Mikroskopische Streifzüge auf Banknoten

Dr. Horst Wörmann

2016

VORBEMERKUNG: **1**

1. DIE EURO-BANKNOTEN **2**

1.1. Motive **2**

1.2. Herstellung **3**

2. SICHERHEITSMERKMALE **4**

2.1. Makroskopisch erkennbare Merkmale **5**
2.1.1. Papier und Beschichtung 5
2.1.2. Größe 7
2.1.3. Durchsichtsregister 7
2.1.4. Wasserzeichen 8
2.1.5. Hologramme und Kinegramme 9
2.1.5.1. Exkurs: der 20-Euro-Schein als Spektrometer 12
2.1.5.2. Exkurs: Die Kohärenzlänge, erklärt an der 20-Euro-Note 13
2.1.6. Iriodinstreifen 15
2.1.7. Optische Effekte: die Smaragdzahl 19

2.2. Mikroskopisch und physikalisch erkennbare Merkmale **21**
2.2.1. Eurion-Konstellation 21
2.2.2. Melierfasern 24
2.2.3. Mikroschrift 25
2.2.4. Infrarot 26
2.2.5. Magnetcodierung 26
2.2.6. Sicherheitsfaden 27
2.2.7. Elektrische Leitfähigkeit 27

2.3. Weitere Sicherheitselemente **27**

3. LITERATUR UND QUELLEN **28**

4. ABBILDUNGSVERZEICHNIS **29**

Vorbemerkung:

Dieser Bericht ist eine gekürzte Zusammenfassung eines Vortrags, gehalten bei der Dörnberg-Tagung am 28.08.2016 und beim MKB am 20.10.2016.

Die Fotos sind nicht von bester Qualität. Grund ist die Lackierung der neuen Euro-Banknoten, die Schärfeverluste tieferliegender Schichten bewirkt, und ein DIK unmöglich macht. 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.

Literatur zum Thema ist aus naheliegenden Gründen schwer zu finden. Bücher und Zeitschriften gibt es nicht. 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.

---

1. Die Euro-Banknoten

1.1. Motive

Das Design hat Bruno P. Kremer im letzten erschienenen Heft des Mikrokosmos beschrieben (1). Auf den Webseiten von Europäischer Zentralbank (EZB) und Bundesbank findet man sehr ausführliche Informationen über die Geschichte und Gestaltung der Euronoten. Kürzlich ist auch eine Buchveröffentlichung zum Thema erschienen (2):

> 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 Bückenmotiv!*):

Azoren, Madeira:	zu Portugal
Kanarische Inseln:	zu Spanien
In drei Kästchen: Martinique, Guadaluope, 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 scharze 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. So soll die Herstellung der neuen 20-Euro-Banknote nur 0,08 €/Stück betragen (3). Sehr gut gemachte Filme zur Herstellung von Banknoten findet man auf der Webseite der EZB (4).
Es lohnt sich, die Banknoten im schrägen Auflicht zu untersuchen. Durch die unterschiedlichen Druckverfahren entsteht Reliefs: Siebdruck in der Seriennummer, Intaglio (Stahlstich-Tiefdruck), Offsetdruck. Hierauf soll aber nicht weiter eingegangen werden – Raum für eigene Experimente!
In Deutschland existieren zwei Sicherheitsdruckereien: die Bundesdruckerei und die Firma Giesecke & Devrient, ein Familienunternehmen mit Sitz in München, Weltmarktführer auf den Gebieten Sicherheitsdruck, Maschinen zur Banknotenbearbeitung und anderen Sicherheitstechnologien – einer der deutschen „hidden champions“.
Haltbarkeit:
Langlebig sind beispielsweise magnetische oder phosphoreszierende Elemente, oder auch Stahldruckfarben mit Infraroteigenschaften. Dagegen sind Merkmale wie elektrische Leitfähigkeit, 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.

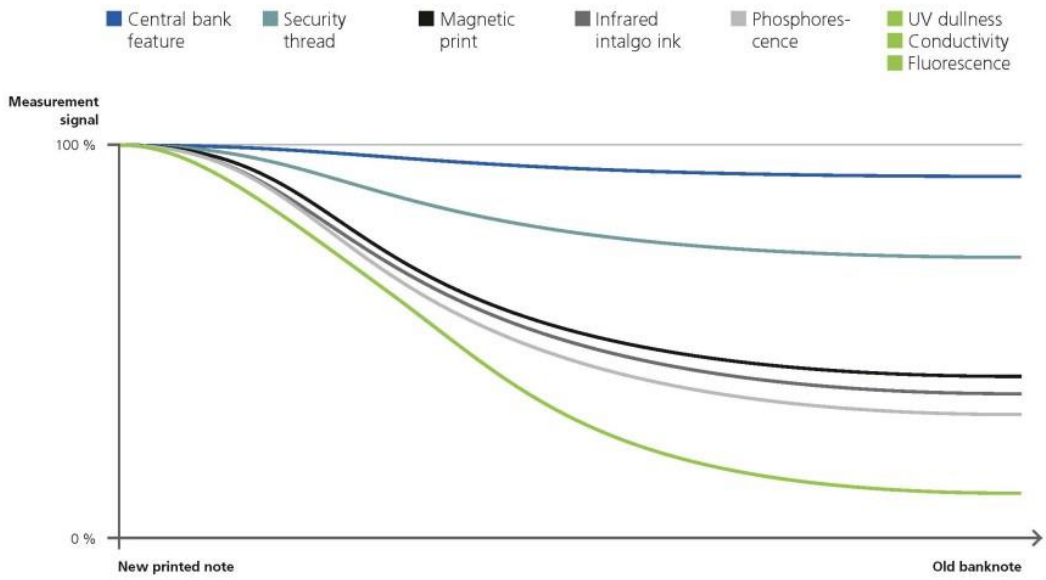


Abbildung 2: Haltbarkeit von Sicherheitsmerkmalen

2. Sicherheitsmerkmale

Bank und Fälscher sind 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 verzieren 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.*
> ***Level2 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) (5)

2.1. <u>Makroskopisch erkennbare Merkmale</u>

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 errreicht man die typische Haptik von Banknotenpapier. Jeder kennt (und schätzt) das Gefühl und den typischen Klang beim Reiben einer Banknote, und so wurde von den Kursteilnehmern denn auch eine neue britische 5-Pfundnote aus Polymermaterial glattweg als „Nicht-Geld“ abgelehnt.
Außerdem schrumpfen sie angeblich beim Bügeln (Quelle: Wikipedia, Stichwort „Banknote“).

Die Banknoten sind waschbar und fluoreszieren nicht, es sei denn, nach dem Waschen sind optische Aufheller aus dem Waschmittel aufgezogen, die blau fluoreszieren (Stilben-Derivate) (6)

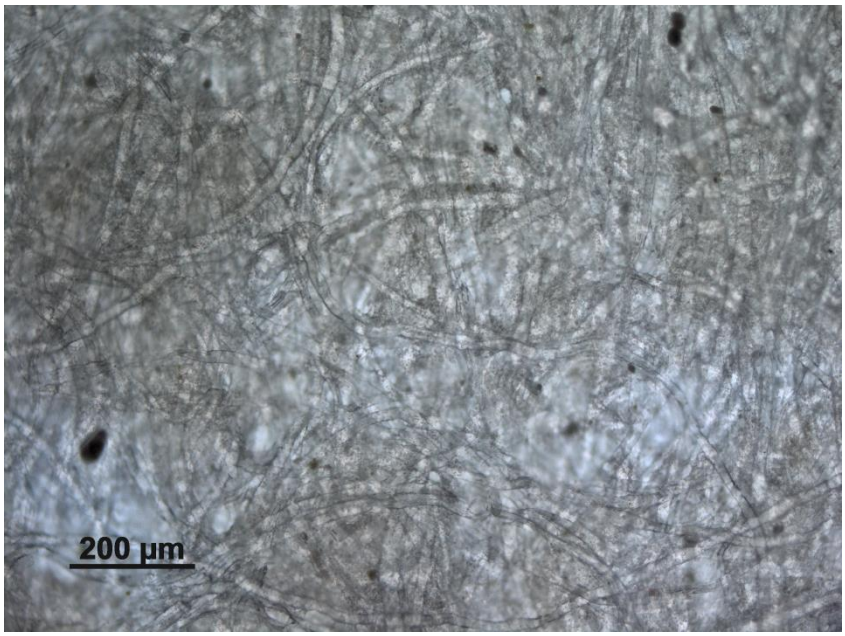


Abbildung 3: Papieroberfläche mit Fasern

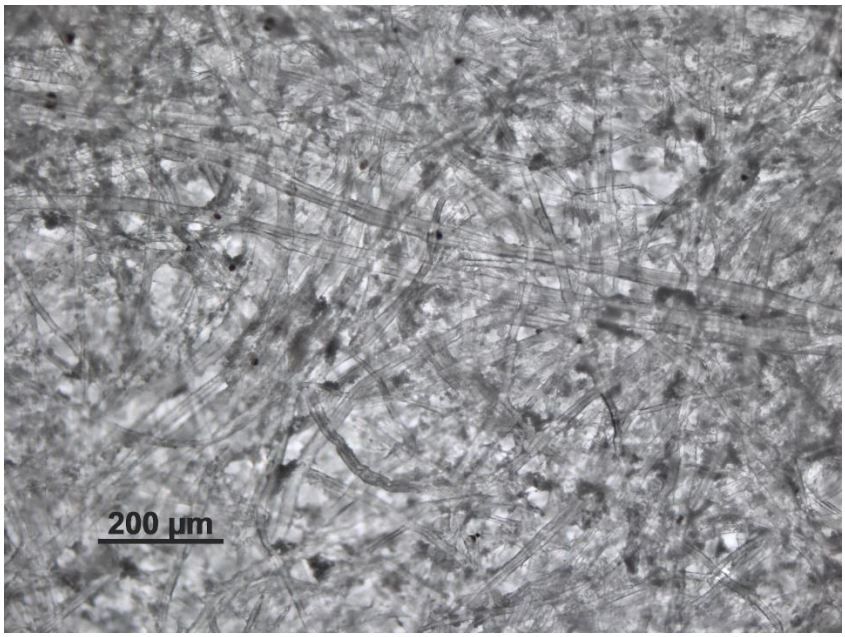


Abbildung 4: Druckerpapier zum Vergleich

Die Oberfläche der Banknoten in der neuen Serie 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 (7).

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

Mit speziellen Prüfstiften kann schnell Stärke im Papier 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 Luoglscher 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 (8). Der größte deutsche Hersteller ist die Papierfabrik Louisenthal am Tegernsee in in Königstein, eine Tochter der Sicherheitsdruckerei Giesecke & Devrient (9).

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.

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 reprodu-

zieren, da höchste Genauigkeit des Passers beim beidseitigen Druck nötig ist. Es bietet den Vorteil, das 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).

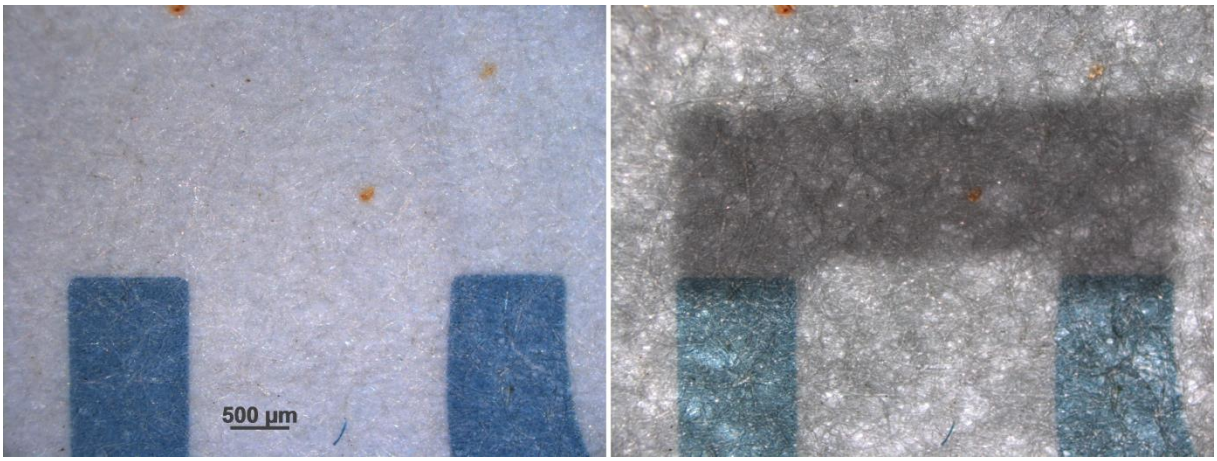


Abbildung 6: alter 5-Euro-Schein, links Wertzahl auf der Vorderseite im Auflicht, rechts Auf- und Durchlicht kombiniert.

2.1.4. 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. 7 mitte). Auf diese Weise entstehen stufenlos modulierte 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**.** (9)

Abbildung 7: mitte: Wasserzeichen auf der 5-Euro-Banknote, links das Original, das von einer griechischen Vase im Pariser Louvre entnommen wurde (rechts) (Quelle: EZB).

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.

2.1.5. Hologramme und Kinegramme

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

Kinegram^{R} 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 Heiß-prägetechnologie (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).

Ein „Kinegramm“ zeigt einen zweidimensionaler Bewegungsablauf, das „Hologramm“ einen echten 3-D-Effekt (11). Die Nomenklatur ist aber uneinheitlich; der zugrundeliegende physi-kalische Effekt ist bei beiden gleich.
Alle silbrig glänzenden Hologramme sind Prägehologramme. Das sind Transmissionsholo-gramme, die auf der Rückseite eine metallische Schicht besitzen. Das Licht tritt von der Vor-derseite 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 Bild-umschlag 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 Geschenklabels, 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. 8 rot umrandete Bereich bei hoher Vergrößerung untersucht. In diesem Bereich von etwa 3 x 8 mm findet man im Auflicht eine gitterartige Struktur (Abb. 8 rechts, in Abb. 9 weiter vergrößert).

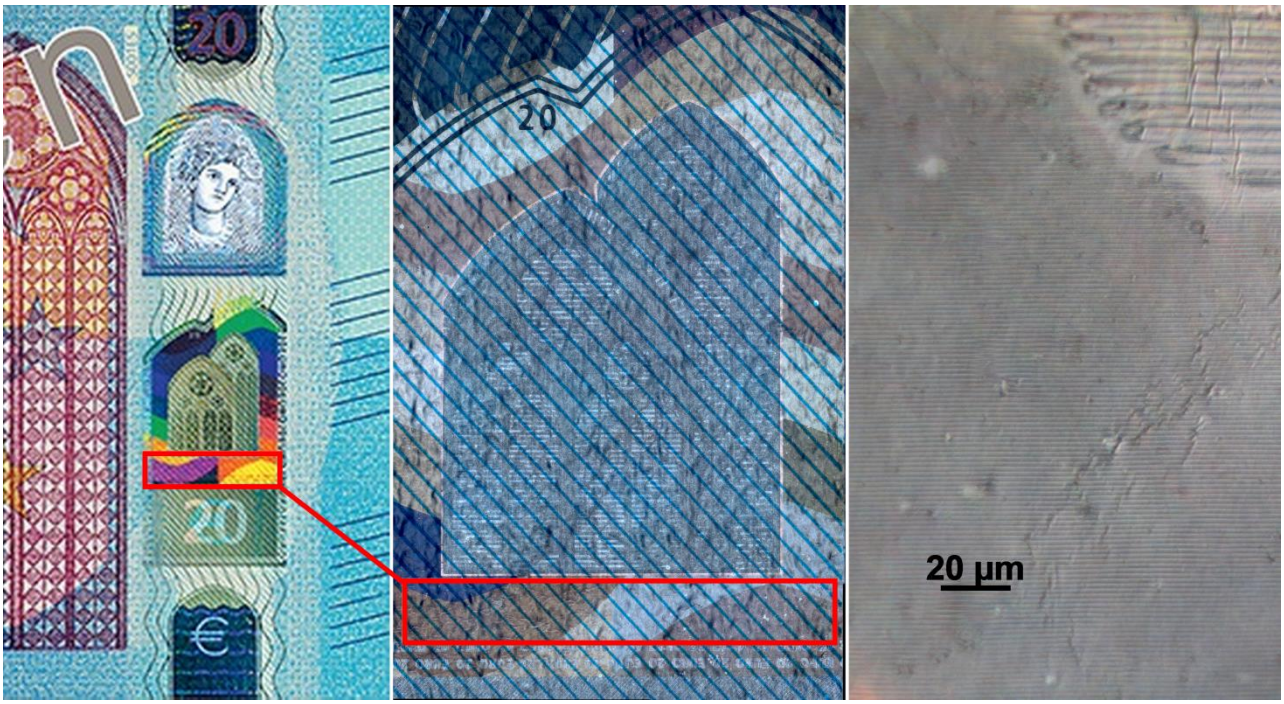


Abbildung 8: Detail des Hologramms auf der neuen 20-Euro-Note. Rechts: Gitterstruktur, erkennbar bei hoher Vergrößerung.

Die Gitterlinien verlaufen parallel zur langen Papierkante. Das Feld ist in der Mitte geteilt: die linke Hälfte grobes Muster mit 1,60 µm Gitterkonstante (625 Linien/mm), die rechte ist viel feiner mit 0,60 µm 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.

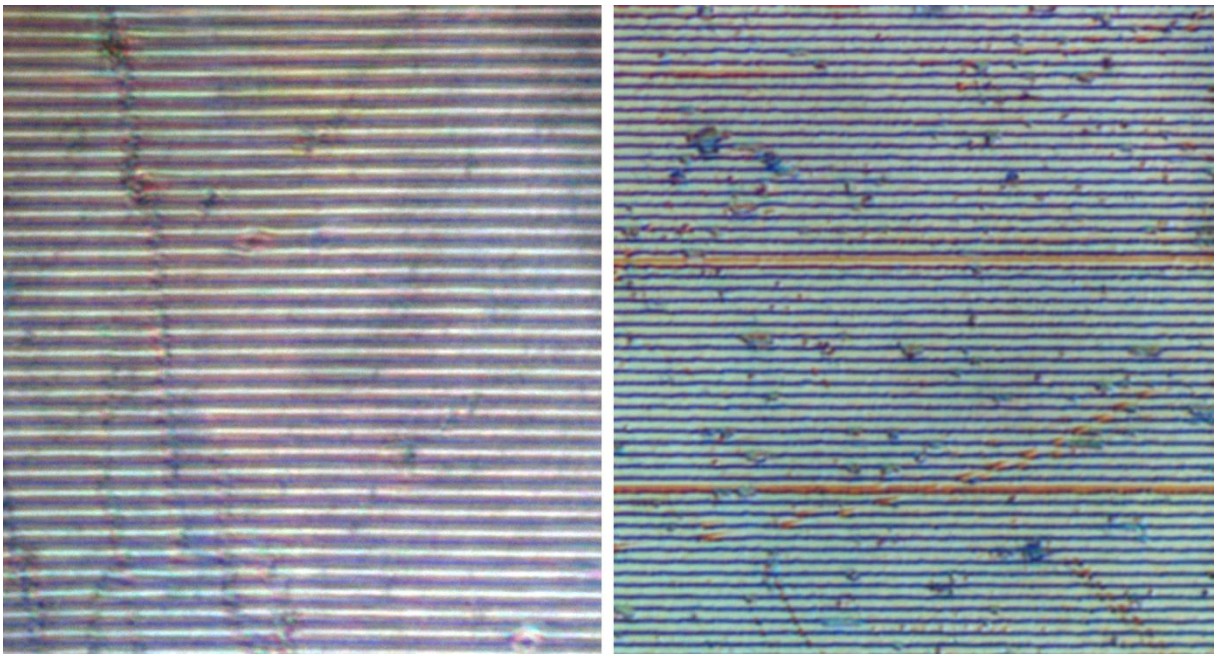


Abbildung 9: links Detail aus der Gitterstruktur im Hologramm-Feld, rechts als Vergleich ein optisches Gitter mit 1175 Linien/mm. Zeiss Epiplan-Neofluar 100x/0,090 mit Optovar 1,25x, Auflicht

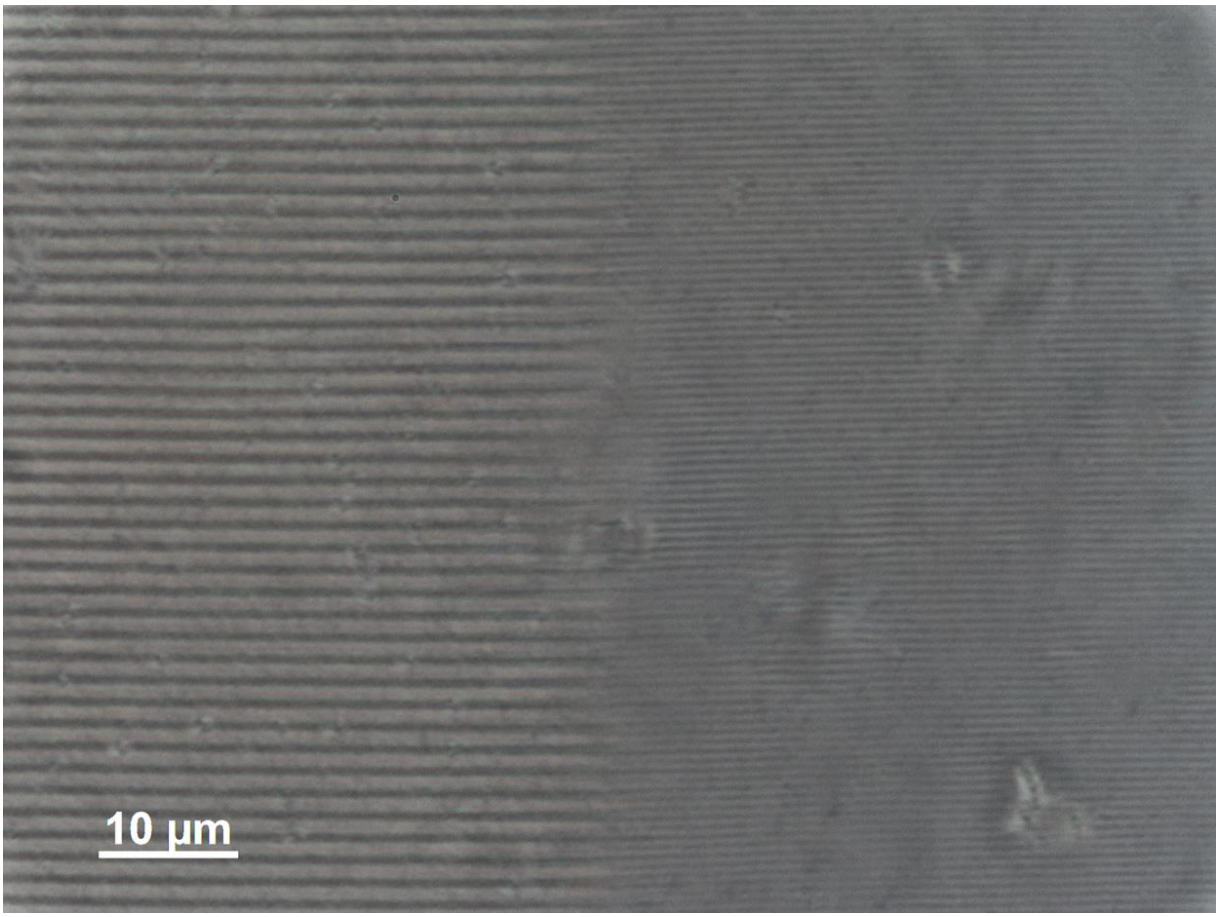


Abbildung 10: Mitte des rot markierten Feldes in Abb. 8. Links Gitterkonstante 1,60 µm, rechts 0,60 µm. Zeiss Epiplan-Neofluar 100x/0,90, Optovar 1,25x. Nachbearbeitung zur Konstraststeigerung mit ImageJ/CLAHE-Filter (Local Contrast Enhancement).

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

Tatsächlich konnten mit dem Aufbau nach Abb. 11 Spektren erzeugt werden. La ist eine 6V - 12W-Lampe, Ko der Kollektor, der den Spalt Sp (0,2 mm) beleuchtet. Die Irisblende Bl minimiert Streulicht. Die Linse L1 projiziert ein Spaltbild auf die Banknote Bn. Auf dem Schirm oben werden zwei Spektren 1.O und 2.O sichtbar (irrtümlich als 2. Ordnung bezeichnet, tatsächlich ist es das Spektrum, das vom feineren Gitter erzeugt wird). Abb. 12 zeigt die erhaltenenen Spektren. 0. O ist die erste Ordnung. Die Zuordnung zu den jeweiligen Gitterhälften kann man leicht durch Abdecken der entsprechenden Fläche nachweisen, das zugehörige Spektrum verschwindet dann.

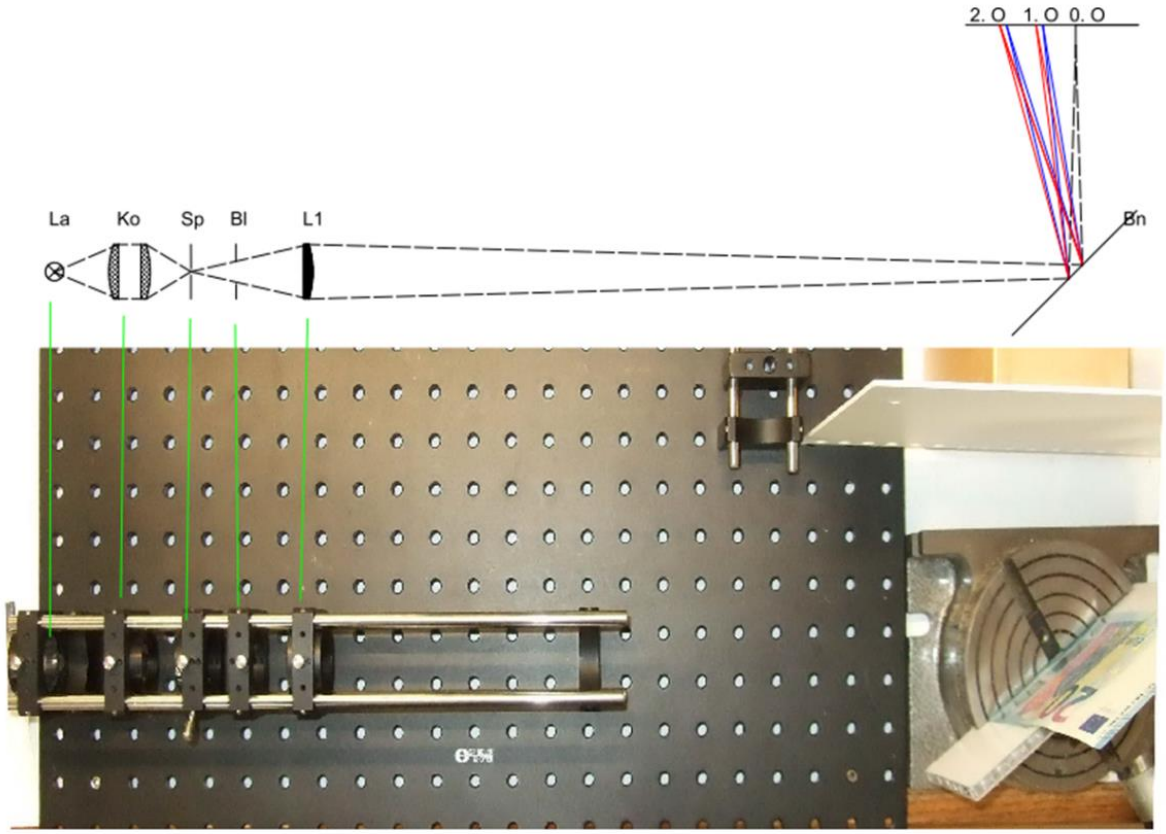


Abbildung 11: Spektrometer-Aufbau. Beschreibung im Text.

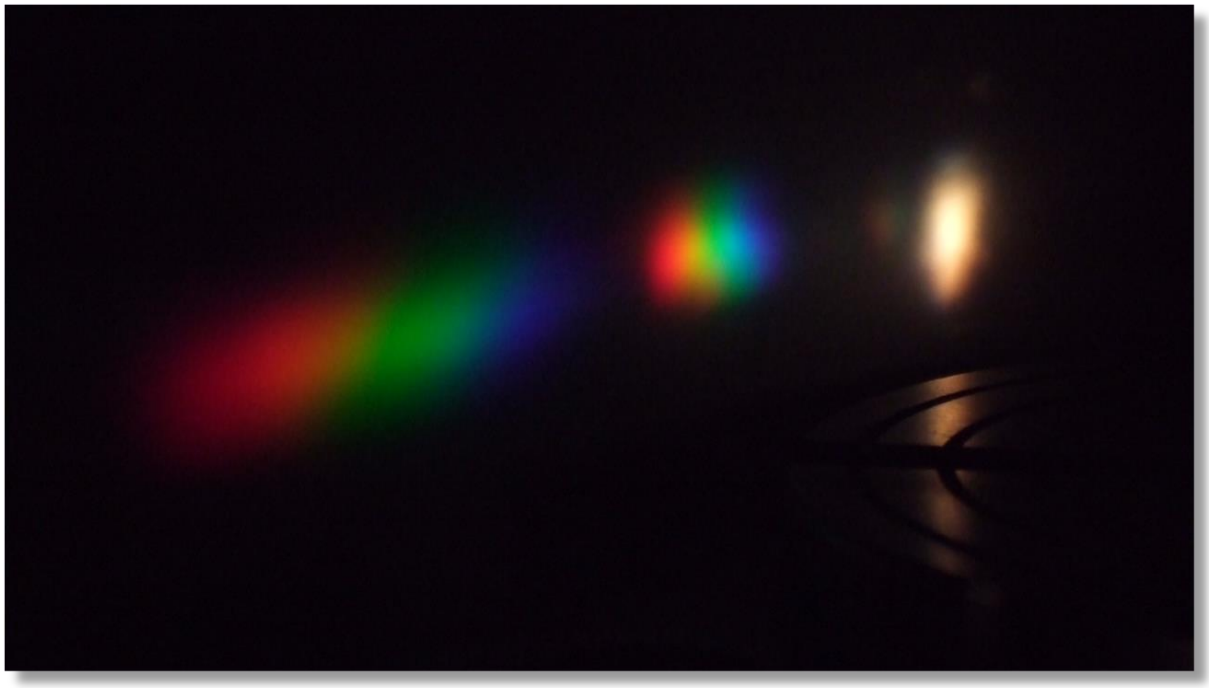


Abbildung 12: Die 20-Euro-Banknote als Spektrometer. Rechts die Nullte Ordnung, in der Mitte das Spektrum des groben Teilgitters, links das des feinen Gitters.

2.1.5.2. 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..10 µm, 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. 13).

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 Polarisationsebene verändern sich die Farben (Abb. 14). Wahrscheinlich ist hier eine polarisierende Folie aufgebracht. Angaben in einem Patent der Firma Giesecke & Devrient deuten darauf hin. Den Effekt konnte ich aber nicht abschließend aufklären.

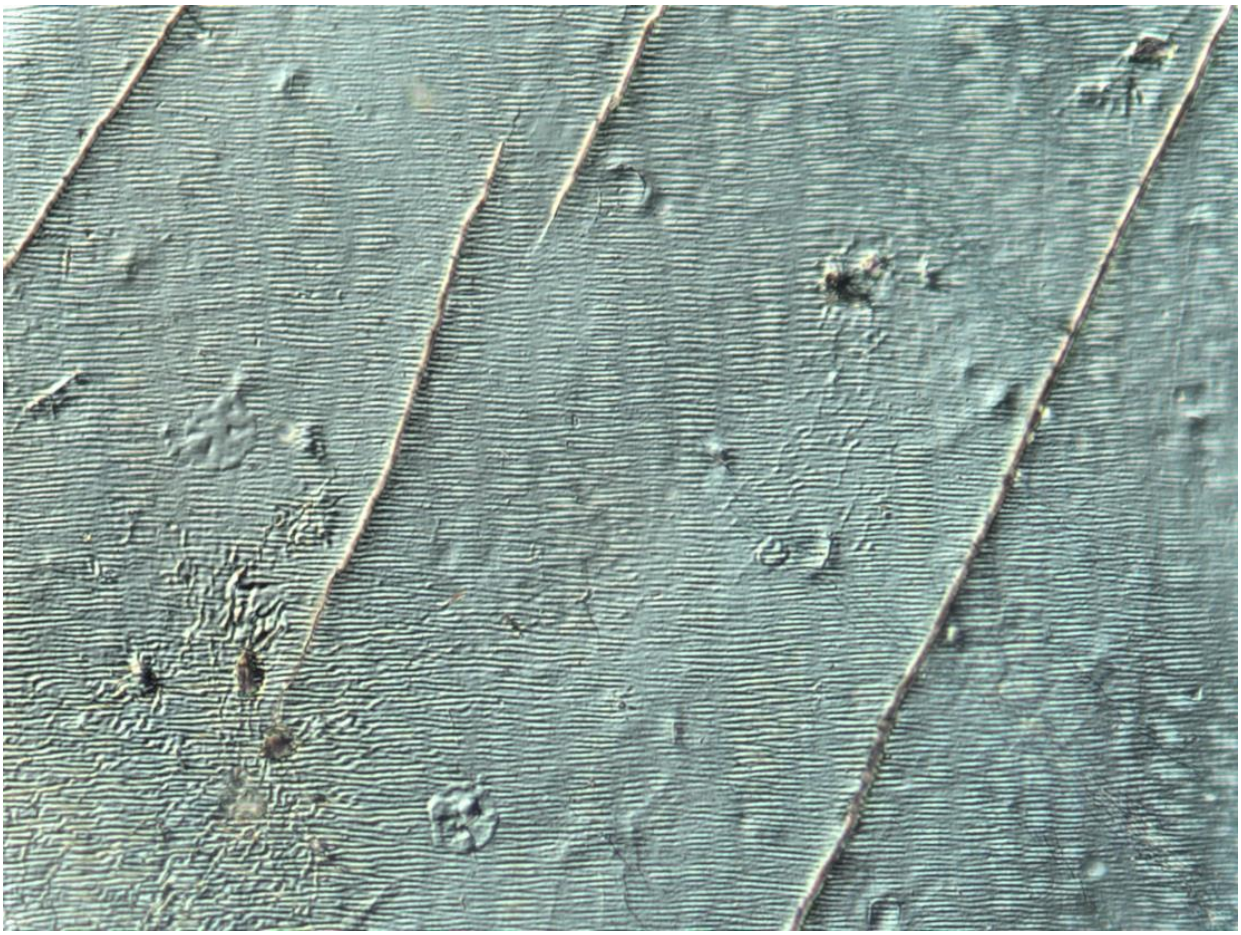


Abbildung 13: Hologramm auf der 5-Euro-Note (Zeiss Epiplan Neofluar 50x/0,80, Optovar 1,6x)

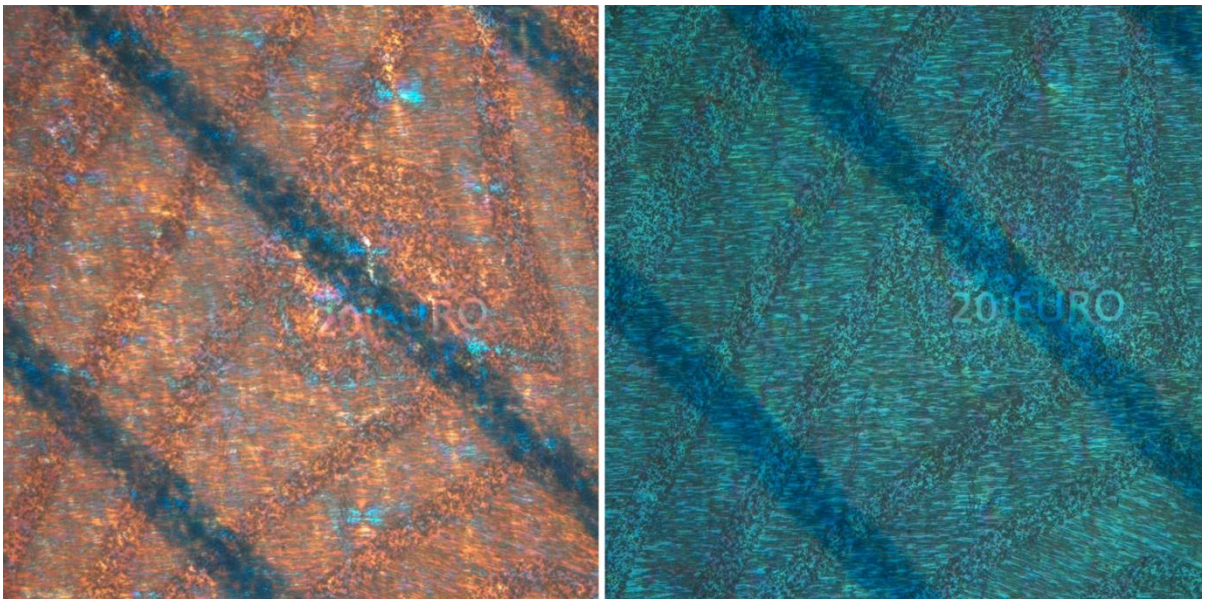


Abbildung 14: Farbig markierte Fläche aus Abb. 8. Auflicht Pol. Links und rechts jeweils gleicher Bildausschnit, jedoch unterschiedlich zur Pol-Ebene orientiert.

2.1.6. 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. 13 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 Bezeichung "Iriodin" vertrieben und werden beispielsweise in Kosmetika (Abb. 14, 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 (14)

R. Maisch und F. Hofmeister, Microscopic Characterization of Automotive Finishes containing Pearl Lustre Pigments, Merck-Druckschrift o.J. (15)

Papierfabrik Louisenthal (9), (16)

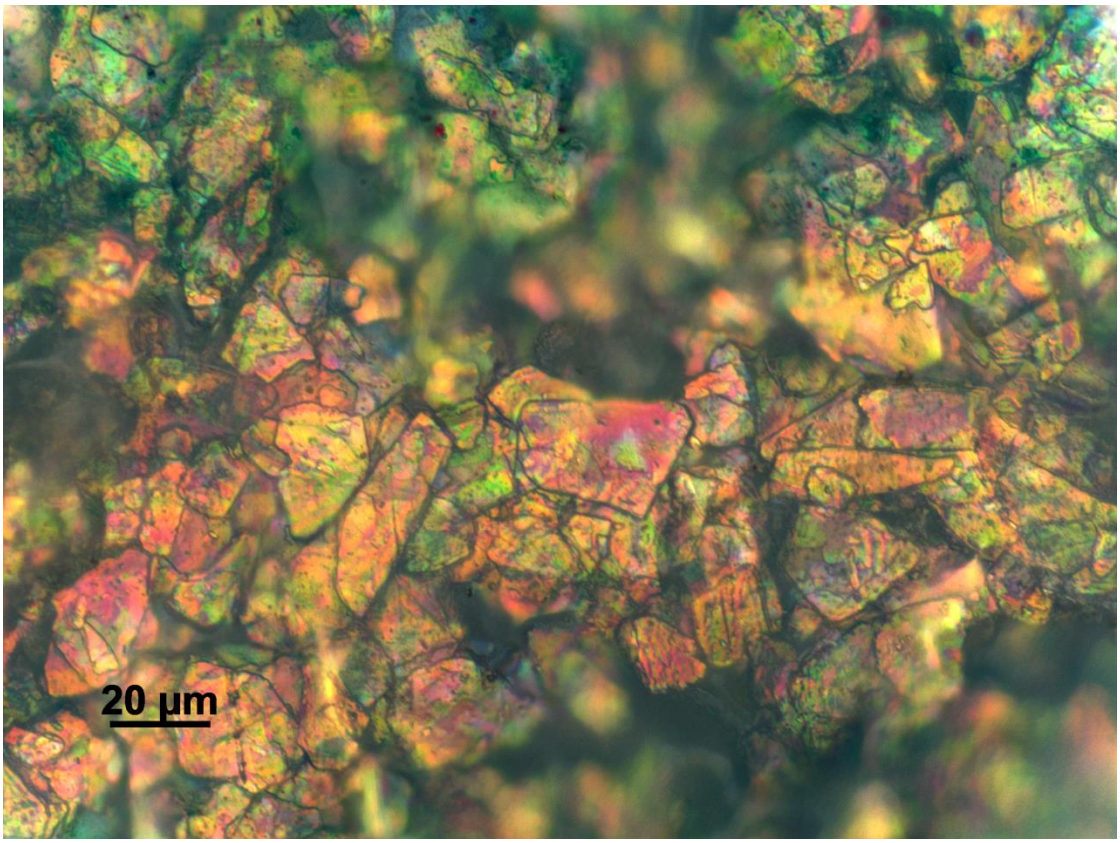


Abbildung 15: Iriodinstreifen im Auflicht

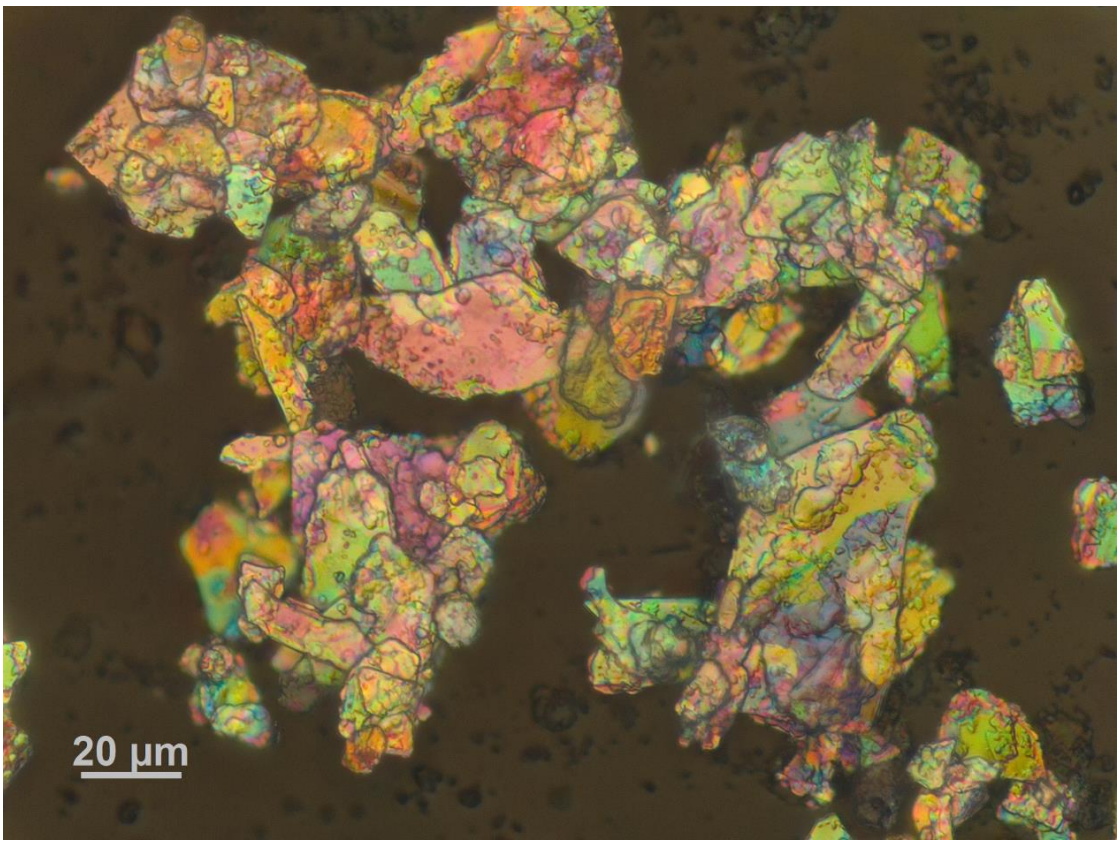


Abbildung 16: Lidschatten “Eye Shadow Colourize Powder Shadow "Lily of the Valley", The Boots Co., UK”. Gleiche Vergrößerung und Auflichtbedingungen wie Abb. 13.

Im Durchlicht entdeckt man im Iriodinstreifen bei genauem Hinsehen kleine Partikel mit abweichender Kristallform (Abb. 15). In der Auflichtfluoreszenz mit 365-nm-Anregung fluoreszieren diese Partikel rötlich-gelb (Abb. 16). 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. 17). Die Zusammensetzung des Pigments konnte nicht geklärt werden. Es ist nicht identisch mit dem unten beschrieben 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.

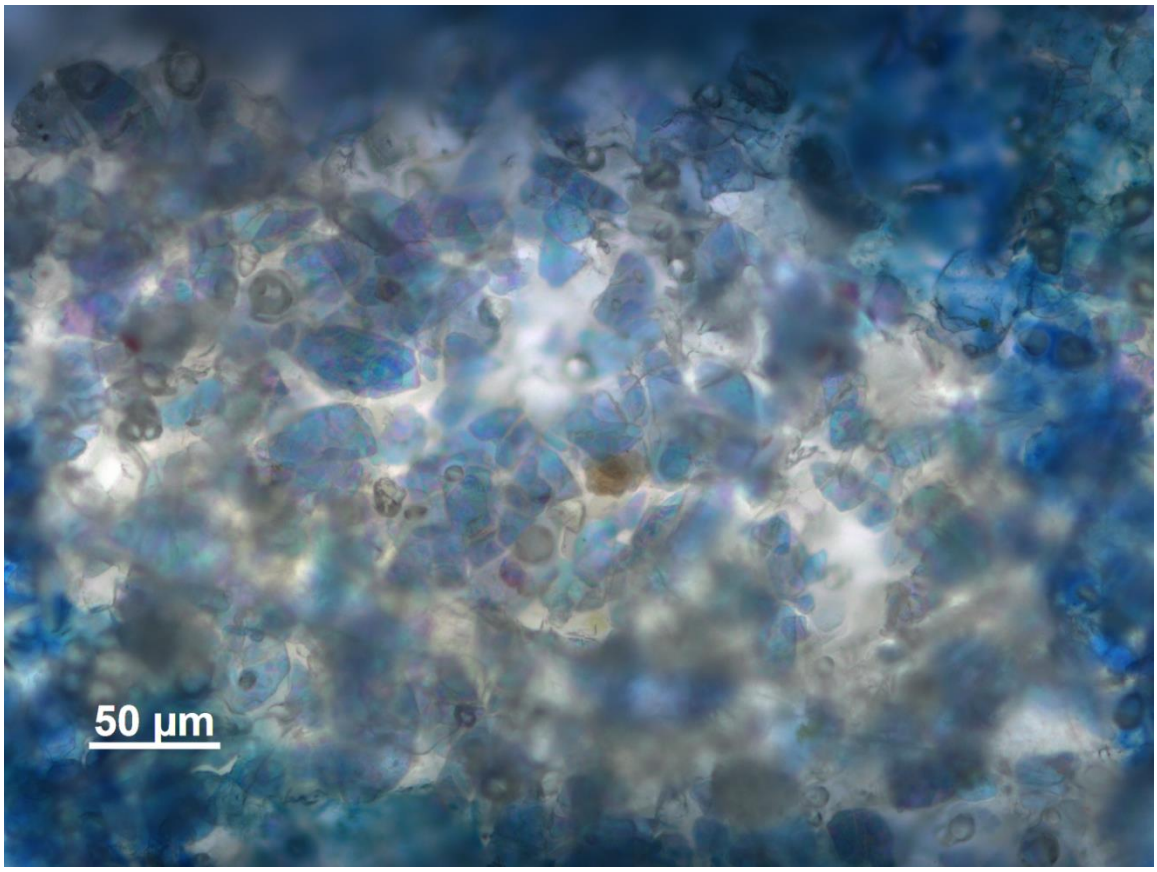


Abbildung 17: Iriodinstreifen im Durchlicht, die Glimmerpartikel erscheinen hier bläulich. Eingelagert rundliche Körner.

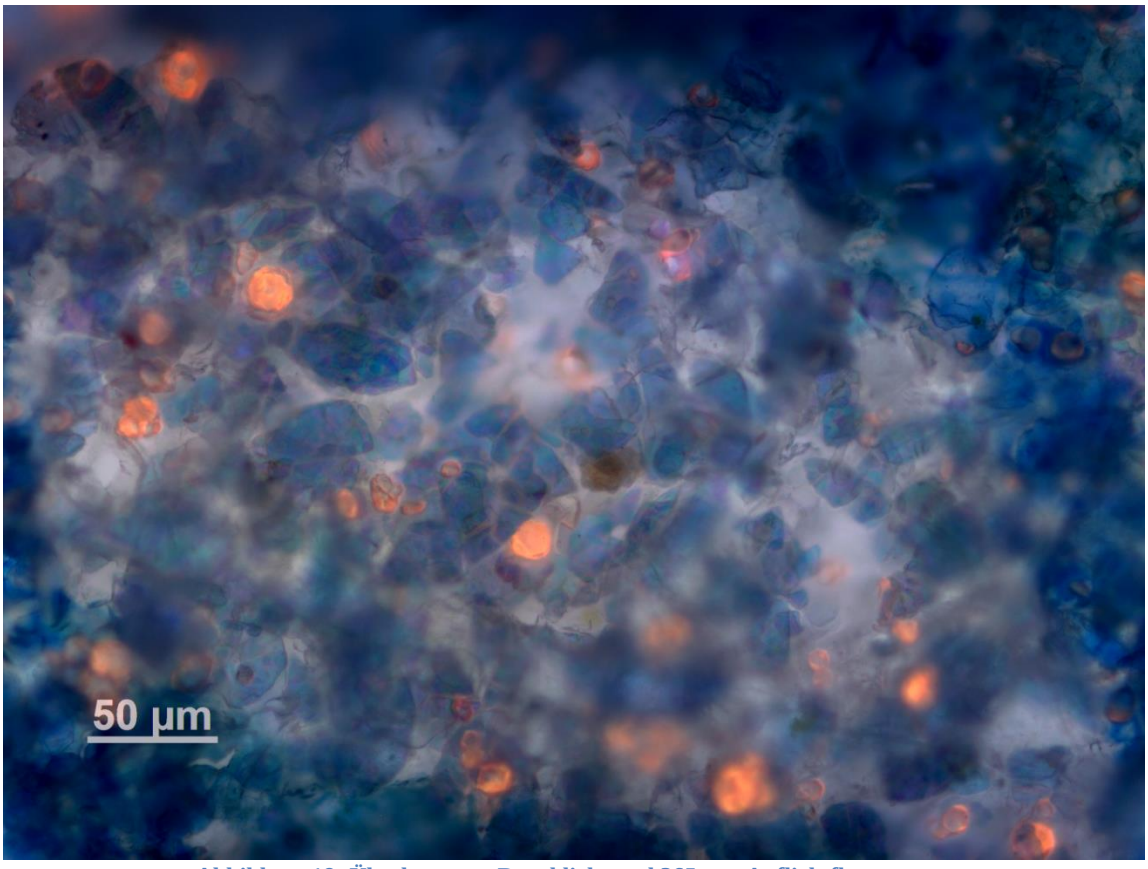


Abbildung 18: Überlagerung Durchlicht und 365-nm-Auflichtfluoreszenz.

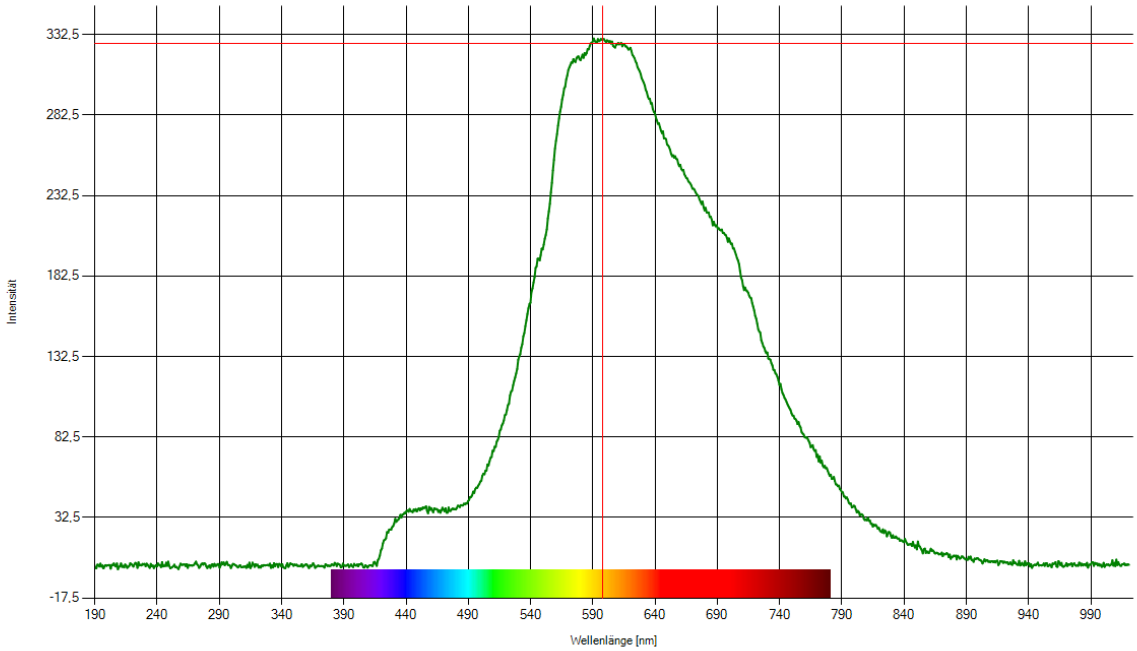


Abbildung 19: Emissionsspektrum bei 365-nm-Anregung, Zeiss Filtersatz 02

2.1.7. Optische Effekte: die Smaragdzahl

Abbildung 20: Die Smaragdzahl“: Farbverlauf von grünlich in der Mitte nach blau

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 smaragd-grün als auch die Position des Streifens (Abb. 20). 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 Dünn-schichtelemente mit einer Interferenzschicht, die winkelabhängig reflektieren.
Fährt man bei 20- bis 50-facher Vergrößerung die in Abb. 20 gezeigte "1" in Längsrichtung ab, erkennt man, daß die Plättchen zur Papieroberfläche orientiert aufgebracht sind. Im hell reflektierenden Streifen liegen die Plättchen parallel zur Oberfläche (Abb. 21), in den dunkleren Bereichen stehen sie schräg bis senkrecht (Abb. 22). 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, anderfalls 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 sicht-bare 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. 23).

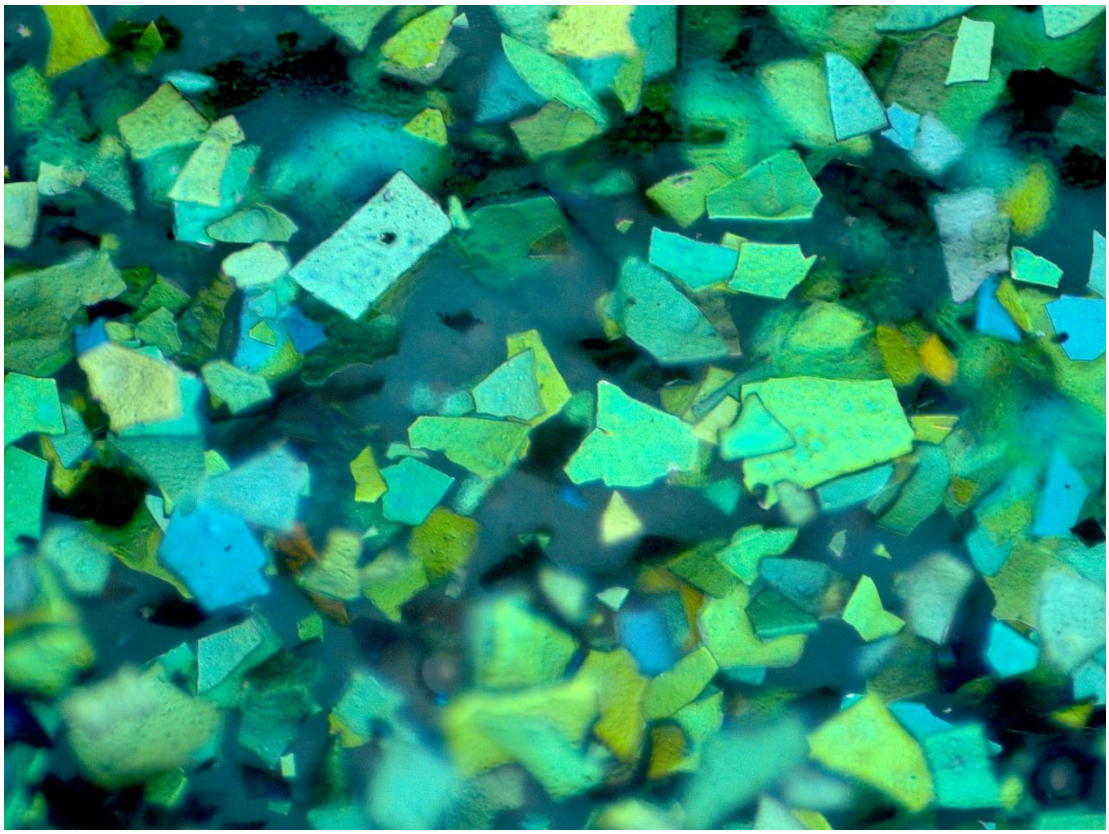


Abbildung 21: glänzender Streifen in der Mitte der Ziffer. Orientierung der Plättchen parallel zur Papieroberfläche.

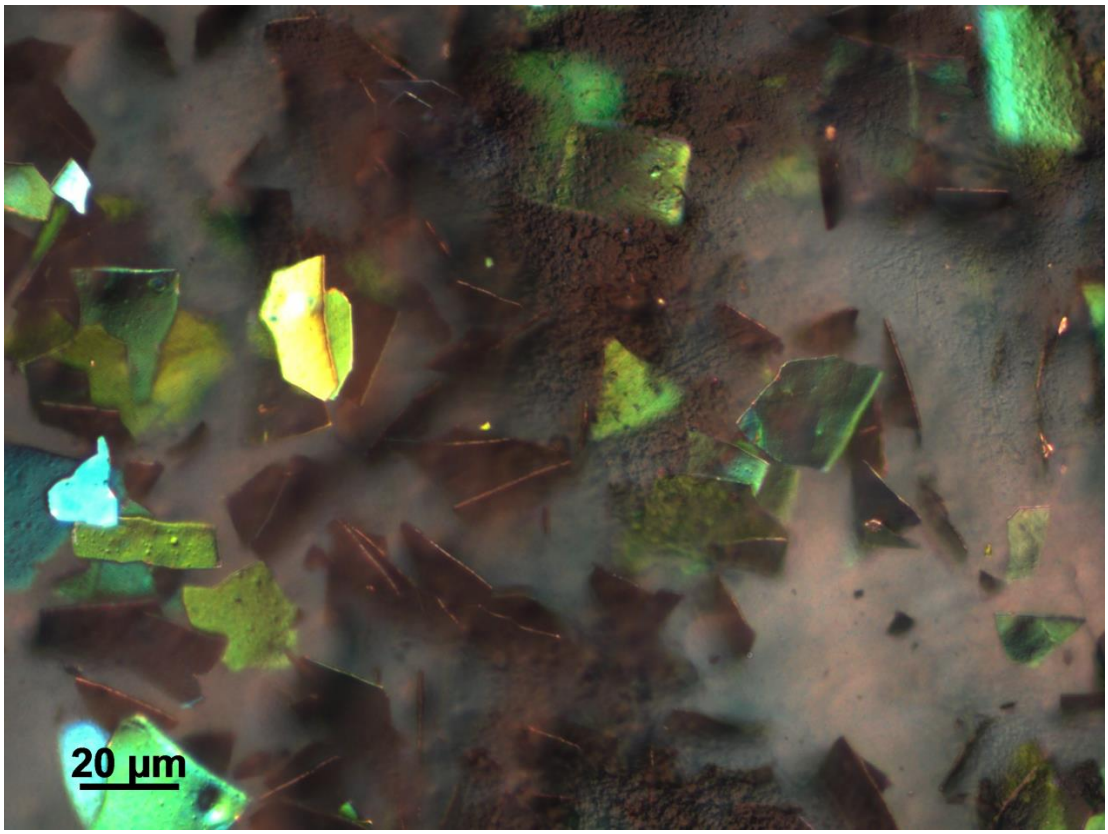


Abbildung 22: dunkler Bereich im oberen Viertel der Ziffer. Schräg bis senkrecht stehende Plättchen. Zeiss Epiplan-Neofluar 20x/0,50 Auflicht-Hellfeld, Abb. 21 und 22 unter jeweils gleichen Bedingungen.

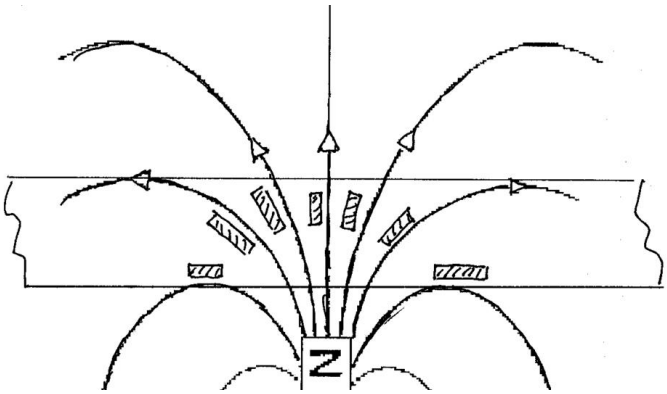


Abbildung 23: Ausrichtung magnetischer Partikel in der noch flüssigen Druckfarbe

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.

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. 24 links). Durch Extraktion des Blaukanals aus dem RGB-Bild wird der Kontrast krätig erhöht (Abb. 24 rechts).

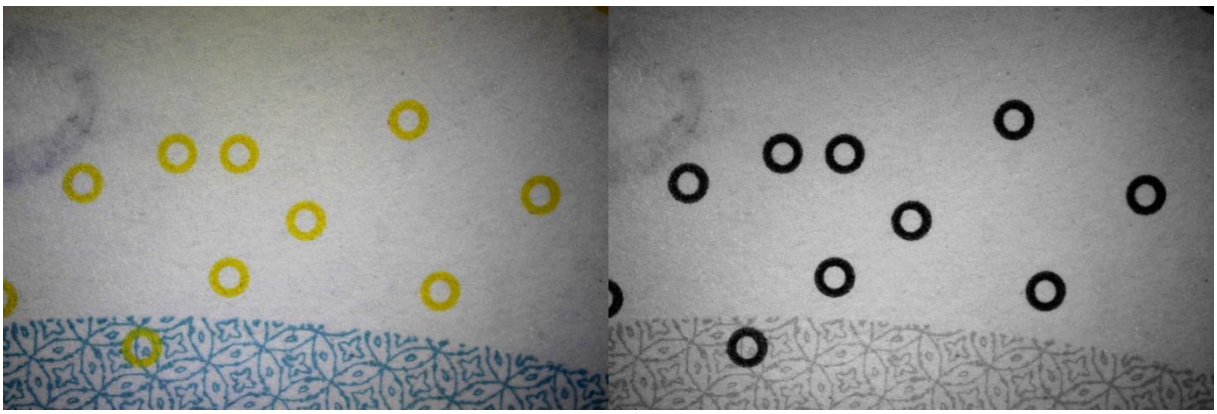


Abbildung 24: Gelbe-Ringe. Links Farbbild, rechts Blau-Auszug

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:

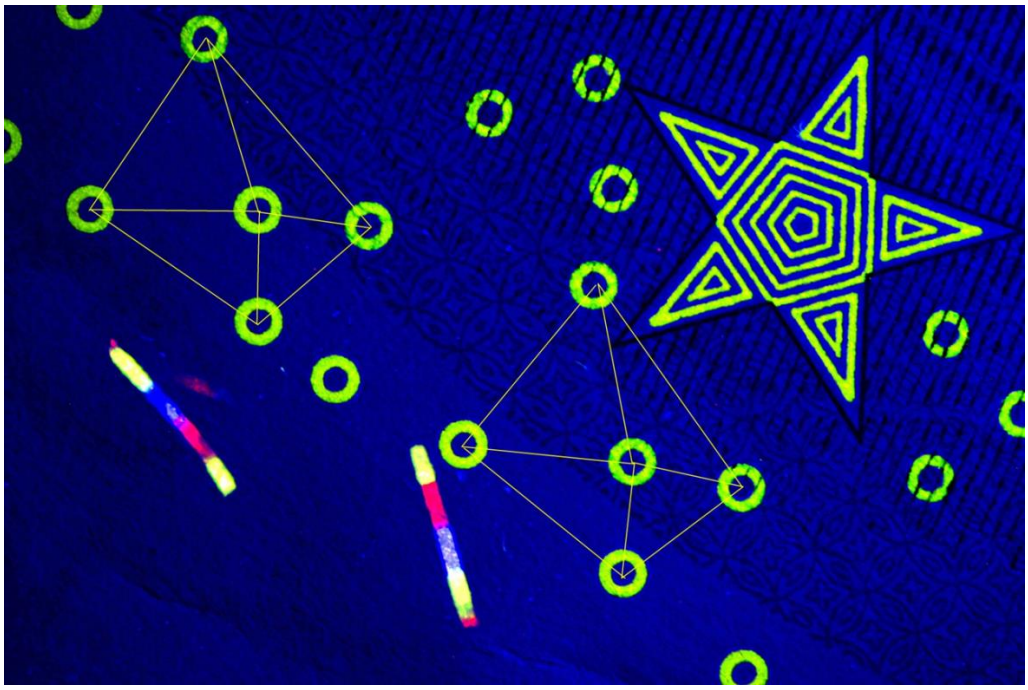


Abbildung 25: UV-A-Bild. EURION-Konstellationen mit Verbindungslinien hervorgehoben.

Die Abstände der Ringe folgen einem bestimmten Algorithmus; sie sind deshalb auch verdeckt durch vielen andere Details leicht maschinenerkennbar, unabhängig von Lage, Größe und Tarnung z.B. als Musiknoten. 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“.

In höherer Vergrößerung der Ringe werden die Pigmentkörner der Druckfarbe sichtbar. Abb. 26 zeigt einen Kringel 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 sind 100 µm), in der rechten Bildhälfte das Spektrum desselben Rings im Mikrospektralfotometer. Apparatives und Methodik der Mikrospektralfotometrie siehe hier.

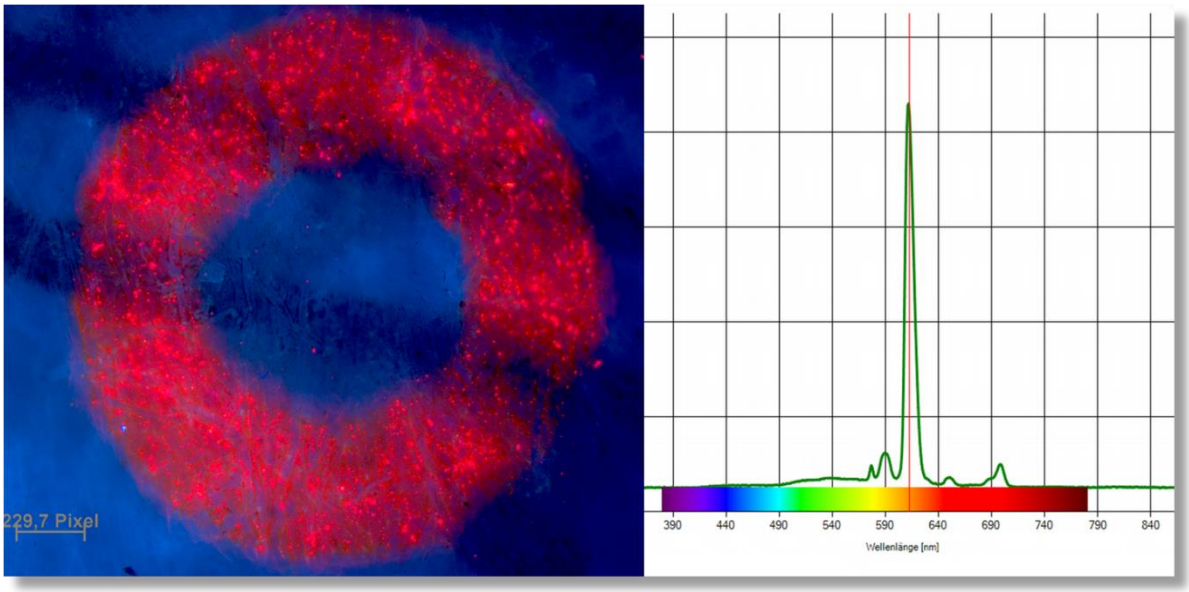


Abbildung 26: Rote Fluoreszenz bei UV-Anregung mit 365 nm, Emissionsmaximum 611 nm

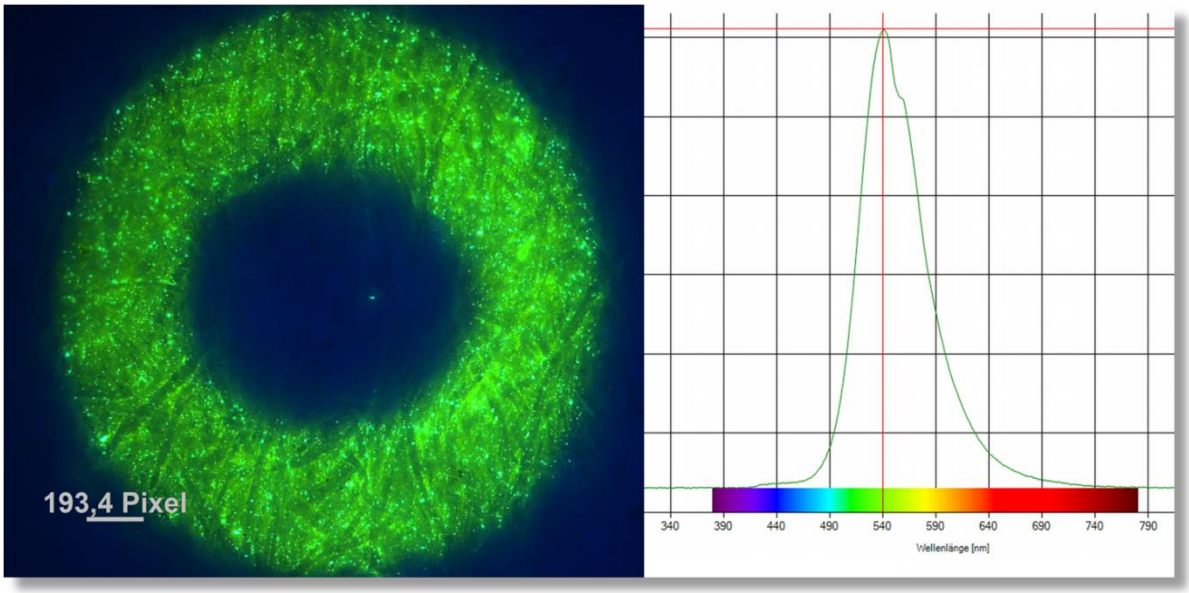


Abbildung 27: Grüne Fluoreszenz der OMRON-Ringe bei UV-Anregung. Emissionsmaximum 540 nm

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) (17). 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. 27).

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 $SrGa_2S_4:Eu^{2+}$ für die neue,

grüne Version (17) vermuten. Im Internet kursiert Terbium als Grün-Pigment (18), 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 (19)

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.

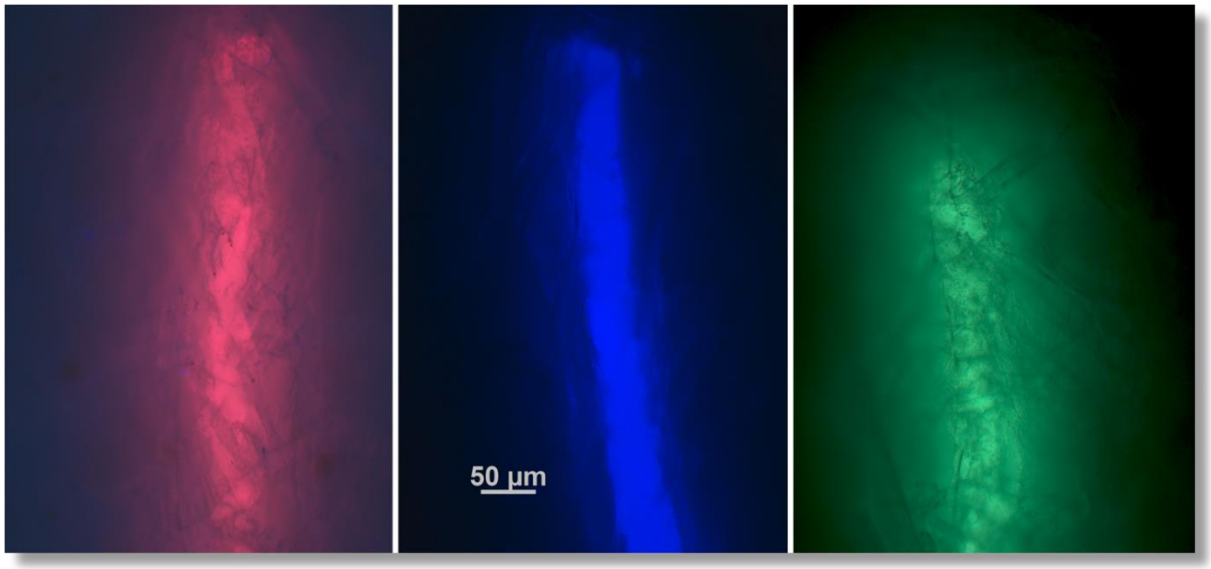


Abbildung 28: Melierfasern der ersten EURO-Serie im UV-A (365 nm)

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 $(BaO)_x \cdot 6Al_2O_3:Eu^{3+}$ infrage (19) (17).
Fluoreszierende Melierfasern sind schon seit etwa 1925 als Sicherheitsmerkmal in Gebrauch.

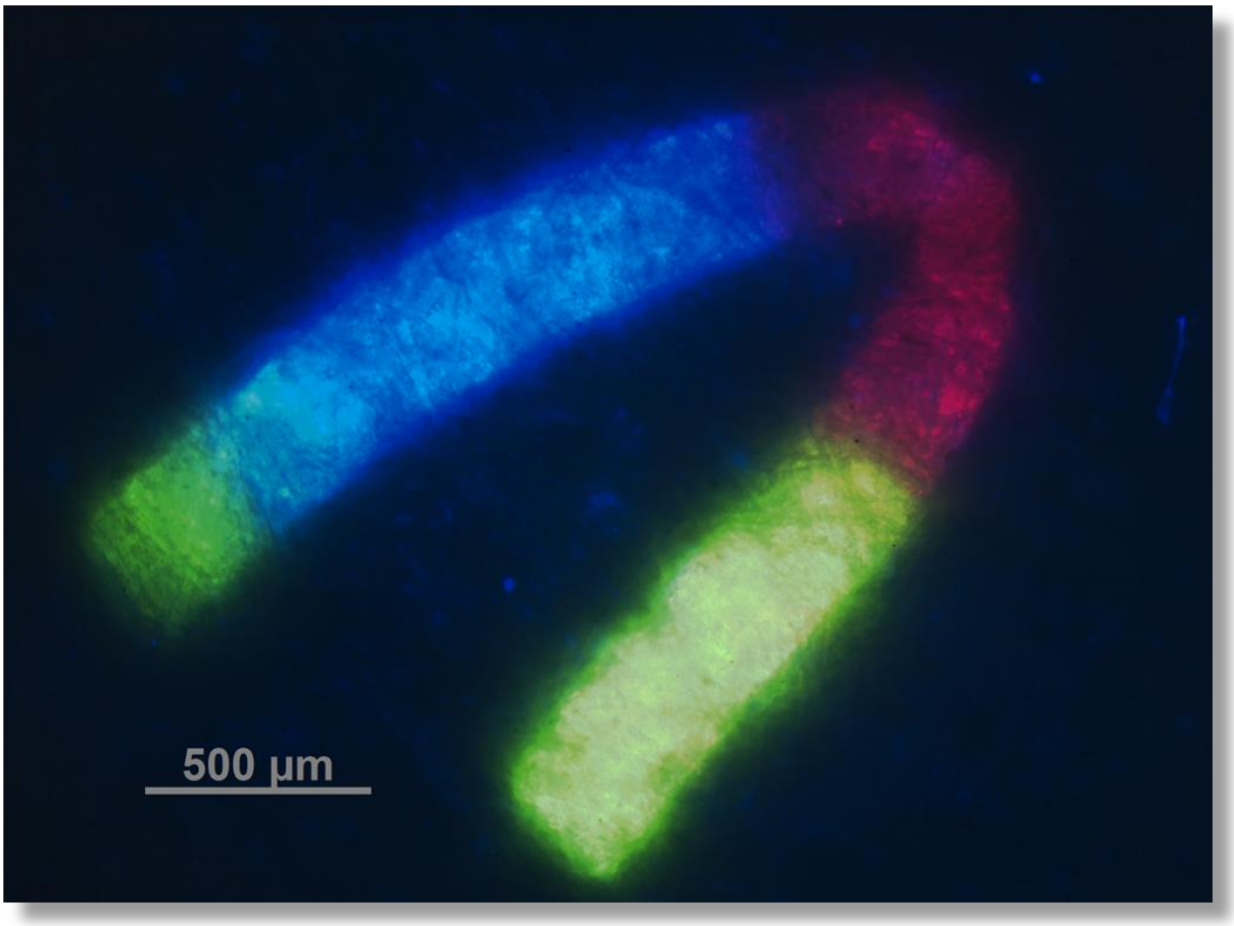


Abbildung 29: Melierfasern der zweiten EURO-Serie: abschnittsweise gefärbte Faserstücke.

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.

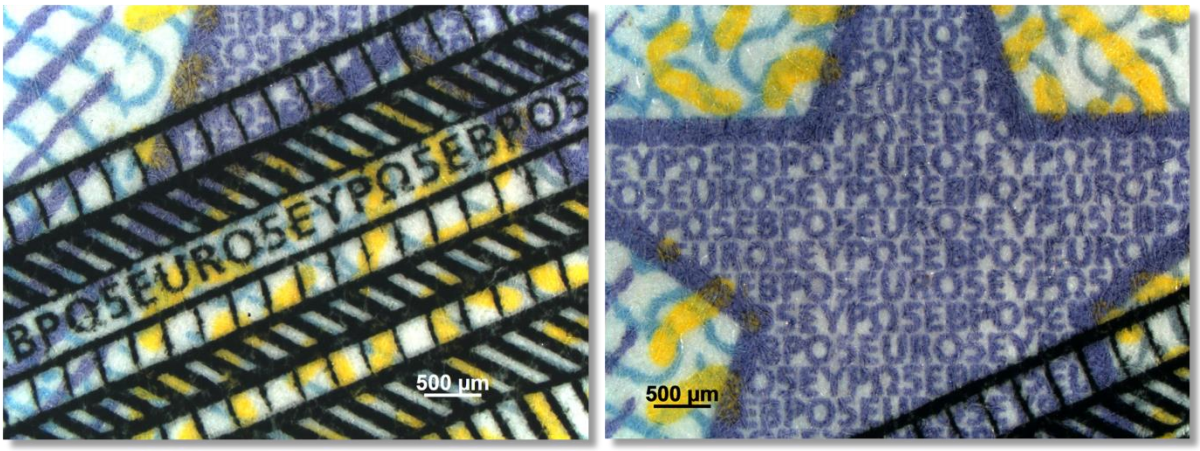


Abbildung 30: Mikroschrift. Links 0,3 mm, rechts 0,2 mm Höhe – nicht mehr mit bloßem Auge lesbar.

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 (20). 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 31: 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 (21).

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.

Nach etlichen Fehlschlägen ergab sich die Frage:

Kann man Magnetfelder mikroskopisch nachweisen?

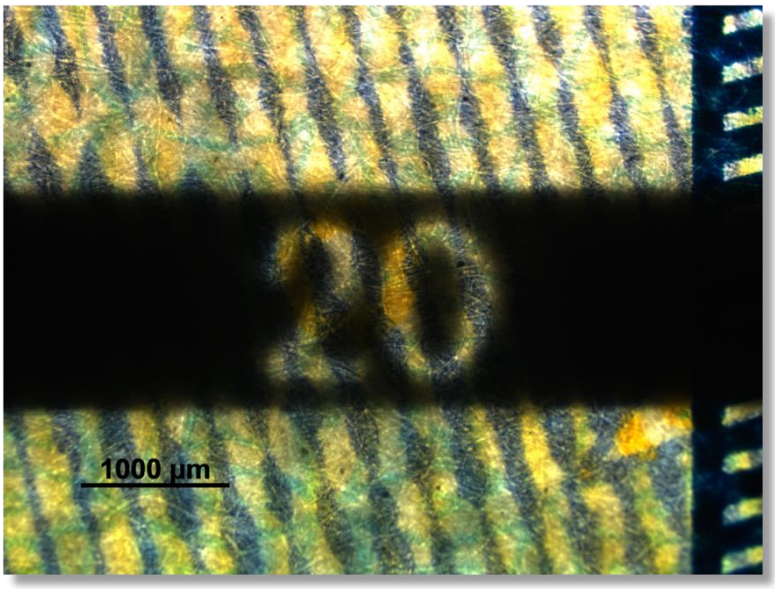
Es geht tatsächlich, z.B. mit einem Verfahren, von dem selbst alte Mikroskopikerhasen noch nie gehört haben: die magneto-optische Kerr-Mikroskopie (MOKE-Mikroskopie) (22).

Die Beschreibung dieses und weiterer Verfahren würden aber den Rahmen dieses Berichts bei weitem sprengen und soll deshalb einem weiteren Artikel vorbehalten bleiben.

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. 32). 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 (7) (siehe auch die Filme von der Papierherstellung auf den Webseiten von Louisenthal und EZB).

Abbildung 32: 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 (9). 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 (23).

2.3. Weitere Sicherheitselemente

In diesem Bericht sind nur einige wenige der tatsächlich vorhandenen Sicherheitselemente beschrieben worden, insbesondere die mikroskopisch zugänglichen. Man kann davon aus-

gehen, 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 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“.

3. Literatur und Quellen

Literaturverzeichnis

1. **Kremer, Bruno P.** Kleinigkeiten vom Kleingeld Teil 2: Euro-Banknoten. *Mikrokosmos.* 2014, S. 396-400.
2. **Hartmann, Stefan und Thiel, Christian.** *Der schöne Schein - Symbolik und Ästhetik von Banknoten.* Regenstauf : Gietl-Verlag, 2016. 1. Auflage.
3. **Zeitung, Süddeutsche.** http://www.sueddeutsche.de/geld/banknote-wo-der-neue-euro-schein-entsteht-1.2738017. [Online] [Zitat vom: 27. 07 2016.]
4. **EZB: Neue Eurobanknoten: Herstellung.** http://www.neue-euro-banknoten.eu/Euro-Banknoten/HERSTELLUNG. [Online] [Zitat vom: 30. 07 2016.]
5. **Papier, Giesecke & Devrient:.** [Online] [Zitat vom: 14. 06 2016.] https://www.gi-de.com/de/trends_and_insights/banknotendesign/substrat/substrate.jsp.
6. **EZB.** EZB-Webseite. [Online] 13. 06 2016. [Zitat vom: 13. 06 2016.] www.neue-euro-banknoten.eu.
7. **Banknotenpapier, Wikipedia Stichwort.** [Online]
8. **Wikipedia.** Wikipedia, Stichwort Sicherheitspapier. [Online]
9. **Louisenthal, Papierfabrik.** [Online] [Zitat vom: 14. 06 2016.] https://www.louisenthal.com/language/de/home-de/.
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. **Pfaff, Prof. Dr. G.** *Effektpigmente.* 2012. PDF.
15. **R. Maisch, F. Hofmeister.** *Microscopic Characterization of Automotive Finishes contatining Pearl Lustre Pigments.* Darmstadt. : Merck-Druckschrift o.J. , Merck-Druckschrift o.J. .
16. **Louisenthal.** https://www.louisenthal.com/language/de/home-de/produkte-und-losungen/sicherheitselemente/druckelemente/irisierende-druckelemente/. [Online]
17. **Suyver, Frank und Meijerink, Andries.** Europium beveiligt de Euro. *Chemisch2Weekblad.* 16.02.2002, S. 12-13, S. 12-13.
18. **Terbium.** http://www.chemicool.com/elements/terbium.html. [Online] [Zitat vom: 17. 07 2016.]
19. **Datenbank Fluorophores der TU Graz**. [Online] [Zitat vom: 29. 10 2016.] http://www.fluorophores.tugraz.at/substance/270.
20. **Wikipedia, Stichwort "Sicherheitsmerkmale von Bankonoten".** [Online]
21. **Wasserzeichen, N.N. Von Magnetismus und.** http://www.myeuro.info/note-tracking/seriennummer.php. [Online] [Zitat vom: 01. 11 2016.] http://www.myeuro.info/note-tracking/seriennummer.php.
22. **McCord, Jeffrey.** Progress in magnetic domain observation by advanced magneto-optical microscopy. *Journal of Physics D, Applied Physics 48 333001 (2015).* pdf liegt vor.

23. **Devrient, Giesecke &.** *Herstellung von Spezialpapieren zum Ursprungsnachweis mit elektrisch leitenden Merkmalsstoffen und Prüfung derselben. DE 19826800 A1* 1999.
24. **Geldscheine, Physik der.** [Online] 13. 06 2016. [Zitat vom: 13. 06 2016.] www.welt.de/wissenschaft/.
25. **Sicherheitspapiere, Multicommedia.** [Online] [Zitat vom: 13. 06 2016.] http://www.security-paper.com/de/security-printing/kopierschutz-scanschutz/die-eurion-konstellation.html.
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. **N.N.** Chaos Computer-Club. [Online] www.dasalte.ccc.de/colorcopy/index.html.de.
28. **Security-Paper.** [Online] Security Paper.
29. **Wikipedia, Stichwort Eurion-Konstellation.** [Online]
30. **Cotton, Simon.** Kap. 5.4.7 Euro Banknotes, S. 77. *Lanthanide and Actinide Chemistry.* s.l. : Wiley, 2006.
31. **Wikipedia: Stichwort OVI.** [Online] [Zitat vom: 15. 06 2016.] https://de.wikipedia.org/wiki/OVI_(Druck).
32. **Wikipedia, Stichwort Eurion-Konstellation.** [Online]
33. **Wikipedia (engl.) Stichwort security printing.** [Online] https://en.wikipedia.org/wiki/Security_printing#Security_threads.
34. **EU. PRADO Glossary**: Technical terms related to security. [Online]
35. **Hoffmüller, Winfried.** *Sicherheitselement mit Polarisationsmerkmal. WO2009095227* 2009.
36. **Devrient, Giesecke &.** *Sicherheitselement mit ausgerichteten Magnetpartikeln. WO2011/107271A1* 02. 03 2011.
37. **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.
38. https://www.fleur-de-coin.com/eurocoins/banknote-production. [Online] [Zitat vom: 18. 07 2016.]
39. http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/uebergangsmetalle_oxide/uebergangsmetalle_oxide.htm#3. [Online] [Zitat vom: 18. 07 2016.]
40. **Devrient, Giesecke &.** https://www.gi-de.com/gd_media/media/de/...1/notascan_mag.pdf. [Online] [Zitat vom: 29. 07 2016.]
41. https://www.physik.uni-kl.de/uploads/media/MOKE.pdf. [Online]
42. **Webseite der EZB - Filmmaterial**. [Online] [Zitat vom: 27. 09 2016.] http://www.neue-euro-banknoten.eu/Aktuelles-Veranstaltungen/Filmmaterial-f%C3%BCr-TV-Sender.

4. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: links Banknoten der neuen Serie. Der kleine scharze 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 6
Abbildung 4: Druckerpapier zum Vergleich 6
Abbildung 5: Papieroberfläche, Beschichtung (Auflicht-Hellfeld, DIK) 7
Abbildung 6: alter 5-Euro-Schein, links Wertzahl auf der Vorderseite im Auflicht, rechts Auf- und Durchlicht kombiniert. 8
Abbildung 7: mitte: Wasserzeichen auf der 5-Euro-Banknote, links das Original, das von einer griechischen Vase im Pariser Louvre entnommen wurde (rechts) (Quelle: EZB). 8
Abbildung 8: Detail des Hologramms auf der neuen 20-Euro-Note. Rechts: Gitterstruktur, erkennbar bei hoher Vergrößerung. 10
Abbildung 9: 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 11
Abbildung 10: 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 Konstraststeigerung mit ImageJ/CLAHE-Filter (Local Contrast Enhancement). 11
Abbildung 11: Spektrometer-Aufbau. Beschreibung im Text. 12
Abbildung 12: Die 20-Euro-Banknote als Spektrometer. Rechts die Nullte Ordnung, in der Mitte das Spektrum des groben Teilgitters, links das des feinen Gitters. 13
Abbildung 13: Hologramm auf der 5-Euro-Note (Zeiss Epiplan Neofluar 50x/0,80, Optovar 1,6x) 14
Abbildung 14: Farbig markierte Fläche aus Abb. 8. Auflicht Pol. Links und rechts jeweils gleicher Bildausschnit, jedoch unterschiedlich zur Pol-Ebene orientiert. 15
Abbildung 15: Iriodinstreifen im Auflicht 16
Abbildung 16: Lidschatten “Eye Shadow Colourize Powder Shadow "Lily of the Valley", The Boots Co., UK”. Gleiche Vergrößerung und Auflichtbedingungen wie Abb. 13. 16

Abbildung 17: Iriodinstreifen im Durchlicht, die Glimmerpartikel erscheinen hier bläulich. Eingelagert rundliche Körner. 17
Abbildung 18: Überlagerung Durchlicht und 365-nm-Auflichtfluoreszenz. 18
Abbildung 19: Emissionsspektrum bei 365-nm-Anregung, Zeiss Filtersatz 02 18
Abbildung 20: Die Smaragdzahl“: Farbverlauf 19
Abbildung 21: glänzender Streifen in der Mitte der Ziffer. Orientierung der Plättchen parallel zur Papieroberfläche. 20
Abbildung 22: dunkler Bereich im oberen Viertel der Ziffer. Schräg bis senkrecht stehende Plättchen. Zeiss Epiplan-Neofluar 20x/0,50 Auflicht-Hellfeld, Abb. 21 und 22 unter jeweils gleichen Bedingungen. 20
Abbildung 23: Ausrichtung magnetischer Partikel in der noch flüssigen Druckfarbe 21
Abbildung 24: Gelbe-Ringe. Links Farbbild, rechts Blau-Auszug 21
Abbildung 25: UV-A-Bild. EURION-Konstellationen mit Verbindungslinien hervorgehoben. 22
Abbildung 26: Rote Fluoreszenz bei UV-Anregung mit 365 nm, Emissionsmaximum 611 nm 23
Abbildung 27: Grüne Fluoreszenz der OMRON-Ringe bei UV-Anregung. Emissionsmaximum 540 nm 23
Abbildung 28: Melierfasern der ersten EURO-Serie im UV-A (365 nm) 24
Abbildung 29: Melierfasern der zweiten EURO-Serie: abschnittsweise gefärbte Faserstücke. 25
Abbildung 30: Mikroschrift. Links 0,3 mm, rechts 0,2 mm Höhe – nicht mehr mit bloßem Auge lesbar. 25
Abbildung 31: Bilder mit der Handykamera: links ohne, rechts mit Infrarotfilter 26
Abbildung 32: Sicherheitsfaden 27

Stand: 04.11.2016