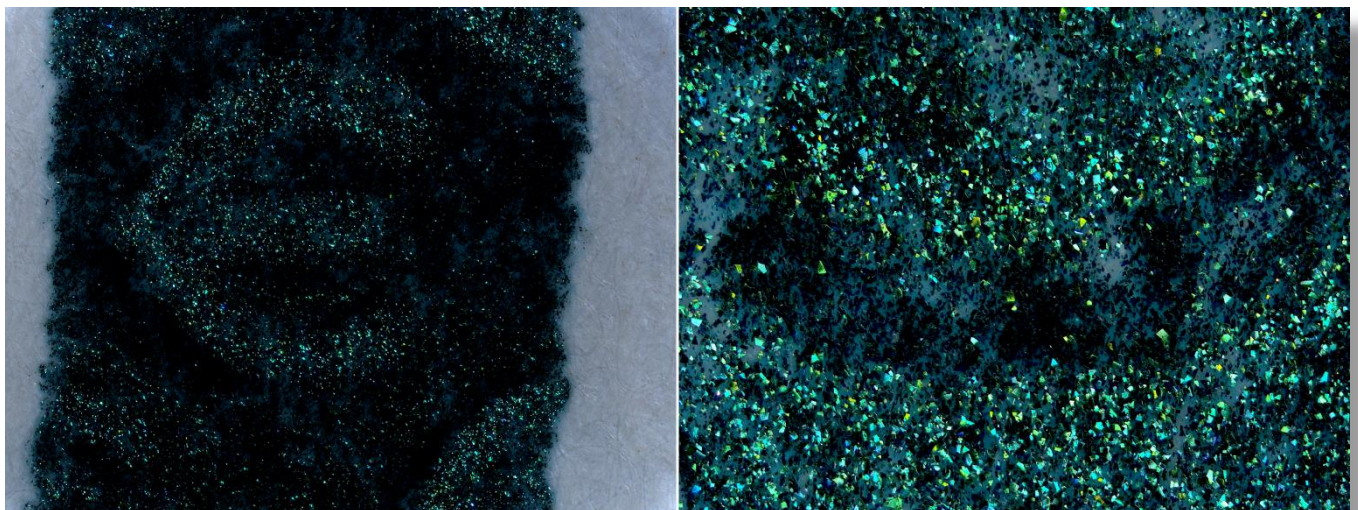


Abbildung 25: neue 200-EUR-Banknote, Kippzahl

2.2 Mikroskopisch und physikalisch erkennbare Merkmale

2.2.1 Eurion-Konstellation

Auf jeder Banknote - auch auf ausländischen - findet man viele scheinbar zufällig verteilte kleine Ringe, äußerst unauffällig in hellgelb (Abb. 25 links). Durch Extraktion des Blaukanals aus dem RGB-Bild wird der Kontrast kräftig erhöht (Abb. 25 rechts).

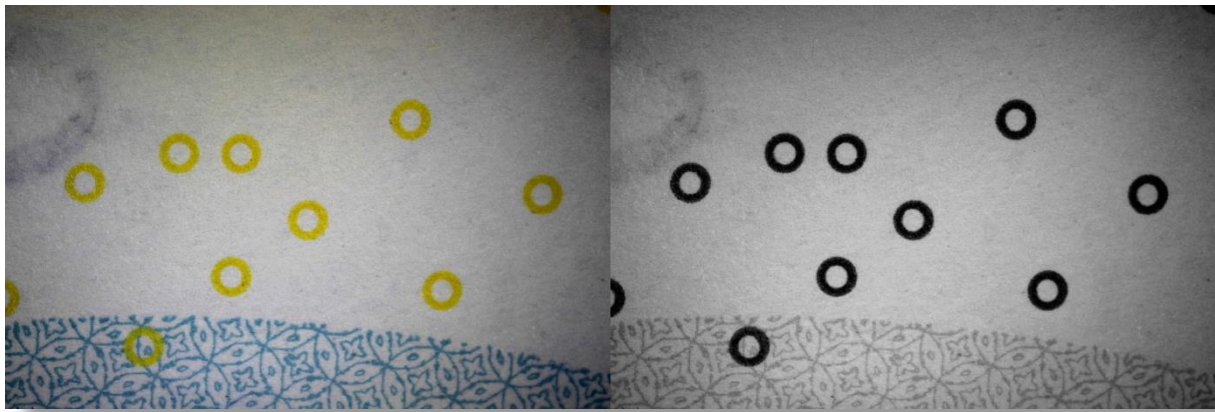


Abbildung 26: Gelbe-Ringe. Links RGB-Farbbild, rechts Blau-Auszug

Im UV-A fallen sie als gelbgrün leuchtende Kreise auf, in der alten Serie in rot. Nun ist bei Banknoten ist nichts wirklich zufällig: bei genauem Hinsehen erkennt man ein sich wiederholendes Muster aus fünf Ringen, die dem Sternbild des Orion entfernt ähneln und deshalb auch die Bezeichnung „EURion-Konfiguration“ (von EURO und Orion) erhalten haben. Hier mit Strichen hervorgehoben:

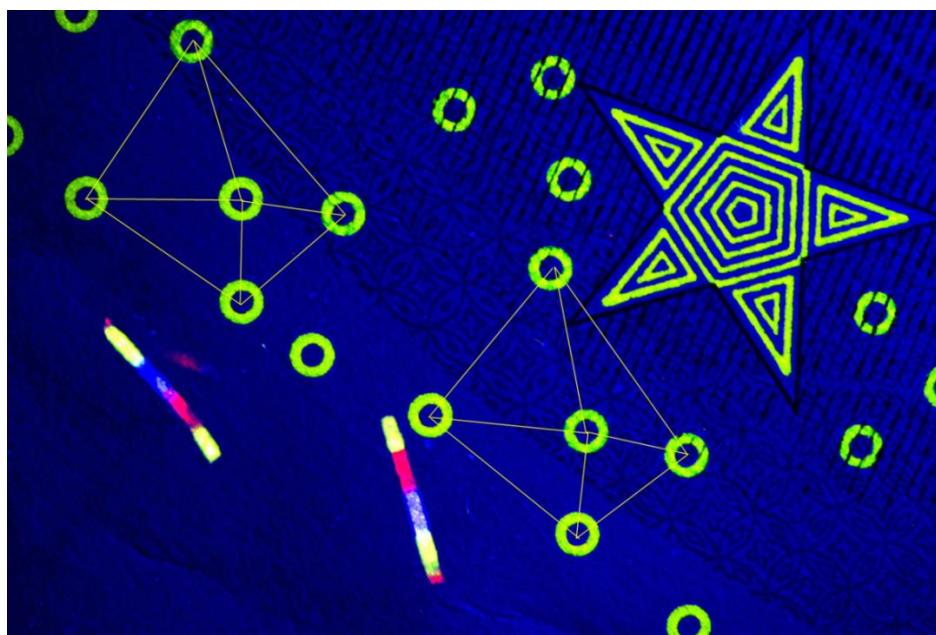


Abbildung 27: UV-A-Fluoreszenz. EURION-Konstellationen mit Verbindungslinien hervorgehoben.

Die Abstände der Ringe folgen einem bestimmten Algorithmus; sie sind deshalb auch bei Verdeckung durch andere Details leicht maschinenerkennbar, unabhängig von Lage, Größe und Tarnung z.B. als Musiknoten (z.B. Britische Pfund-Noten). Das System soll das Kopieren verhindern, indem in hochwertige Farbkopierer entsprechende Mustererkennungsalgorithmen

eingebaut werden, die beim Auffinden dieser Konstellation das Kopieren verhindern. Näheres siehe Wikipedia-Artikel „EURion-Konfiguration“ und (18).

In höherer Vergrößerung der Ringe werden die Pigmentkörner der Druckfarbe sichtbar. Abb. 28 zeigt einen Kringle aus dem 5-Euro-Schein der ersten Serie. UV-Anregung (365 nm) ergibt eine intensiv rote Fluoreszenz der Pigmentkörner (linkes Bild, die 229,7 Pixel des Maßstabsbalkens sind 100 μm), in der rechten Bildhälfte das Spektrum desselben Rings im Mikrospektalfotometer. Apparatives und Methodik der Mikrospektalfotometrie siehe MKB-Webseite (Themenseite, „Mikroskopische Technik“).

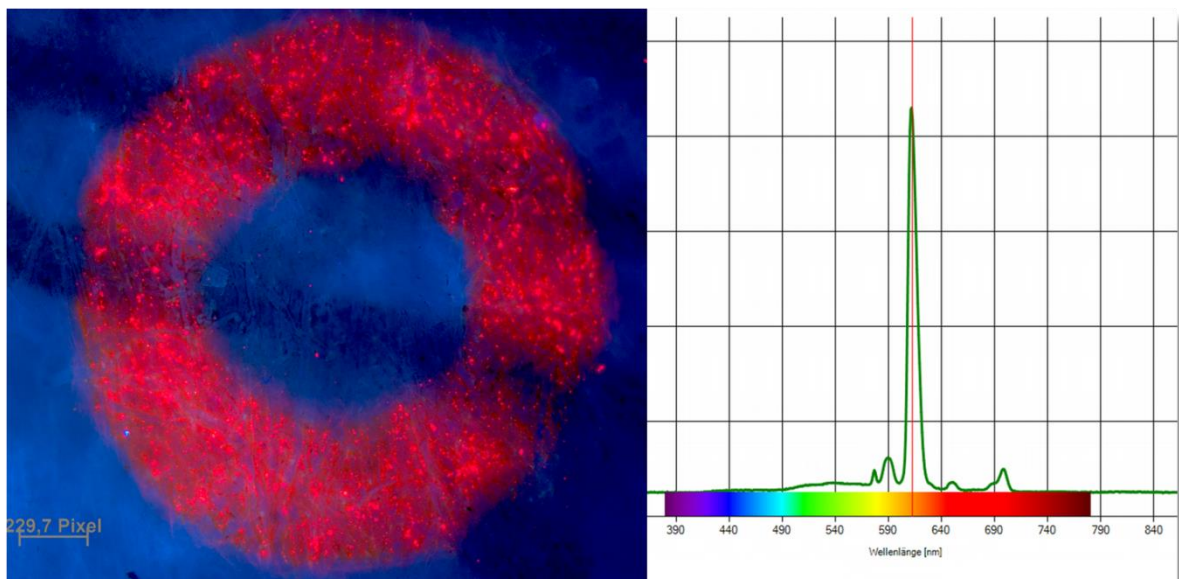


Abbildung 28: Rote Fluoreszenz bei UV-Anregung mit 365 nm, Emissionsmaximum 611 nm

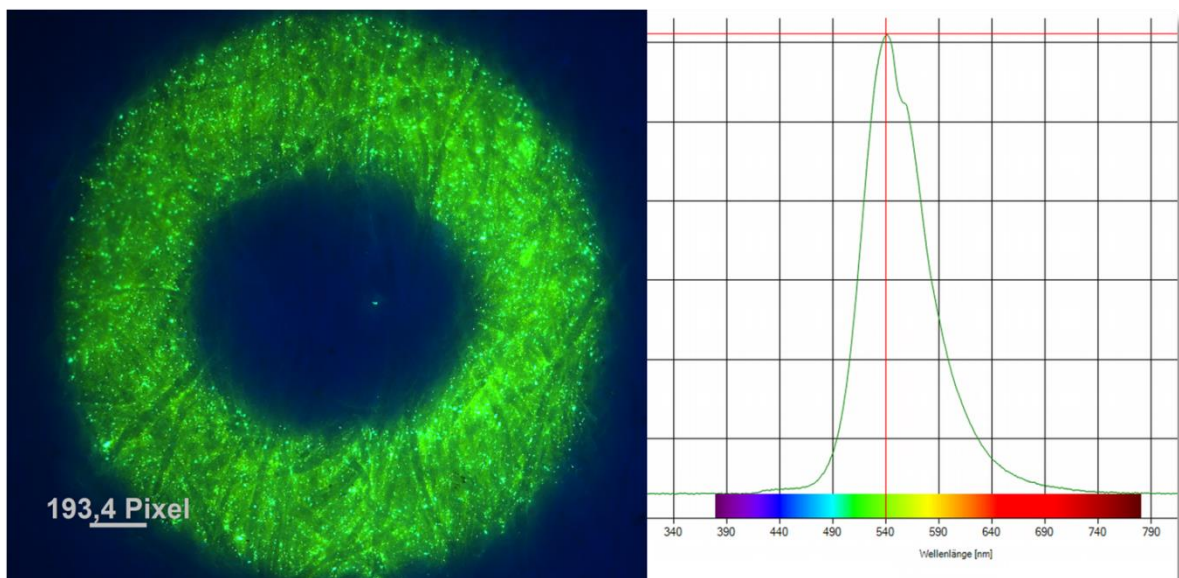


Abbildung 29: Grüne Fluoreszenz der OMRON-Ringe bei UV-Anregung. Emissionsmaximum 540 nm

Die scharfe Bande bei 611 nm ist charakteristisch für Europium, wahrscheinlich ein Eu^{3+} -Komplex (Cotton, S: Lanthanide and Actinide Chemistry, Wiley 2006, S. 77) (19). Der Autor bemerkt dazu treffend: „*It's quite appropriate that Euro notes contain europium, really.*“

Die neue Euro-Serie hat andere Pigmente, die im Tageslicht ebenfalls schwach gelb sind, im UV aber grün fluoreszieren (Ab. 28).

Die Zusammensetzung der Pigmente ist unbekannt; im Internet gibt es oft nur unbelegte Behauptungen, oder die zitierten Webseiten sind verschwunden. Der Wahrheit am nächsten kommen wahrscheinlich Experten der Universität Utrecht, die anhand von Anregungs- und Emissionsspektren, insbesondere aber durch Messung der Fluoreszenzlebensdauer, die Europium-Verbindungen Eu^{3+} - β -Diketon für die alte Serie und $\text{SrGa}_2\text{S}_4:\text{Eu}^{2+}$ für die neue, grüne Version vermuten (20). Im Internet kursiert Terbium als Grün-Pigment (21), allerdings ohne Belege. Das ist vermutlich falsch: Terbium fluoresziert zwar grünlich, zeigt aber drei bis vier schmale Banden bei 492 nm, 545 nm, 586 nm und 620 nm (22)

2.2.2 Melierfasern

Melierfasern sind kurze dünne Faserstücke, die im Tageslicht ungefärbt erscheinen und sich erst unter UV-Beleuchtung durch intensive Fluoreszenz zu erkennen geben. Sie werden bereits bei der Papierherstellung in den Faserbrei gegeben und sind deshalb unregelmäßig auf der Banknote verteilt. Bei der Prüfung mit UV-Licht an der Supermarktkasse sind sie sofort als Sicherheitsmerkmal erkennbar.

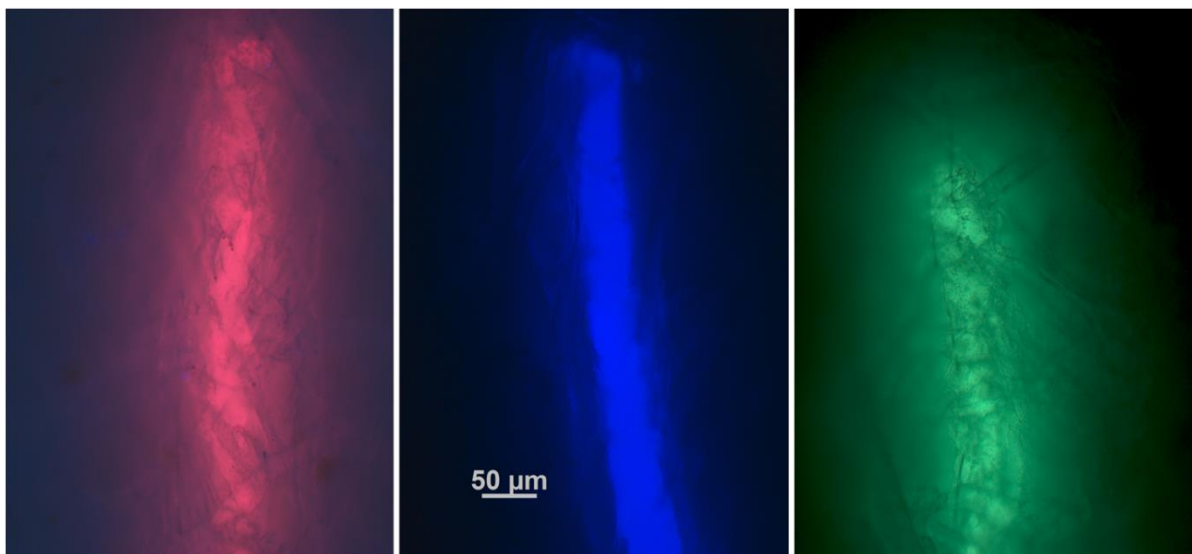


Abbildung 30: Melierfasern der ersten EURO-Serie im UV-A (365 nm)

In der alten Serie waren drei unterschiedlich eingefärbte Fasern eingearbeitet (Abb. 28), die neue enthält wesentlich raffiniertere Fasern: in Längsrichtung abschnittsweise rot, blau und

grün markiert. Die Herstellungsweise derart gefärbter Fasern konnte ich nicht ermitteln. Für die blaue Fluoreszenz käme $(\text{BaO})_x \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Eu}^{3+}$ infrage (20) (22).

Fluoreszierende Melierfasern sind schon seit etwa 1925 als Sicherheitsmerkmal in Gebrauch.

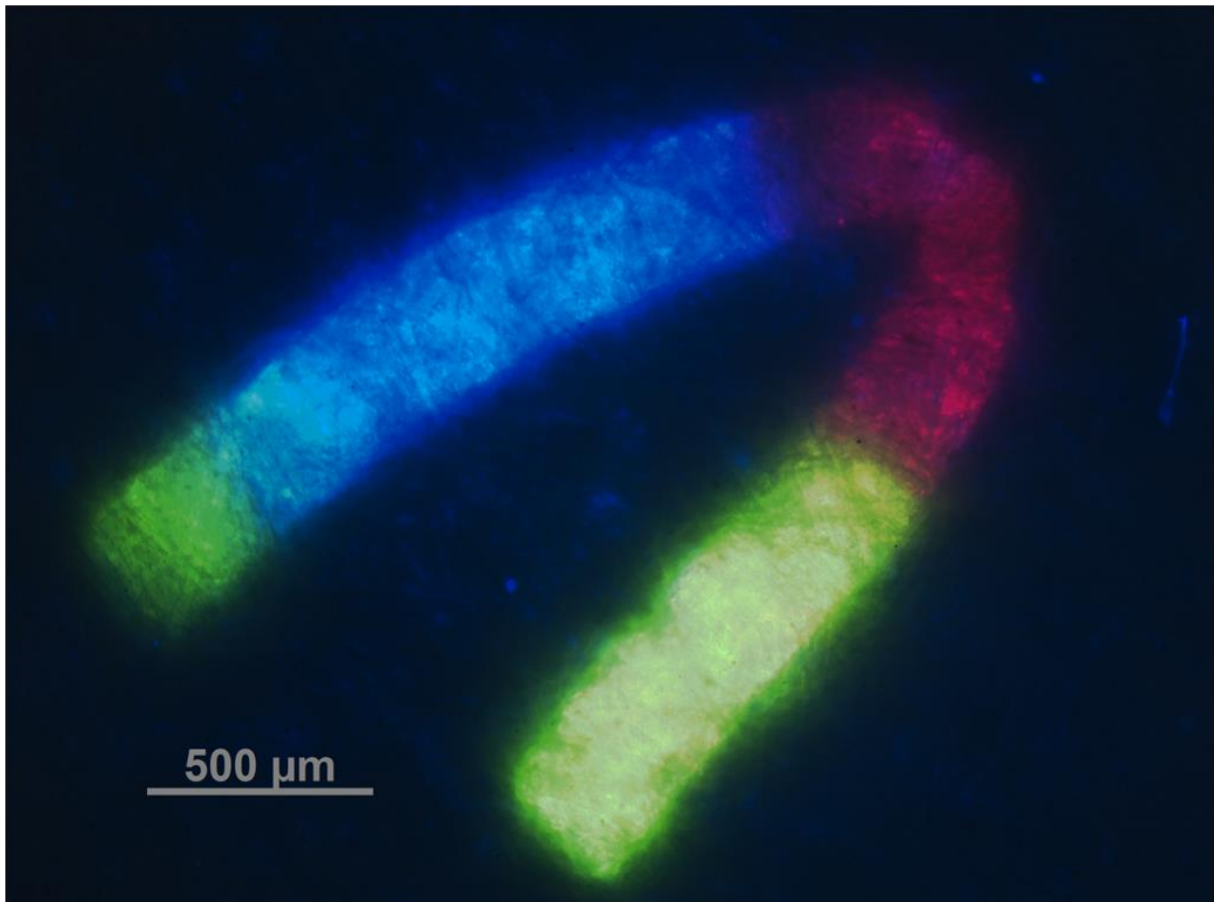


Abbildung 31: Melierfasern der zweiten EURO-Serie: abschnittsweise gefärbte Faserstücke.

2.2.3 Mikroschrift

Die Mikroschrift ist eine gedruckte oder geprägte Schrift in einer Größe mit der Schrifthöhe unter 0,3 Millimeter Höhe, die in der Regel nur mit einer Lupe wahrgenommen werden kann. Auch die Mikroschrift ist ein europäischer Kompromiß: auf Wunsch einiger Drucker mußte sie derart vergrößert werden, daß sie diese Bezeichnung kaum mehr verdient (1 S. 249)

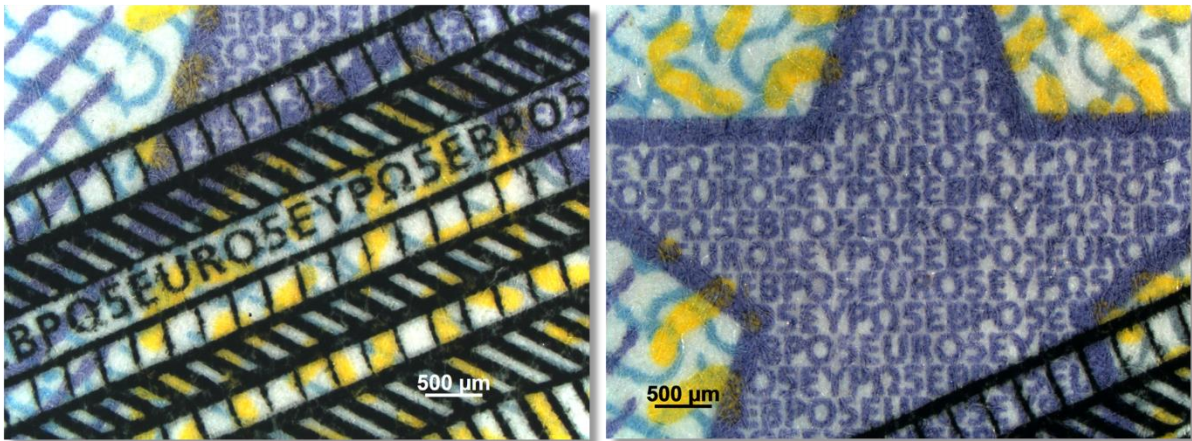


Abbildung 32: Mikroschrift. Links 0,3 mm, rechts 0,2 mm Höhe – nicht mehr mit bloßem Auge lesbar.

2.2.4 Infrarot

Teilbereiche der Banknote werden mit IR-absorbierenden Farben gedruckt. Dabei ist die Absorption wellenlängenabhängig: beim alten 50-Euro-Schein ist die Europaflagge bei 700 nm noch zu erkennen, verschwindet bei 1000 nm (23). Die Druckfarben absorbieren also unterschiedlich in verschiedenen Wellenlängenbereichen. Banknotenprüfgeräte arbeiten mit mehreren Filtern von 850 nm, 940 nm und 1000 nm. Schon mit einer einfachen Handy-Kamera läßt sich die Infrarot-Absorption nachweisen:



Abbildung 33: Bilder mit der Handykamera: links ohne, rechts mit Infrarotfilter

2.2.5 Magnetcodierung

Bestimmte Bereiche der Banknote sind magnetisch codiert: mit Magnetfarbe gedruckt ist der mittlere Teil des Tors aus der Vordereite der neuen 5-Euro-Note und die Seriennummer auf der Rückseite; der Sicherheitsfaden enthält einen maschinenlesbaren Magnetcode.

Wie weist man nun diese Magnetisierung nach?

Im Internet findet man folgenden Test:

Mit einem sehr starken Magneten (z.B. aus einem defekten Festplattenlaufwerk) reagieren auf der rechten Vorderseite vor allem die groß gedruckten Werte und Teile der darunter

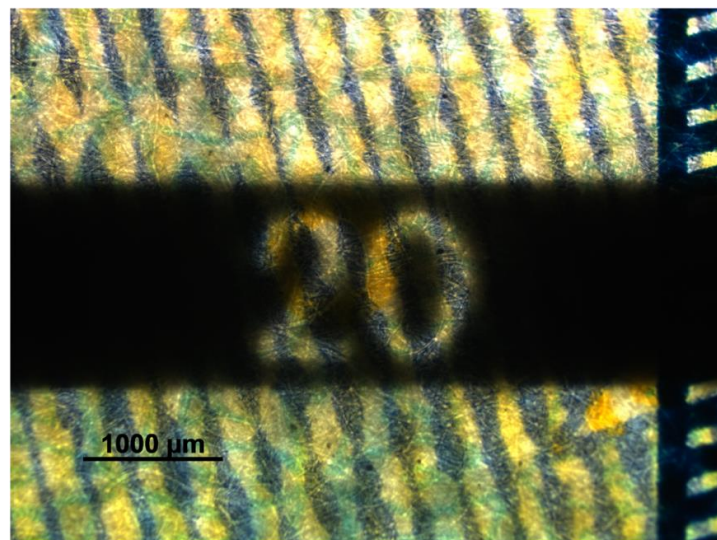
gedruckten Fenster. Das lässt sich am besten ausprobieren, wenn der Schein zur Hälfte über eine Tischkante gelegt wird (24).

Aus Abschnitt 2.1.7 wissen wir aber schon, daß die Smaragdzahl mit magnetischen Pigmenten gedruckt ist, also vom Magneten angezogen wird. Die anderen Bereiche lassen sich so nicht nachweisen. Ebenso ist der Nachweis mit feinstem Eisenpulver mißlungen, ein Versuch, der auf den Magnetstreifen z.B. einer Parkkarte ohne weiteres die Codierung erkennen läßt. Das verwundert nicht weiter, denn die Magnetcodierung besteht aus Partikeln unterschiedlicher Koerzivität, sie läßt sich also nur durch Magnetisierung/Entmagnetisierung nachweisen. An der mikroskopischen Darstellung mittels eines Sensors, der den magnetooptischen Faraday-Effekt (25), (26) nutzt, wird noch gearbeitet.

2.2.6 Sicherheitsfaden

Eine weitere Möglichkeit der Sicherung von Papieren ist die Integration von Sicherheitsfäden. Sie bestehen vorwiegend aus einer metallisierten Folie, welche partiell mit Buchstaben oder Zahlen bzw. Symbolen demetallisiert oder ausgestanzt wurden (Abb. 34). Die bedruckte Polyesterfolie wird auf Schmalschneidmaschinen in schmale Streifen von ca. 1 mm Breite geschnitten und auf Spulen aufgewickelt. Der gespulte Faden wird von mehreren Spulen bei der Herstellung des Banknotenpapiers in die zu formende Papiermasse abgewickelt und eingeführt und dabei vollständig oder auch teilweise vom Papier ummantelt (27), siehe auch die Filme von der Papierherstellung auf den Webseiten von Louisenthal und EZB.

Abbildung 34: Sicherheitsfaden der 20-Euro-Note im Durchlicht



2.2.7 Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit, die über die gesamte Länge eines Sicherheitsfadens wirksam ist, stellt ein einfaches maschinenlesbares Element dar, das sich in die meisten Fadentypen integrieren lässt (8). Messung mit dem Ohmmeter ist zwecklos: die Fäden werden mittels kapazitiver Sensoren detektiert. Hierbei wird die elektrische Leitfähigkeit für einen

bestimmten Abschnitt des Fadens gemessen. Dabei handelt es sich um die Feststellung der Präsenz. Gegenwärtig werden durch Fälscher auch diese Sicherheitsfäden nachgestellt (28).

2.2.8 Das M-Feature

Immer wieder erwähnt wird das legendäre M-Feature als verstecktes Sicherheitsmerkmal: M für maschinenlesbar. Ein besonders geheimnisvolles Merkmal: Louisenthal: „top secret“, Level III (also nur mit technischem Aufwand lesbar), von dem angeblich nur Eingeweihte der Bundesbank wissen. Nach Wikipedia ist das M-Feature „eine Beschichtung mit einem Oxidgemisch verschiedener Lanthanoide, das mit Hilfe starker Lichtblitze ausgelesen eine charakteristische Antwort liefert“ (ohne weitere Belege oder Quellenangabe!). Bender schreibt „Bei Beleuchtung mit Blitz emittieren sie Licht für Sekundenbruchteile. Ein unsichtbares farbloses Oxid, je nach Wert bereits ins Papier gemischt oder im Sicherheitsstreifen, getarnt durch weitere „Isotope“ (sic!) die in die Irre führen“ [1, S. 140] (die Stelle ist übrigens wörtlich abgeschrieben aus einem Patent von deLaRue, Stichwort „Enigma“).

Für den Fluoreszenz-Kenner ist klar: zugrunde liegt eine Fluoreszenz-Lebensdauerermessung.

3 Weitere Sicherheitselemente; Ausblick

In diesem Bericht sind nur einige wenige der tatsächlich vorhandenen Sicherheitselemente beschrieben worden, insbesondere die mikroskopisch zugänglichen. Man kann davon ausgehen, daß noch zahlreiche andere in die Banknoten integriert sind, die aber geheim gehalten werden. Meine Patentrecherche ergab, daß es kaum einen physikalischen Effekt gibt, der nicht irgendwie als Sicherheitselement verwendet werden könnte - bis hin zu Fluoreszenz-Pigmenten mit Emission im fernen Infrarot, oder Oberflächenplasmonenresonanz.

Deshalb zum Schluß ein nur scheinbar wirres Zitat des ehemaligen amerikanischen Verteidigungsministers Donald Rumsfeld:

„Es gibt Bekanntes Bekanntes; es gibt Dinge, von denen wir wissen, daß wir sie wissen. Wir wissen auch, daß es bekannte Unbekannte gibt. Das heißt, wir wissen, es gibt Dinge, die wir nicht wissen. Aber es gibt auch unbekanntes Unbekanntes – Dinge also, von denen wir nicht wissen, daß wir sie nicht wissen“.

4 Literatur und weitere, im Text nicht zitierte Quellen

Literaturverzeichnis

1. **Bender, Klaus W.** *Geldmacher. Das geheimste Gewerbe der Welt.* Weinheim : Wiley-VCH, 2004.
2. **Kremer, Bruno P.** Kleinigkeiten vom Kleingeld Teil 2: Euro-Banknoten. *Mikrokosmos.* 2014, S. 396-400.
3. **Hartmann, Stefan und Thiel, Christian.** *Der schöne Schein - Symbolik und Ästhetik von Banknoten.* Regenstauf : Gietl-Verlag, 2016. 1. Auflage.
4. **Zeitung, Süddeutsche.** <http://www.sueddeutsche.de/geld/banknote-wo-der-neue-euro-schein-entsteht-1.2738017>. [Online] [Zitat vom: 27. 07 2016.]
5. **EZB: Neue Eurobanknoten: Herstellung.** <http://www.neue-euro-banknoten.eu/Euro-Banknoten/HERSTELLUNG>. [Online] [Zitat vom: 30. 07 2016.]
6. **Ludwig Devrient, Franziska Jungmann-Stadler.** *Giesecke & Devrient. Banknotendruck 1955-2002. Banknote printing 1955-2002. Anhang: VEB Wertpapierdruckerei der DDR 1951-1990.* Köln : Böhlau, 2014. 978-3-412-22258-1 .
7. <https://platform.keesingtechnologies.com/the-new-swiss-banknotes/>. [Online] 2020. [Zitat vom: 03. 12 2020.]
8. **Louisenthal, Papierfabrik.** [Online] [Zitat vom: 14. 06 2016.] <https://www.louisenthal.com/language/de/home-de/>.
9. **Wikipedia.** Wikipedia, Stichwort Sicherheitspapier. [Online]
10. **SAFESCAN, Fa.** Safescan. [Online] 2016. www.safescan.de.
11. **Kinegram.** [Online] 2016. www.kinegram.com.
12. **Schneider, Ralph.** <https://de.scribd.com/doc/82811883/Holografische-Folientechnologien-documentation-design-thesis-german>. [Online] [Zitat vom: 20. 07 2016.]
13. **Kohärenzlänge, Stichwort.** www.chemgapedia.de. [Online]
14. **Hoffmüller, Winfried.** *Sicherheitsselement mit Polarisationsmerkmal.* WO2009095227 2009.
15. **Pfaff, Prof. Dr. G.** *Effektpigmente.* 2012. PDF.
16. **R. Maisch, F. Hofmeister.** *Microscopic Characterization of Automotive Finishes containing Pearl Lustre Pigments.* Darmstadt. : Merck-Druckschrift o.J. , Merck-Druckschrift o.J. .
17. **Louisenthal.** <https://www.louisenthal.com/language/de/home-de/produkte-und-losungen/sicherheitsselemente/druckelemente/irisierende-druckelemente/>. [Online]
18. **N.N.** Chaos Computer-Club. [Online] www.dasalte.ccc.de/colorcopy/index.html.de.
19. **Cotton, Simon.** Kap. 5.4.7 Euro Banknotes, S. 77. *Lanthanide and Actinide Chemistry.* s.l. : Wiley, 2006.
20. **Suyver, Frank und Meijerink, Andries.** Europium beveiligt de Euro. *Chemisch2Weekblad.* 16.02.2002, S. 12-13, S. 12-13.
21. **Terbium.** <http://www.chemicool.com/elements/terbium.html>. [Online] [Zitat vom: 17. 07 2016.]
22. Datenbank Fluorophores der TU Graz. [Online] [Zitat vom: 29. 10 2016.] <http://www.fluorophores.tugraz.at/substance/270>.
23. **Wikipedia, Stichwort "Sicherheitsmerkmale von Banknoten".** [Online]
24. **N.N.** <http://www.myeuro.info/note-tracking/seriennummer.php>. [Online] [Zitat vom: 01. 11 2016.] Unterkapitel "Von Magnetismus und Wasserzeichen". <http://www.myeuro.info/note-tracking/seriennummer.php>.
25. **McCord, Jeffrey.** Progress in magnetic domain observation by advanced magneto-optical microscopy. *Journal of Physics D, Applied Physics* 48 333001 (2015). pdf liegt vor.
26. **Kerreffekt, Magnetooptischer.** [Online] Matesy GmbH, 2016. [Zitat vom: 13. 06 2016.] http://www.matesy.de/index.php?option=com_content&view=article&id=56&Itemid=75&lang=de.
27. **Banknotenpapier, Stichwort.** [Online]
28. **Devrient, Giesecke &.** *Herstellung von Spezialpapieren zum Ursprungsnachweis mit elektrisch leitenden Merkmalsstoffen und Prüfung derselben.* DE 19826800 A1 1999.
29. **Geldscheine, Physik der.** [Online] 13. 06 2016. [Zitat vom: 13. 06 2016.] www.welt.de/wissenschaft/.
30. **Sicherheitspapiere, Multicommedia.** [Online] [Zitat vom: 13. 06 2016.] <http://www.security-paper.com/de/security-printing/kopierschutz-scanschutz/die-eurion-konstellation.html>.
31. **Security-Paper.** [Online] Security Paper.
32. **Wikipedia, Stichwort Eurion-Konstellation.** [Online]
33. **Papier, Giesecke & Devrient:.** [Online] [Zitat vom: 14. 06 2016.] https://www.gi-de.com/de/trends_and_insights/banknotendesign/substrat/substrate.jsp.
34. **(Druck), Wikipedia: Stichwort OVI.** Wikipedia. [Online] [Zitat vom: 15. 06 2016.] [https://de.wikipedia.org/wiki/OVI_\(Druck\)](https://de.wikipedia.org/wiki/OVI_(Druck)).
35. **Wikipedia, Stichwort Eurion-Konstellation.** [Online]
36. **(engl.), Wikipedia.** Wikipedia (engl.) Stichwort security printing. [Online] https://en.wikipedia.org/wiki/Security_printing#Security_threads.
37. **EU.** PRADO Glossary: Technical terms related to security. [Online]
38. **Devrient, Giesecke &.** *Sicherheitsselement mit ausgerichteten Magnetpartikeln.* WO2011/107271A1 02. 03 2011.

39. Giesecke & Devrient, Glossar. [Online] [Zitat vom: 14. 06 2016.] https://www.gi-de.com/de/products_and_solutions/products/security_features/Versteckte-Sicherheitsmerkmale-f%C3%BCr-Banknoten-3398.jsp.
40. <https://www.fleur-de-coin.com/eurocoins/banknote-production>. [Online] [Zitat vom: 18. 07 2016.]
41. http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/uebergangsmetalle_oxide/uebergangsmetalle_oxide.htm#3. [Online] [Zitat vom: 18. 07 2016.]
42. **Devrient, Giesecke &**. https://www.gi-de.com/gd_media/media/de/...1/notascan_mag.pdf. [Online] [Zitat vom: 29. 07 2016.]
43. <https://www.physik.uni-kl.de/uploads/media/MOKE.pdf>. [Online]
44. Webseite der EZB - Filmmaterial. [Online] [Zitat vom: 27. 09 2016.] <http://www.neue-euro-banknoten.eu/Aktuelles-Veranstaltungen/Filmmaterial-f%C3%BCr-TV-Sender>.
45. **EZB**. EZB-Webseite. [Online] 13. 06 2016. [Zitat vom: 13. 06 2016.] www.neue-euro-banknoten.eu.
46. **Stefan Hartmann, Christian Thiel**. *Der schöne Schein. Symbolik und Ästhetik von Banknoten*. s.l. : Gietl-Verlag, 2016. 29,00 EUR.
47. **EZB**. [Online] 13. 06 2016. [Zitat vom: 13. 06 2016.] www.neue-euro-banknoten.eu.
48. **Nieves**. *nieves_IMPRESSIO... pdf, gespeichert in Literatur*.
49. *Der Neue im Geldbeutel*. **Hinz, Ingo**. 11.04.2017, Zitat von Thomas Szewczyk, Direktor der Deutschen Bundesbank, Kölner Filiale : s.n.
50. **N.N.** Die Geschichte des Euro - Ein Überblick über die Entstehung der Euro-Banknoten und-münzen. *EZB*. [Online] 2007.

5 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: links Banknoten der neuen Serie. Der kleine schwarze Fleck unter Sizilien ist Malta. In der ersten Serie (rechts) fehlt Malta noch.	3
Abbildung 2: Haltbarkeit von Sicherheitsmerkmalen	4
Abbildung 3: Papieroberfläche mit Fasern.....	7
Abbildung 4: Druckerpapier zum Vergleich	7
Abbildung 5: Papieroberfläche, Beschichtung (Auflicht-Hellfeld, DIK).....	8
Abbildung 6: alter 5-Euro-Schein, links Wertzahl auf der Vorderseite im Auflicht, rechts Auf- und Durchlicht kombiniert.	9
Abbildung 7: Mikroperforation auf einer neuen Schweizer Banknote im Durchlicht.....	10
Abbildung 8: mitte: Wasserzeichen auf der 5-Euro-Banknote, links das Original, das von einer griechischen Vase im Pariser Louvre entnommen wurde (rechts) (Quelle: EZB).	11
Abbildung 9: Detail des Hologramms auf der neuen 20-Euro-Note. Rechts: Gitterstruktur, erkennbar bei hoher Vergrößerung.	12
Abbildung 10: links Detail aus der Gitterstruktur im Hologramm-Feld, rechts als Vergleich ein optisches Gitter mit 1175 Linien/mm. Zeiss Epiplan-Neofluar 100x/0,090 mit Optovar 1,25x, Auflicht	13
Abbildung 11: Mitte des rot markierten Feldes in Abb. 8. Links Gitterkonstante 1,60 µm, rechts 0,60 µm. Zeiss Epiplan-Neofluar 100x/0,90, Optovar 1,25x. Nachbearbeitung zur Kontraststeigerung mit ImageJ/CLAHE-Filter (Local Contrast Enhancement).	13
Abbildung 12: Spektrometer-Aufbau. Beschreibung im Text.....	14
Abbildung 13: Die 20-Euro-Banknote als Spektrometer. Rechts die Nullte Ordnung, in der Mitte das Spektrum des groben Teilgitters, links das des feinen Gitters.	15
Abbildung 14: Hologramm auf der 5-Euro-Note (Zeiss Epiplan Neofluar 50x/0,80, Optovar 1,6x).....	16
Abbildung 15: Farbig markierte Fläche aus Abb. 9. Auflicht Pol. Links und rechts jeweils gleicher Bildausschnitt, jedoch unterschiedlich zur Pol-Ebene orientiert.....	17
Abbildung 16: Iridinstreifen im Auflicht	18
Abbildung 17: Lidschatten "Eye Shadow Colourize Powder Shadow "Lily of the Valley", The Boots Co., UK". Gleiche Vergrößerung und Auflichtbedingungen wie Abb. 16.....	18
Abbildung 18: Iridinstreifen im Durchlicht, die Glimmerpartikel erscheinen hier bläulich. Eingelagert rundliche Körner.	19
Abbildung 19: Überlagerung Durchlicht und 365-nm-Auflichtfluoreszenz.	20
Abbildung 20: Emissionsspektrum bei 365-nm-Anregung, Zeiss Filtersatz 02	20
Abbildung 21: Die Smaragdzahl“: Farbverlauf.....	21
Abbildung 22: glänzender Streifen in der Mitte der Ziffer. Orientierung der Plättchen parallel zur Papieroberfläche.....	22
Abbildung 23: dunkler Bereich im oberen Viertel der Ziffer. Schräg bis senkrecht stehende Plättchen. Zeiss Epiplan-Neofluar 20x/0,50 Auflicht-Hellfeld, Abb. 22 und 23 unter jeweils gleichen Bedingungen.	22
Abbildung 24: Ausrichtung magnetischer Partikel in der noch flüssigen Druckfarbe entlang der Feldlinien	23
Abbildung 25: neue 200-EUR-Banknote, Kippzahl.....	23

Abbildung 26: Gelbe-Ringe. Links Farbbild, rechts Blau-Auszug	24
Abbildung 27: UV-A-Bild. EURION-Konstellationen mit Verbindungslinien hervorgehoben.	24
Abbildung 28: Rote Fluoreszenz bei UV-Anregung mit 365 nm, Emissionsmaximum 611 nm	25
Abbildung 29: Grüne Fluoreszenz der OMRON-Ringe bei UV-Anregung. Emissionsmaximum 540 nm.....	25
Abbildung 30: Melierfasern der ersten EURO-Serie im UV-A (365 nm).....	26
Abbildung 31: Melierfasern der zweiten EURO-Serie: abschnittsweise gefärbte Faserstücke.....	27
Abbildung 32: Mikroschrift. Links 0,3 mm, rechts 0,2 mm Höhe – nicht mehr mit bloßem Auge lesbar.....	28
Abbildung 33: Bilder mit der Handykamera: links ohne, rechts mit Infrarotfilter.....	28
Abbildung 34: Sicherheitsfaden	29

Neubearbeitung und Ergänzung: 22.01.2021