

Oberflächenklassifikation anhand von Farbstrukturen - Probleme und Lösungsmöglichkeiten in der Holzverarbeitenden Industrie

Burkhard Plinke

Fraunhofer-Institut für Holzforschung – WKI
Bienroder Weg 54E
38108 Braunschweig
Email: pli@wki.fhg.de

Abstract: Quality assurance in the wood products industry comprises tasks like the identification of different decors or the measurement of discolorations on decorated surfaces. These tasks do not require a complete surface scan but a high color sensitivity. Therefore camera sensors and image processing systems are often not suitable. As an alternative color sensors can be used which are integrated in a PC module. The sensor and a light source is connected to a measuring head positioned closely above the moving surface on a conveyor belt using a fibre optic bundle, and thus a line scan can be obtained. WKI developed a system capable to solve identification tasks (e.g. for floor products) with a low-cost sensor and a fuzzy-based computation method. Preliminary investigations show that discolorations on decorated board products (e.g. caused by temperature deviations in the press) can be detected using a similar set-up but using UV light and a spectroscopic sensor with a high resolution in the wavelength spectrum. Due to very different tasks in the industry initial studies are recommended before an application is designed.

Probleme der Farbmessung in der Holzbranche

In der Holzwerkstoff- und Möbelindustrie gibt es verschiedene Aufgabenstellungen bei der Qualitätssicherung, die durch Farbsensoren gelöst werden könnten:

- Unterscheidung von Dekoren in der automatisierten Fertigung
- Messung von Farbabweichungen an Oberflächen mit farblicher Struktur
- Prüfung von Labormustern folienbeschichteter Möbelplatten
- Klassifikation von Furnierblättern

Bisher gab es jedoch keine ausreichenden Möglichkeiten, Farbstrukturen an Plattenwerkstoffen im Durchlauf preiswert und mit ausreichender Empfindlichkeit zu charakterisieren. Spezielle Lösungen für die Holzwerkstoffindustrie wurden nicht angeboten. Berührende Spektrometer sind zwar empfindlich, tasten jedoch nur einen Messpunkt ab. Farbkameras bieten nicht die erforderliche Empfindlichkeit und erfassen zudem eine ganze Oberfläche, was für die genannten Probleme aber meistens nicht erforderlich ist.

Allen Aufgabenstellungen ist gemeinsam, dass an ebenen Werkstoffoberflächen bzw. Schmalflächen im Durchlauf eine möglichst grosse Zahl von Messpunkten mit ausreichend hoher Empfindlichkeit aufgenommen und zur Beurteilung der jeweiligen Oberfläche herangezogen werden soll, jedoch die Oberfläche nicht als ganzes erfasst werden muss. Für Letzteres eignen sich Zeilen- oder Flächenkameras, meist in Verbindung mit einem Bildspeicher und mit Bildverarbeitungsalgorithmen. Im Gegensatz dazu befasst sich dieser Beitrag mit Anwendungsmöglichkeiten für Farbsensoren, die nur einen Messpunkt an einer gleichförmig bewegten Oberfläche erfassen und platzsparend in der Fertigung eingesetzt werden können.

Farbmessverfahren für ebene Oberflächen

Grundlage der industriellen Farbmessung ist das in ISO 7724 und DIN 5033 niedergelegte CIELAB-System: Das bei einer gegebenen Messgeometrie (räumliches Verhältnis zwischen auf eine Oberfläche einfallendem und reflektiertem Licht) und gegebener Lichtart (Glühlampenlicht, künstliches oder natürliches Tageslicht) messbare Spektrum wird charakterisiert in Form dreier dem menschlichen Empfinden entsprechender Raumkoordinaten L^* (Helligkeit), a^* (grün-rot) und b^* (blau-gelb). Für Absolutmessungen mit handelsüblichen Farbmessgeräten an farbigen Oberflächen wird eine Messkammer (Ulbrichtsche Kugel) auf die Fläche aufgesetzt und die Messung von Hand ausgelöst und im Rechner weiterverarbeitet. Dabei werden Kalibrierung und Lichtart berücksichtigt und die Messwerte als L^* , a^* - und b^* -Komponente oder als Differenz (ΔL) zu einer Referenzmessung ausgegeben. Die Messgeometrie ist so gewählt, dass über eine Fläche von etwa 2 cm^2 gemittelt und nur diffus reflek

tiertes Licht gemessen wird. Dieses Messprinzip ist zwar genau und allgemein verbreitet, eignet sich aber nicht für Online-Messungen an bewegten Platten.

Bei berührunglos arbeitenden Sensoren ist entweder die Messkammer zur Oberfläche des Prüflings hin offen, oder das Licht wird über ein Lichtleitkabel und eine Fokussierlinse eingestrahlt und das reflektierte Licht wird über ein zweites Lichtleitkabel zum Detektor geführt und dort analysiert. Dabei entsteht allerdings eine andere Messgeometrie, was durch entsprechende Kalibrierung und die Unterdrückung von Glanzeffekten und Fremdlichteinflüssen wieder ausgeglichen werden muss.

Das empfangene Licht kann zur Bestimmung der CIELAB-Komponenten entweder über Farbfilter aufgespalten und auf verschiedene Detektoren gelenkt werden (Dreibereichssensor) oder mit einem optischen Gitter in sein Spektrum zerlegt und dessen Helligkeitsprofil mit einer Diodenzeile gemessen werden (Spektrophotometer). Dreibereichssensoren haben eine kurze Ansprechzeit, sind preisgünstig und einfach in der Signalverarbeitung zu handhaben. Spektrophotometer bieten den Vorteil der höheren spektralen Empfindlichkeit, erfordern aber umfangreichere Software z.B. für die Auswertung von Spektrenserien. In den letzten Jahren werden auf diesem Gebiet laufend empfindlichere Produkte angeboten. Ein neuartiges Konzept für schnelle Farbsensor-Arrays sieht vor, 64 Diodensensoren als Zeile oder Rhombus direkt auf dem Chip anzuordnen und diese durch Interferenzfilter selektiv für Rot, Grün oder Blau empfindlich zu machen. Damit wären Abtastraten von bis zu 10 kHz möglich [Frank u.a. 1999], was eine Prüfung von Werkstoffplatten mit Farbstrukturen im Durchlauf ermöglichen würde.

Farbmessprobleme in der laufenden Produktion sind in der Holzbranche weitgehend ungelöst. Für die manuelle Sortierung von Eichenschnittholz, aus dem durch Verleimung der Schmalseiten Platten hergestellt werden, wurde empfohlen, die übliche rein manuelle Sortierung durch ein tragbares Farbmessgerät zu unterstützen. Es konnte nachgewiesen werden, dass nach einer Vorsortierung mit Hilfe des Farbmessgerätes (L^* -Wert) in zwei Klassen die anschließende manuelle Sortierung effizienter war und höherwertige Produkte hergestellt werden konnten [Pugel u.a. 1995]. Sensorsysteme, die eine schnellere Datenakquisition bieten als ein handgeführtes Farbmessgerät, jedoch keine Flächenkameras mit entsprechendem Hardwareaufwand verwenden, werden in der Holzwerkstoffbranche bisher jedoch nicht eingesetzt. Im Fraunhofer WKI wurden daher aufgrund vieler Anfragen aus der Branche Voruntersuchungen zu den eingangs beschriebenen Problemstellungen durchgeführt und Lösungsvorschläge entwickelt. Für drei Probleme aus der industriellen Praxis zeichnen sich bereits mögliche Lösungen ab:

Unterscheidung von Dekoren

Bei der industriellen Möbelfertigung handelt es sich um weitgehend automatisierte Vorgänge, bei denen jedoch immer wieder Teile (Kantendekore, beschichtete Platten) der jeweils nächsten Station manuell zugeführt werden müssen. Dabei sind Verwechslungen nicht auszuschließen, so dass an verschiedenen Stellen das an einer Plattenoberfläche oder Schmalfläche bereits aufgebrachte Dekor zur Prüfung identifiziert werden muss. Zu erkennen sind nicht die Farbabweichungen oder Oberflächenfehler, sondern lediglich, um welches Dekor aus der im Werk gefertigten Produktpalette es sich handelt. Typisch für die Möbelfertigung sind Holzdekore, aber auch kleinteilig texturierte Motive, z.B. Marmornachbildungen oder aber Bildmotive mit einer großen Rapportlänge ähnlich wie bei Tapeten kommen vor. Dies ist ein Problem der Mustererkennung, denn es reicht nicht aus, nur einen mittleren Farbton zu bestimmen, sondern auch die Farbstruktur ist anhand statistischer Merkmale zu charakterisieren und zu klassifizieren. Für dieses Problem gibt es bisher keine automatische Lösung, so dass man sich in der Praxis auf visuelle Prüfungen beschränkt oder ganz darauf verzichtet.

Zur Lösung kann ein preiswerter Farbsensor mit integrierter Beleuchtung und analogen Ausgängen eingesetzt werden, der die Oberfläche des Prüflings über eine Faseroptik in Transportrichtung abtastet. Der Signalverlauf dreier Messkanäle (z.B. Hell/dunkel-, grün/rot-, gelb/blau-Anteil, Abb. 1) wird im Rechner aufgezeichnet und danach durch beschreibende Statistik ausgewertet. Deren Kenngrößen (z.B. Mittelwert und Variationskoeffizient) bilden einen Merkmalsvektor und werden einem Klassifikationsalgorithmus zugeführt. Nach dem Prinzip der Fuzzy-Logik wird ermittelt, zu welcher aus einer vorgegebenen Anzahl von Klassen dieser Merkmalsvektor mit der größten Wahrscheinlichkeit gehört. Die Zugehörigkeitsfunktionen des Fuzzy-Klassifikators werden dabei so parametrisiert, dass die Dekore auch dann identifiziert werden können, wenn die Messspur verschoben wird.

Das Verfahren zur Dekorunterscheidung wurde zur Demonstration auf der Hannover-Messe 2000 in einem PC mit Datenerfassungskarte realisiert und ist zum Patent angemeldet. Abb. 2 zeigt den Messkopf, der auf einer mit Dekor beschichteten Platte auf einem Förderband aufsetzt. Die Erkennungssicherheit und die Anzahl der erkennbaren Dekore hängen ab von der Transportgeschwindigkeit, der Länge der verfügbaren Messstrecke auf der Oberfläche und der Beschaffenheit der Farbstrukturen, insbesondere der Größe der Texturelemente. Nach bisherigen Erfahrungen können bei einer Geschwindigkeit von etwa 30 m/min Dekore ähnlich gut wie durch den Augenschein unterschieden werden. Abb. 3 zeigt eine Auswahl unterscheidbarer Dekore. Um eine werksspezifische

sche Aufgabenstellung zu lösen, ist zunächst eine Test- und Lernphase mit allen in Frage kommenden Dekoren am Demonstrationsaufbau des WKI erforderlich.

Erkennung von Farbabweichungen an Holzdekoren

Rohplatten für die Herstellung von Möbeln oder Laminatböden werden meist mit vorgefertigten Dekorfolien beschichtet, danach folgen Format- und Kantenbearbeitung. Nach dem Beschichtungsvorgang ist es sinnvoll, die Platten vor weiterer Wertschöpfung auf Farbabweichungen zu prüfen. Abweichungen von der gewünschten Farbstruktur können bereits in der Folie vorhanden sein oder durch Temperaturabweichungen in der Heißpresse entstehen. Sie äußern sich durch mehr oder weniger starke Verschiebungen des mittleren Farbeindrucks, die punktweise messbar sind, aber von der Struktur (oft lebhaft wirkendes Holzdekor) überlagert sind. Typisch für Farbabweichungen der Folie sind beleuchtungsabhängige Änderungen bei rötlichen Farbtönen; temperaturbedingte Verfärbungen zeigen sich als milchige Überlagerungen des Dekorbildes. Bisher gibt es keine Möglichkeit, solche Farbabweichungen mit anderen Mitteln als visuell an Stichproben oder aber durch zeitaufwendige punktweise Messungen mit einem Spektrometer zu erkennen.

An Laminatböden, die vermutlich wegen temperaturbedingter Beschichtungsprobleme bläulich-milchig verfärbt erschienen, wurde gezeigt, dass diese Verfärbung bei UV-Beleuchtung sehr deutlich nachgewiesen werden kann. Dazu wurde ein mit einem Lichtleiter gekoppeltes, auf einer PC-Karte integriertes Spektrometer verwendet, das einen großen Spektralbereich erfasst. Abb. 4 zeigt zwei Reflexionsspektren, die durch Anregung mit einer UV-Lampe gewonnen wurden. Dabei wurden der einstrahlende und der empfangende Lichtleiter jeweils unter demselben Winkel auf die Oberfläche gerichtet, die gezeigten Spektren sind Mittelwerte aus mehreren Messpunkten. Der Unterschied zwischen dem Spektrum der unverfärbten (schwarz) und der verfärbten Platte (grau) im Wellenlängenbereich um etwa 400 nm (sichtbares Blau) ist nur gering, während er von etwa 200 nm bis 400 nm (entsprechend dem für den Menschen nicht sichtbaren UV-Bereich) deutlich ausgeprägt ist. Dieses Messverfahren dürfte gut automatisierbar sein, zu entwickeln wäre aber ein geeigneter Sensorkopf, der eine konstante Messgeometrie aufweist und Störeinflüsse ausschließt.

Produktionskontrollen bei der Beschichtung von Möbelplatten

Folienbeschichtete Möbelplatten werden zur Produktionskontrolle einer visuellen Prüfung bei Norm-Tageslicht in einer Prüfkammer unterzogen. Dabei wird ein Vergleich zwischen einem Urmuster oder mit einer beim Beginn einer Charge gezogenen Probe und dem aktuellen Material durchgeführt und mehrmals täglich wiederholt. Solche Prüfungen werden bisher nicht automatisiert, da wegen der färblichen Strukturierung der Dekore Farbabweichungen nur bei Mittelung über eine Fläche und durch einen direkten Vergleich zweier Proben erkannt werden können. Sie können auch nicht ausführlich dokumentiert werden, so dass für Vergleiche über einen längeren Zeitraum hinweg oder zur Rückverfolgung von Reklamationen Proben aufbewahrt werden und gegebenenfalls wieder herangezogen werden müssen.

Zur Orientierung wurden mit dem Auge gerade noch erkennbare Farbabweichungen an Möbeldekoren mit einem handgeführten Spektrometer bei normierter Messgeometrie und Beleuchtung untersucht. An zwei Dekoren aus unterschiedlichen Chargen konnte der Farbeindruck anhand der $L^*a^*b^*$ -Werte nach CIE unterschieden werden, allerdings nur bei Mittelung über ausreichend viele Messpunkte im gleichen Ausschnitt des Dekorbildes. Dabei lag die Standardabweichung der Messwerte innerhalb eines Dekores in der gleichen Größenordnung wie die Abweichung der gemittelten Messwerte zwischen beiden Mustern. Dies zeigt, dass genaue Labormessungen an strukturierten Dekoren möglich und sinnvoll sind, aber eine geeignete Strategie zur automatischen Datenerfassung entwickelt werden muss.

Online-Prüfung an Beschichtungsfolien

Die Verarbeiter von Beschichtungsfolien vermuten, dass nicht nur der Beschichtungsprozess und die Rohplatten, sondern auch bereits die Beschaffenheit der angelieferten Folien eine Ursache für Farbabweichungen sein kann. Daher kann auch eine Prüfung der Folien nach der Herstellung oder vor der Beschichtung sinnvoll sein. Auch dazu wurden im WKI bereits erste Erfahrungen gesammelt.

Muster mit Holzdekoren von einem Folienhersteller wurden mit dem gleichen Spektrometer wie im Beispiel der Laminatböden untersucht. Dabei wurden auf visuell unterschiedlich begutachteten Proben an jeweils sechs entsprechenden Punkten des Dekorbildes Spektren gemessen und im Rechner gespeichert. Als Beleuchtungsquellen wurden eine Halogenlampe und eine UV-Lampe kombiniert. Bei je zwei verschiedenen Serien (Produktionschargen) von Ahorn- bzw. Buchendekoren wurden je Dekor sechs Spektren an vergleichbaren Punkten im Dekorbild gemessen und über die Dekore und Chargen gemittelt. Abb. 5 zeigt die gemittelten Spek

tren für die beiden Serien der Ahorndekore, Abb. 6 die Spektren der Buchendekore. Die Abweichungen sind an einer Verschiebung des Spektrums auf der Intensitätsachse erkennbar, die bei den Buchendekoren stärker ausgeprägt ist und sich über einen größeren Wellenlängenbereich erstreckt als bei den Ahorndekoren. Die mit dem Auge nur noch schwer erkennbaren Abweichungen können also durch die Messung nachgewiesen werden.

Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass es sich hier nur um Relativmessungen handelt, die wesentlich beeinflusst sind durch die Messgeometrie (Einfallswinkel des Lichtes, Abstand zur Oberfläche) und das Spektrum des anregenden Lichtes. Werden diese Einflüsse konstant gehalten bzw. durch Kalibrierung kontrolliert, so sind differenzierte Messungen möglich. Zusätzlich ist die durch das Dekorbild gegebene Variation der Spektren zwischen den Messpunkten zu berücksichtigen, so dass für eine Produktionsüberwachung nur über eine ausreichend große Messstrecke gewonnene Mittelwerte bewertet werden können. Dies kann aber durch entsprechende Datenverarbeitung im angeschlossenen PC erreicht werden.

Klassifikation von Messerfurnieren

Messerfurniere werden durch Schneiden in Richtung der Achse des Furnierstammes erzeugt, wieder zusammengelegt und als Stapel im Möbelwerk angeliefert. Da es sich hier um sehr hochwertiges Material mit hohem dekorativem Wert handelt, werden die Stapel zunächst nach der Außenkontur vermessen und danach visuell begutachtet, um ein einheitliches Furnierbild und einen homogenen Farbeindruck der Produkte sicherzustellen. Während die Ästhetik der Holzstruktur sich einer rechnerischen Klassifikation entzieht, ist der homogene Farbeindruck über eine Produktionscharge durchaus ein wichtiges Merkmal der Qualitätssicherung. Die Aufgabenstellung ist ähnlich anspruchsvoll wie die Erkennung von Farbabweichungen an Holzdekoren. Ziel ist, den Sortierern im Werk eine objektive Maßzahl für den mittleren "Farbwert" eines Furnieres zu liefern und nach einstellbaren Kriterien zusammenpassende Furniere zu ermitteln. Soweit bekannt, gibt es bisher jedoch noch keine Ansätze, kameralose Farbmesssysteme zur Sortierung von Messerfurnieren einzusetzen.

Ausblick

Die orientierenden Versuche zeigen, dass sich für einige bisher offene Probleme bei beschichteten Holzwerkstoffen messtechnische Lösungen abzeichnen.

Noch offen und in einem geplanten Forschungsvorhaben jeweils anwendungsspezifisch zu untersuchen sind aber z.B. folgende Fragen:

- Welche Sensorik (Dreibereichssensor, Spektrometer oder ein anderes Farbmessprinzip) eignet sich hinsichtlich Empfindlichkeit und spektraler Auflösung für das jeweilige Problem?
- Wie viele Messwerte je Prüfling sind bei welcher Datenrate zur Lösung der jeweiligen Prüfaufgabe erforderlich?
- Welche Eigenschaften der Messsignale eignen sich als Kriterien für eine Gut/Schlecht-Entscheidung bzw. eine Klassifikation verschiedener Farbmuster?

Im WKI steht die für Versuche und Entwicklungen erforderliche Ausrüstung zur Verfügung, insbesondere ein Förderband für Untersuchungen an Plattenwerkstoffen im Durchlauf. Aufgrund der bereits vorliegenden Versuchsergebnisse und aufbauend auf den bereits gesammelten Erfahrungen in der Branche könnten problemspezifische Lösungen mit überschaubarem Zeit- und Kostenaufwand entwickelt werden.

Literatur

- Frank, M.; Kaiser, N.; Buß, W.; Eberhardt, R.; Fritsch, U.; Kriegel, B.; Mollenhauer, O.; Röder, R.; Woldt, G.: High-speed industrial color and position sensors. In: Sensors, Cameras, and Systems for Scientific/Industrial Application. SPIE Proceedings Series 3649, 1999, S. 50-57
- Plinke, B.: Kritische Augen mit dem schnellen Farbblick : Für die Online-Farbanalyse an Holzprodukten und Holzoberflächen stehen eine Reihe unterschiedlicher Methoden zur Auswahl. In: Holz-Zentralblatt 125 (1999), Nr. 106, S. 1386
- Plinke, B.; Woyde, H.: Identifikation von Farbstrukturen mit einfachem Farbsensor und Fuzzy-Klassifikator. WKI-Kurzbericht Nr. 8/2000
- Pugel, A. D.; Phelps, J. E.; Stokke, D. D.: Improving visual color sorting of dimension stock. In: Forest Products Journal 45 (1995) Nr. 11/12, S. 57-60

Abbildungen

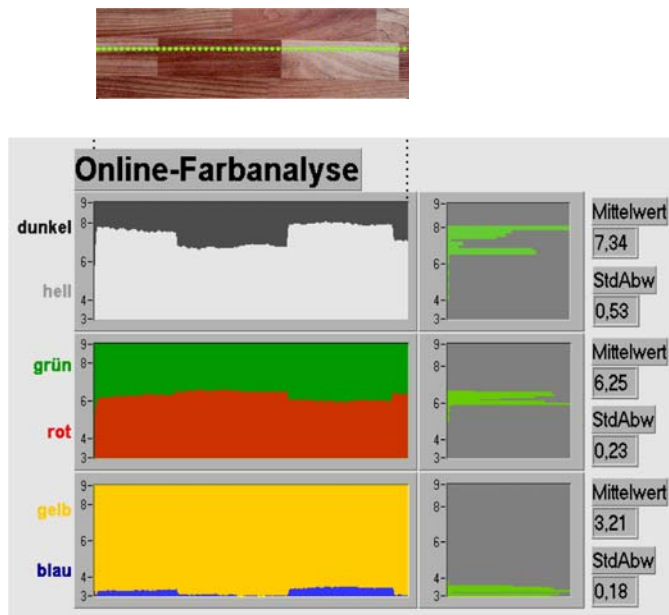


Abb. 1: Messspur und Farbverlauf auf einem Holzdekor



Abb. 2: Messkopf für Online-Farbmessungen an Plattenoberflächen



Abb. 3: Auswahl unterscheidbarer Dekore

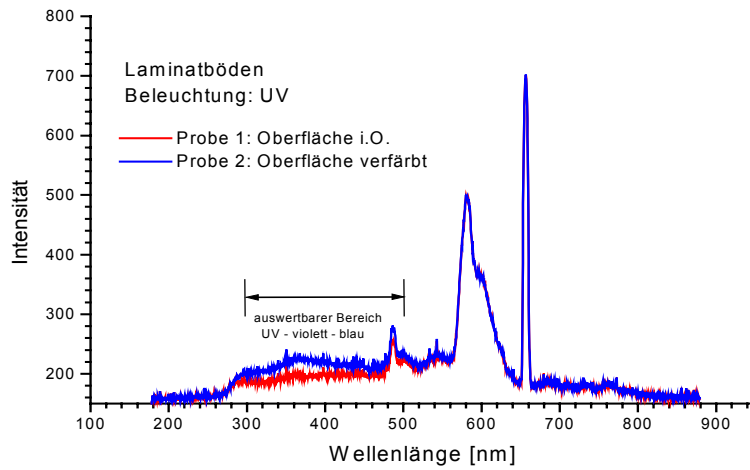


Abb. 4: Spektren zweier farblich abweichender Fußbodenplatten

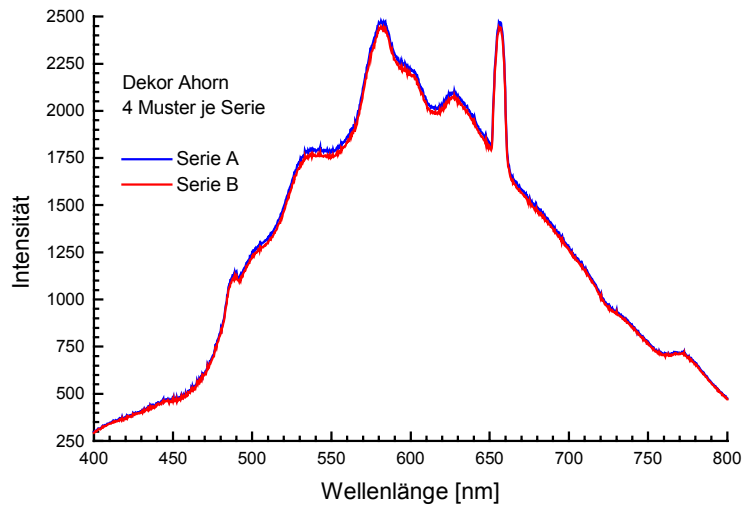


Abb. 5: Spektren farblich abweichender Ahorndekore

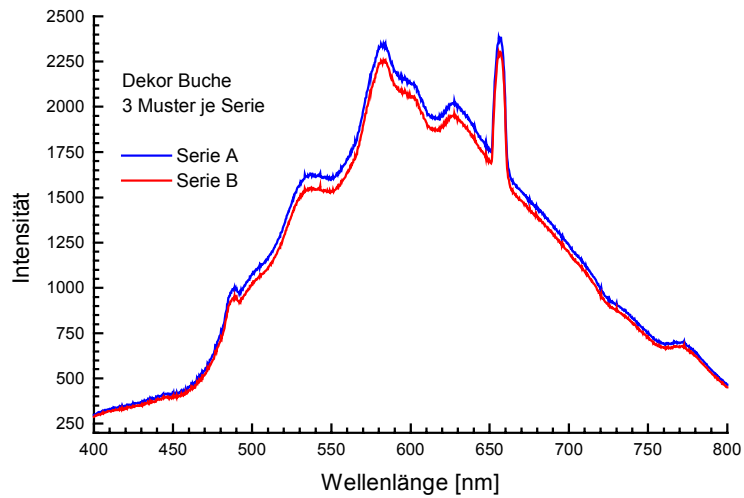


Abb. 6: Spektren farblich abweichender Buchendekore