(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
28. April 2011 (28.04.2011)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2011/048147 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01J 3/46 (2006.01) *G06T 7/40* (2006.01)
G01N 33/32 (2006.01) *G01N 21/88* (2006.01)
G01N 21/57 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2010/065800

(22) Internationales Anmeldedatum:
20. Oktober 2010 (20.10.2010)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2009 050 075.8
20. Oktober 2009 (20.10.2009) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **BASF Coatings GmbH** [DE/DE]; Glasuritstr. 1, 48165 Münster (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **WIGGER, Georg** [DE/DE]; Schlossfeld 80, 48308 Senden (DE). **BORNEMANN, Christian** [DE/DE]; Hammerstr. 154, 48153 Münster (DE). **RAUPACH, Ingo** [DE/DE]; Bainingstr. 69, 48165 Münster (DE). **BRIESENICK, Daniel** [DE/DE]; Toppheideweg 20, 48161 Münster (DE).

(74) Anwalt: **LEIFERT & STEFFAN**; Postfach 10 40 09, 40031 Düsseldorf (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

— *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)*

(54) **Title**: METHOD FOR MEASURING THE CLOUDINESS OF PAINTS ON TEST TABLES

(54) **Bezeichnung** : VERFAHREN ZUR MESSUNG DER WOLKIGKEIT VON LACKIERUNGEN AUF PRÜFTAFELN

(57) **Abstract**: The invention relates to a method for measuring the cloudiness of paints on test tables by measuring each of the color coordinates L*, a*, and b* on at least 100 different measuring sites on the test table at at least 3 different observation angles w in each case, wherein (i) a Gaussian smoothing filter is used on every group n of measured values, which are obtained at a determined observation angle w for a determined color coordinate F* (F* = L*, a*, or b*) at different measuring sites with the site coordinates (x, y) so that smoothed measured values n_g are obtained; (ii) a Sobel operator is used for every group n_g of smoothed measured values so that partial dLab* values and dLCH* values are obtained; (iii) the partial hue distances of every measured point to measured points adjacent thereto are calculated from the obtained partial dLab* values and dLCH* values using a hue distance formula; (iv) a non-maximum suppression is used on the measured partial hue distances so that corrected partial hue distances are obtained, and (v) the corrected partial hue distances obtained in this manner are used to calculate the homogeneity index HI HI = HI = 1n $\sum$ dE' dE'>0.35, with dE' = hue distance, and said index is used as the measurement for the cloudiness of the paint.

(57) **Zusammenfassung**: Verfahren zur Messung der Wolkigkeit von Lackierungen auf Prüftafeln unter Messung der Farbkoordinaten L*, a* und b* an jeweils mindestens 100 verschiedenen Messorten auf der Prüftafel unter jeweils mindestens 3 verschiedenen Beobachtungswinkein w, wobei (i) auf jede Gruppe n von Messwerten, die unter einem bestimmten Beobachtungswinkel w für eine bestimmte Farbkoordinate F* (F* = L* a* oder b*) an verschiedenen Messorten mit den Ortskoordinaten (x, y) erhalten wurden, ein Gauß'sches Glättungsfilter angewendet wird, so dass geglättete Messwerte n_g erhalten werden, (ii) auf jede Gruppe n_g von geglätteten Messwerten ein Sobel-Operator angewendet wird, so dass partielle dLab*-Werte und dLCH*- Werte erhalten werden, (iii) aus den erhaltenen partiellen dLab*-Werte und dLCH*- Werten die partiellen Farbtonabstände jedes Messpunkts zu seinen benachbarten Messpunkten mit Hilfe einer Farbtonabstandsformel berechnet werden, (iv) auf die ermittelten partiellen Farbtonabstände eine Non-maximum-Suppression angewendet wird, so dass korrigierte partielle Farbtonabstände erhalten werden, und (v) aus den so erhaltenen korrigierten partiellen Farbtonabständen der Homogenitäts-Index HI HI = HI = 1n $\sum$ dE' dE'>0,35 mit dE' = Farbtonabstand berechnet wird und als Maß für die Wolkigkeit der Lackierung dient.

WO 2011/048147 A1

Verfahren zur Messung der Wolkigkeit von Lackierungen auf Prüftafeln

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Messung der Wolkigkeit von Lackierungen auf Prüftafeln. Die Erfindung betrifft weiterhin die Verwendung des Verfahrens zur Messung der Wolkigkeit von Automobil-Lackierungen.

Bei einer Lackierung, insbesondere bei einer Automobillackierung, stellt die Oberflächenqualität neben den klassischen Gebrauchseigenschaften wie Steinschlagfestigkeit, Chemikalienbeständigkeit und Kratzfestigkeit das primäre Qualitätskriterium dar. Sie kann insbesondere im Automobilsektor die Kaufentscheidung des Kunden stark beeinflussen, denn die lackierte Oberfläche ist zusammen mit der Form ausschlaggebend für den ersten Eindruck, den der Kunde zum Beispiel von seinem neuen Auto gewinnt.

Für die Entwicklung und Qualitätskontrolle von Lacken und Applikationsverfahren ist es daher erforderlich, die Oberflächenqualität der damit erzielbaren Lackierungen zu analysieren. Zu diesem Zweck werden in der Regel Probebeschichtungen hergestellt, für die sich die Bezeichnung "Prüftafel" eingebürgert hat, da der probeweise beschichtete Gegenstand häufig plattenförmig ist. Es gibt jedoch auch verschieden stark gekrümmte "Prüftafeln", z.B. wenn Teile von Autokarosserien verwendet werden oder wenn gerade die Lackeigenschaften in Krümmungszonen untersucht werden sollen.

Ein wichtiger Faktor der Oberflächenqualität einer Lackierung ist das Ausmaß ihrer Wolkigkeit. Unter der Wolkigkeit einer Lackierung versteht man nach EN ISO 4618:2006 das uneinheitliche Aussehen einer Lackierung, verursacht durch unregelmäßige, willkürlich auf der Oberfläche verteilte Bereiche, die sich in Farbe und/oder Glanz unterscheiden. Eine derartige, fleckenähnliche Inhomogenität stört den gleichmäßigen Gesamteindruck der Lackierung und ist in der Regel unerwünscht. Die unerwünschte Wolkigkeit der Lackierung kann beispielsweise durch die Eigenschaften der verwendeten Beschichtungszusammensetzung (Lack) und/oder des angewendeten Applikationsverfahrens bedingt sein.

Daher ist es erforderlich, bei der Entwicklung und Qualitätskontrolle von Lacken und Applikationsverfahren die Wolkigkeit der damit erzielten Lackierungen zu analysieren.

Aus dem Stand der Technik sind dazu verschiedene Methoden bekannt. Üblicherweise erfolgt eine visuelle Beurteilung der Wolkigkeit unter definierten Lichtverhältnissen. Der Prüfer versucht hierbei zum Beispiel, verschiedene Basislackfarben und/oder Muster gleicher Farbe zu benoten oder in eine Reihenfolge zu sortieren. Dazu muss er die Prüftafeln mit den entsprechenden Lackierungen unter verschiedenen Winkeln betrachten, die Helligkeits- und Farbunterschiede unter jedem Winkel bewerten, und anschließend sein Gesamtergebnis festlegen. Dieser Prozess ist sehr fehleranfällig und führt häufig zur Falschbewertung von Lackmustern. Gerade die Bewertung der Farbtonstabilität (Farbkoordinaten a^*, b^*) ist visuell nur sehr schwer möglich, wohingegen Helligkeitsunterschiede (Farbkoordinate L^*) visuell besser wahrgenommen werden können.

In der Patentanmeldung WO 98/14778 A1 wird ein Verfahren zur Vermessung von lackierten Prüftafeln beschrieben, wobei die Prüftafeln von einer Greif- und Bewegungsvorrichtung, beispielsweise einem Labor-Roboter, in eine Messstation überführt werden. In der Messstation wird durch den Labor-Roboter mit verschiedenen Messgeräten eine Vermessung unterschiedlicher Eigenschaften der Beschichtung durchgeführt. Beispielsweise können Schichtdicke, Verlauf, Farbton, die Farbkoordinaten L^* (Helligkeit), a^* (Rot-Grün), b^* (Gelb-Blau), Härte, Haze und/oder der Glanz der Prüftafeln vermessen werden. Soll beispielsweise die Wolkenbildung bei Metallic-Lackierungen bestimmt werden, so ist es gemäß der WO 98/14778 A1 von Vorteil, ein Farbmessgerät zu benutzen, welches die Farbkoordinaten L^*, a^*, b^* liefert, bevorzugt unter verschiedenen Beobachtungswinkeln. Im Ausführungsbeispiel der WO 98/14778 A1 wird anhand der Messung der Helligkeit (Farbkoordinate L^*) von Lackfilmen gezeigt, dass die zwar visuell deutlich wahrnehmbaren Unterschiede in der Wolkigkeit zwischen den Lackfilmen unter einem Beobachtungswinkel von 25° jedoch nicht detektiert werden konnten, sondern erst unter Beobachtungswinkeln von 45° und/oder 75°. Dieses Ergebnis belegt laut WO 98/14778 A1 die Notwendigkeit einer vollständigen Messdatenbestimmung. Es wird in der WO 98/14778 A1 jedoch nicht dargelegt, auf welche Weise die Wolkigkeit

einer Beschichtung nun zuverlässig detektiert werden kann. Insbesondere wird nicht dargelegt, wie aus der vorgeschlagenen "vollständigen Messdatenbestimmung" ein Maß für die Wolkigkeit der Beschichtung erhalten werden kann.

Voyé (Farbe und Lack (2000), 106 (10), S. 34 - 40) stellt ebenfalls die Existenz dieses Problems fest. Der Artikel beschreibt ein automatisiertes Analysesystem zur Bestimmung von Oberflächendaten wie z.B. der Helligkeit (Farbkoordinate L) und Bewertung von Lackoberflächen. Hiermit können insbesondere Lackchargen überprüft werden. Eine visuell erkennbare Wolkenbildung wird jedoch in dem automatisierten Verfahren noch nicht ausreichend erkannt (S.39, letzter Absatz). Insbesondere die Entwicklung geeigneter Auswertungs-Algorithmen zur Analyse der Oberflächenmessdaten stellt daher eine weitere Herausforderung dar (S. 40, letzte Spalte). Die bekannten Verfahren zur instrumentellen Beurteilung der Wolkigkeit liefern also noch keine zuverlässigen und zufrieden stellenden Ergebnisse.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung war es daher, das seit langem bekannte Problem zu lösen und ein Verfahren bereitzustellen, mit dem die Wolkigkeit von Lackierungen auf Prüftafeln instrumentell bestimmt werden kann. Das Verfahren soll insbesondere zur Messung der Wolkigkeit von farbgebenden und von effektgebenden Lackierungen, wie z.B. Metallic-Lackierungen, geeignet sein. Weiterhin soll das Verfahren automatisierbar sein und eine hohe Reproduzierbarkeit der Ergebnisse aufweisen.

Diese Aufgabe wird überraschenderweise durch ein Verfahren zur Messung der Wolkigkeit von Lackierungen auf Prüftafeln mittels Messung der Farbkoordinaten L^*, a^* und b^* an jeweils mindestens 100 verschiedenen Messorten auf einer Prüftafel unter jeweils mindestens 3 verschiedenen Beobachtungswinkeln w, wobei

(i) auf jede Gruppe n von Messwerten, die unter einem bestimmten Beobachtungswinkel w für eine bestimmte Farbkoordinate F^* ($F^* = L^*$, a^* oder b^*) an verschiedenen Messorten mit den Ortskoordinaten (x, y) erhalten wurden, das Gauß´sche Glättungsfilter mit der Formel

$$G = \frac{1}{25}\begin{bmatrix} 1 & 3 & 1 \\ 3 & 9 & 3 \\ 1 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

angewendet wird, so dass geglättete Messwerte n_g erhalten werden,

(ii) auf jede Gruppe n_g von geglätteten Messwerten der Sobel-Operator mit der Formel

$$g_x = I \times H_x^S = I \times \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$g_y = I \times H_y^S = I \times \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$G = \sqrt{(g_x)^2 \cdot (g_y)^2}$$

angewendet wird, so dass partielle dLab*-Werte und dLCH*-Werte erhalten werden,

(iii) aus den erhaltenen partiellen dLab*-Werte und dLCH*-Werten die partiellen Farbtonabstände jedes Messpunkts zu seinen benachbarten Messpunkten mit Hilfe einer Farbtonabstandsformel berechnet werden,

(iv) auf die ermittelten partiellen Farbtonabstände eine Non-maximum-Suppression der Formel

$$\text{Richtung} = \begin{cases} \text{für}: g_x \neq 0 \Rightarrow \arctan\left(\frac{g_y}{g_x}\right) \\ \text{für}: g_x = 0; g_y = 0 \Rightarrow 0° \\ \text{für}: g_x = 0; g_y \neq 0 \Rightarrow 90° \end{cases}$$

angewendet wird, so dass korrigierte partielle Farbtonabstände erhalten werden, und

(v) aus den so erhaltenen korrigierten partiellen Farbtonabständen der Homogenitäts-Index HI

$$HI = \ln \sum_{dE>0,35} dE$$

mit dE' = Farbtonabstand

berechnet wird und als Maß für die Wolkigkeit der Lackierung dient, gelöst.

Die dE>0,35 Grenze ist variabel und kann angepasst werden. Sie liegt vorzugsweise zwischen 0,2 – 1 und kann dem visuellen Eindruck angepasst werden.

Die log Basis ist ebenfalls variabel und kann dem visuellen Eindruck angepasst werden. Sie liegt vorzugsweise im Bereich 1,1 – 3.

Die zu messenden Farbkoordinaten *L**, *a** und *b** entsprechen den Koordinaten des CIE*Lab*-Farbenraums der CIE (Commission internationale de l'éclairage, Internationale Beleuchtungskommission). Sie werden auch Farbmaßzahlen genannt. Die Koordinate *L** beschreibt die Helligkeit des Farbtons, d.h. die Lage des Farbtons auf der Helligkeitsachse. Die Koordinaten *a** und *b** beschreiben die Lage des Farbtons im Farbenraum auf einer Achse zwischen Rot und Grün (*a**) bzw. auf einer Achse zwischen Blau und Gelb (*b**).

Die Messung der Farbkoordinaten *L**, *a** und *b** kann mittels dem Fachmann bekannter und geeigneter Methoden erfolgen. Als Farbmessgeräte können beispielsweise Spektralphotometer, insbesondere Mehrwinkelspektralphotometer eingesetzt werden. Geeignete Instrumente sind beispielsweise die Geräte MA60 oder MA68 oder MA68 II der Firma X-Rite®.

Vorzugsweise wird die Messung der Farbkoordinaten *L**, *a** und *b** dabei mittels eines automatisierten Messverfahrens durchgeführt. Dies bedeutet, dass mindestens ein Teil der erforderlichen Messungen auf der Prüftafel in einer entsprechenden technischen Vorrichtung automatisch ausgeführt wird, ohne dass es eines manuellen Eingriffs in den Messvorgang bedarf. Beispielsweise kann die Bestimmung der Farbkoordinaten nacheinander oder gleichzeitig an verschiedenen Messorten auf der Prüftafel erfolgen, ohne dass die Prüftafel dazu aus der Messvorrichtung entnommen oder manuell neu orientiert werden muss. Dies kann durch eine geeignete automatische Messvorrichtung (z.B. Labor-Roboter mit Messstation) ermöglicht werden, wie sie zum Beispiel in der Patentanmeldung WO 98/14778 A1 beschrieben

ist. Die erhaltenen Messdaten werden vorzugsweise elektronisch erfasst, gespeichert, ausgewertet und/oder dargestellt.

Die Messung der Farbkoordinaten *L**, *a** und *b** erfolgt in dem erfindungsgemäßen Verfahren an jeweils mindestens 100 verschiedenen Messorten auf der Prüftafel. Vorzugsweise erfolgt die Messung an jeweils mindestens 150 verschiedenen Messorten, bevorzugt an jeweils mindestens 184 und ganz besonders bevorzugt an jeweils 500 bis 800 verschiedenen Messorten auf der Prüftafel. Die einzelnen Messorte weisen dabei einen Mindestabstand von 0,5 cm und einen Höchstabstand von 2 cm voneinander auf. Bevorzugt weisen die Messorte einen Abstand von 0,8 cm bis 1,5 cm voneinander auf. Vorzugsweise liegen die Messorte innerhalb einer Fläche von 200 x 500 mm auf der Prüftafel. Ganz besonders bevorzugt sind die verschiedenen Messorte in einem rechtwinkligen Raster in einem Abstand von jeweils 1 - 1,5 cm in Richtung der beiden senkrecht zueinander stehenden Achsen des Rasters voneinander angeordnet.

Zu jedem Messwert wird der zugehörige Messort auf der Prüftafel durch Ortskoordinaten festgehalten, beispielsweise durch ein rechtwinkliges Raster (Koordinatensystem) mit den Koordinaten x und y, die jeden Ort auf der Prüftafel eindeutig beschreiben.

Die Messung der Farbkoordinaten *L**, *a** und *b** an den Messorten erfolgt in dem erfindungsgemäßen Verfahren unter jeweils mindestens 3 verschiedenen Beobachtungswinkeln, bevorzugt unter den Beobachtungswinkeln von 25°, 45° und 75°. Vorzugsweise erfolgt die Messung unter jeweils mindestens 4 Beobachtungswinkeln, besonders bevorzugt unter jeweils mindestens 5 verschiedenen Beobachtungswinkeln. Die einzelnen Beobachtungswinkel unterscheiden sich dabei um jeweils mindestens 10°. Vorzugsweise erfolgt die Messung der Farbkoordinaten jeweils unter den Beobachtungswinkeln von 25°, 45° und 75°. Besonders bevorzugt erfolgt die Messung der Farbkoordinaten unter jeweils 5 Beobachtungswinkeln, vorzugsweise jeweils unter 10° - 19°, 20° - 30°, 40° - 50°, 70° - 80° und 105° - 115°, ganz besonders bevorzugt unter 15°, 25°, 45°, 75° und 110°. Die Beleuchtung erfolgt vorzugsweise gerichtet unter einem Beleuchtungswinkel (Einfallswinkel) von 45°.

Auf jede Gruppe von *n* Messwerten, die unter jeweils einem bestimmten von insgesamt *m* verschiedenen Beobachtungswinkeln (w_1, w_2, ... , w_m) für eine bestimmte Farbkoordinate F^* ($F^* = L^*$, a^* oder b^*) an verschiedenen Messorten (mit den Ortskoordinaten x, y) erhalten wurden, wird nun ein Gauß´sches Glättungsfilter angewandt. Das Gauß-Filter ist ein Nachbarschaftsoperator, welcher auf einer zweidimensionalen Gaußfunktion basiert. Mathematisch ist das Gauß-Filter eine Funktion der Ortskoordinaten des Bildpunkts der Eingabematrix (x, y) und der Standardabweichung σ:

$$G(x,y,\sigma)=\frac{1}{2\pi\sigma^2}e^{\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

Glättung bedeutet in diesem Fall, dass man durch Anwendung des Filters Messrauschen unterdrücken kann. Einstellbar wird die Funktion durch Wahl der Standardabweichung σ und des Filterradius, welcher durch die Größe der verwendeten Matrix definiert ist. Um das Gauß´sche Filter in einer Programmroutine nutzbar machen zu können, bedient man sich einer Gauß-Matrix, welche man durch Diskretisierung der 2D-Normalverteilung auf eine 3 x 3 - Matrix erhält. Unter Berücksichtigung der Normierung auf die Ausgangsgröße gilt:

$$G=\frac{1}{16}\begin{bmatrix}1&2&1\\2&4&2\\1&2&1\end{bmatrix}$$

Auf jede Gruppe von n_g geglätteten Messwerten, die unter jeweils einem bestimmten der 5 verschiedenen Beobachtungswinkeln (w = 15°, 25°, 45°, 75° oder 110°) für eine bestimmte Farbkoordinate F^* ($F^* = L^*$, a^* oder b^*) an verschiedenen Messorten (mit den Ortskoordinaten x, y) nach Glättung mit dem Gauß-Filter erhalten wurden, wird nun ein Sobel-Operator, beispielsweise ein zweidimensional wirkender Sobel-Operator, angewandt. Der Sobel-Operator ist ein Kantendetektionsfilter, der u.a. in der Bildverarbeitung Anwendung findet und dort mit Hilfe der Faltung als Algorithmus eingesetzt wird. Dieser liefert die erste Ableitung der Bildpunktwerte, wobei gleichzeitig orthogonal zur Ableitungsrichtung geglättet wird. Der Vorteil des Sobel-

Operators im Vergleich zum Prewitt-Operator liegt darin, dass man hier eine stärkere Gewichtung der zentralen Matrixspalte bzw. -zeile erhält. Um nicht nur Kanten in eine Richtung zu detektieren, verwendet man beim Sobel-Operator einen Spalten- und einen Zeilenoperator. Die folgenden Matrizen zeigen diese Operatoren am Beispiel einer 3 x 3 - Matrix:

$$H_x^S = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H_y^S = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Gegeben durch die Bildfunktion I (x,y) kann man mit Hilfe der Sobel-Operatoren H^S_x und H^S_y die Gradientenbilder G berechnen:

$$g_x = I \times H_x^S = I \times \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$g_y = I \times H_y^S = I \times \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Ein richtungsabhängiges Gradientenbild und somit die Gesamtgradientenstärke erhält man durch Bildung des euklidischen Betrags beider Gradientenbilder:

$$G = \sqrt{(g_x)^2 \cdot (g_y)^2}$$

Durch die Verwendung des Sobel-Operators werden, vereinfacht gesprochen, lokale farbmetrische Differenzen zwischen benachbarten Messpunkten erfasst. Dabei werden partielle dLab*-Werte und dLCH*-Werte erhalten.

Aus den erhaltenen partiellen dLab*-Werte und dLCH*-Werten werden nun die Farbtonabstände jedes Messpunkts zu seinen benachbarten Messpunkten berechnet. Hierzu können verschiedene Farbtonabstandsformeln verwendet werden.

Es kann beispielsweise die Farbtonabstandsformel nach DIN 6174 angewendet werden. Die DIN-Norm 6174 "Farbmetrische Bestimmung von Farbabständen nach der CIELAB-Formel" liefert die Grundlage für Farbabstandsberechnungen von Lackierungen. Die Farbtonabstandsformel nach DIN 6174 lautet:

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{\left(\Delta L^*\right)^2 + \left(\Delta a^*\right)^2 + \left(\Delta b^*\right)^2}$$

Zur Differenzbildung werden die jeweiligen Farbmaßzahlen eines Bezugswertes B von den zugehörigen Werten der Probe P subtrahiert:

$$\Delta L^* = L^*_P - L^*_B$$

$$\Delta a^* = a^*_P - a^*_B$$

$$\Delta b^* = b^*_P - b^*_B$$

Für bestimmte Anwendungsgebiete ist alternativ eine Berechnung des Farbabstands anhand der Differenzen der Polarkoordinaten sinnvoll und kann folgendermaßen formuliert werden:

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{\left(\Delta L^*_{ab}\right)^2 + \left(\Delta C^*_{ab}\right)^2 + \left(\Delta H^*_{ab}\right)^2}$$

mit

$$\Delta L^* = L^*_P - L^*_B$$

$$\Delta C^*_{ab} = C^*_{ab,P} - C^*_{ab,B}$$

wobei

$$C^*_{ab,P} = \sqrt{\left(a^*_P\right)^2 + \left(b^*_P\right)^2}$$

$$C^*_{ab,B} = \sqrt{\left(a^*_B\right)^2 + \left(b^*_B\right)^2}$$

$$\Delta H^*_{ab} = \sqrt{\left(\Delta E^*_{ab}\right)^2 - \left(\Delta C^*_{ab}\right)^2 - \left(\Delta L^*_{ab}\right)^2}$$

Alternativ zur DIN 6174 kann auch die Farbabstandsformel für Effektlacke nach DIN 6175-2 angewendet werden. Diese ist besser an die menschliche Wahrnehmung von Farbtondifferenzen angepasst, in welcher nämlich Farbdifferenzen nicht notwendigerweise äquidistant empfunden werden. Aus diesem Grund wurden Toleranz- und Gewichtungsparameter eingeführt, die dieses Problem lösen. Aufgrund von anisotropem Remissionsverhalten bei Effektlackierungen können Effektfarbtöne oft nicht hinreichend beschrieben werden. Die Norm gibt an dieser Stelle keine Vorgaben, welche Betrachtungswinkel zu wählen sind. In der Automobilindustrie haben sich Betrachtungswinkel γ von 15°, 25°, 45°, 75° und 110°, bezogen auf den Glanzwinkel, durchgesetzt. In den folgenden drei Gleichungen wird der jeweilige Betrachtungswinkel dimensionslos eingesetzt:

$$S_L(\gamma) = 0{,}15\sqrt{L^*(\gamma)} + \frac{31{,}5}{\gamma}$$

$$S_C(\gamma) = \max\left(0{,}7; 0{,}48\sqrt{C^*(\gamma)} - 0{,}35\sqrt{L^*(\gamma)} + \frac{42}{\gamma}\right)$$

$$S_H(\gamma) = \max\left(0{,}7; 0{,}14\sqrt{C^*(\gamma)} - 0{,}2\sqrt{L^*(\gamma)} + \frac{21}{\gamma} + 0{,}7\right)$$

mit

$$L(\gamma) = \sqrt{L^*_B(\gamma)\cdot L^*_P(\gamma)}$$

$$C(\gamma) = \sqrt{C^*_B(\gamma)\cdot C^*_P(\gamma)}$$

Die Werte für $S_C(\gamma)$ und $S_H(\gamma)$ dürfen nach Festlegung der DIN nicht kleiner als 0,7 sein. Bei Effektlackierungen unterscheidet man zwischen dem Bereich unbunter bzw. pastelliger Farben und dem der bunten Farben. Die DIN 6175-2 stellt für den unbunten Bereich und den Buntbereich folgende Farbabstandsformeln zur Verfügung:

"(I) unbunt": $$\Delta E^*_{ab}(\gamma) = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*(\gamma)}{g_L \cdot S_L(\gamma)}\right)^2 + \left(\frac{\Delta a^*(\gamma)}{g_a \cdot S_a(\gamma)}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b^*(\gamma)}{g_b \cdot S_b(\gamma)}\right)^2}$$

"(II) bunt": $$\Delta E'_{CH}(\gamma) = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*(\gamma)}{g_L \cdot S_L(\gamma)}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*(\gamma)}{g_C \cdot S_C(\gamma)}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*(\gamma)}{g_H \cdot S_H(\gamma)}\right)^2}$$

In Erweiterung zur Bunt-/Unbuntgrenze bei Uni-Farbtönen gilt nun, dass der Unbuntbereich für C^*_{ab} bei Werten unterhalb von 10 Einheiten, bzw. für pastellige Farben unterhalb von 18 liegt, wobei jedoch die Helligkeit 27 Einheiten nicht unterschreiten darf. In diesem Fall werden die Farbabstände $\Delta E'_{ab}(\gamma)$ nach der Formel "(I) unbunt" berechnet. Im Fall der bunten Farben, definiert durch $C^*_{ab} \geq 10$, wobei der Bereich $C^*_{ab} < 18$ und $L^* > 27$ für pastellige Farben ausgeschlossen ist, werden die Farbabstände $\Delta E'_{CH}(\gamma)$ nach der Formel "(II) bunt" berechnet.
Die Werte für S_a und S_b werden in der DIN 6175-2 auf 0,7 festgelegt. Bei S_a und S_b handelt es sich um Chargentoleranzen S, welche auf Basis von Chargentafeln durch visuelle Abmusterung bestimmt wurden.

Beide Gleichungen enthalten die zusätzlichen Faktoren gL, ga, gb, gc und gh. Hierbei handelt es sich um Serientoleranzen, und zwar je nach Anwendungsfall um Produktionsfaktoren oder um Anwendungsfaktoren nach der untenstehenden Tabelle. Für Lackhersteller gilt der erste Fall, so dass alle Anwendungsfaktoren dem Wert 1 entsprechen.

Anwendungsfall	gL	ga	gb	gc	Gh
Charge (Lackherstellung)	1	1	1	1	1
Produktionsfaktoren	2,0	1,2	1,2	1,8	1,2

Da die Farben bei verschiedenen Effektwinkeln im bunten wie auch im unbunten Farbtonbereich liegen können, müssten beide Formeln verwendet werden. Sie führen jedoch an der "Nahtstelle" nicht zu identischen Ergebnissen, da sie im Übergang nicht stetig verlaufen. Um diesen kritischen Bereich zu glätten und eine Funktion zu erhalten, welche nach den Bedingungen der Gültigkeitsparameter der Farbabstandsformeln verläuft, verwendet man eine Sigmoidfunktion, auch Schwanenhalsfunktion genannt:

$$\Delta E'_{eff}(\gamma) = \sigma(\gamma) \cdot \Delta E'_{ab}(\gamma) + (1 - \sigma(\gamma)) \cdot \Delta E'_{CH}(\gamma)$$

mit

$$\sigma(\gamma)=\frac{1}{1+e^{(C^*(\gamma)-Co(\gamma))}} \text{ und } 0<\sigma<1$$

$$Co(\gamma)=10+\frac{8}{1+e^{(27-L(\gamma))}}$$

für

$$\sigma = 0 \rightarrow \Delta E'_{CH}$$

$$\sigma = 1 \rightarrow \Delta E'_{ab}$$

Die Norm empfiehlt in jedem Falle die Anwendung der genannten Sigmoidfunktion (Schwanenhalsfunktion), da in vielen Fällen die Entscheidung für die entsprechende Formel $\Delta E'_{ab}(\gamma)$ oder $\Delta E'_{CH}(\gamma)$ vorab nicht eindeutig getroffen werden kann.

Eine dritte Farbtonabstandsformel, die angewendet werden kann, ist die Farbabstandsformel mit Gewichtung nach AUDI. Die AUDI-Farbabstandsformel ist nahezu identisch zur DIN 6175-2. Der wesentliche Unterschied liegt in der Berechnung der Gewichtungsfaktoren. Da die Gewichtungsfaktoren der früher entwickelten AUDI-Formel im Rahmen der späteren Erstellung der DIN 6175-2 mit dem Faktor $2^{-0,5}$ multipliziert wurden, sind diese somit in der DIN 6175-2 in allen numerischen Werten durch $2^{-0,5}$ zu dividieren, um die folgende AUDI-Formel zu erhalten:

$$S_L(\gamma)=0,11\sqrt{L^*(\gamma)}+\frac{22,5}{\gamma}$$

$$S_C(\gamma)=\max\left(0,5;0,34\sqrt{C^*(\gamma)}-0,25\sqrt{L^*(\gamma)}+\frac{30}{\gamma}\right)$$

$$S_H(\gamma)=\max\left(0,5;0,1\sqrt{C^*(\gamma)}-0,14\sqrt{L^*(\gamma)}+\frac{15}{\gamma}+0,5\right)$$

Die Gewichtungsfaktoren für Sa und Sb werden im Gegensatz zur DIN 6175-2 auf 0,5 festgesetzt.

Das Ergebnis der Berechnung der Farbtonabstände ist die Darstellung eines partiellen Farbtonabstands für jeden Messpunkt in Relation zu seinen umliegenden Messpunkten für jede Farbkoordinate und jeden Beobachtungswinkel.

Die erhaltenen Daten können jeweils graphisch dargestellt werden. Beispielsweise kann jede Gruppe von *n* Messwerten, die unter jeweils einem bestimmten der 5 verschiedenen Beobachtungswinkeln (w = 15°, 25°, 45°, 75° oder 110°) für eine bestimmte Farbkoordinate F^* ($F^* = L^*$, a^* oder b^*) an verschiedenen Messorten (mit den Ortskoordinaten x, y) erhalten wurden, in einer zweidimensionalen Graphik aufgetragen werden (z.B. Messwerte zu einer bestimmten Farbkoordinate F^* unter einem bestimmten Beobachtungswinkel w gegen eine der Ortskoordinaten x oder y). Insbesondere können die Messwerte auch in einer dreidimensionalen Graphik dargestellt werden (z.B. Messwerte zu einer bestimmten Farbkoordinate F^* unter einem bestimmten Beobachtungswinkel w gegen beide Ortskoordinaten x und y).

Die graphische Darstellung kann für alle Stadien des oben und im folgenden beschriebenen Auswertevorgangs erfolgen. Es können also beispielsweise die unmittelbar erhaltenen Messwerte vor Anwendung des Gauß-Filters dargestellt werden. Es können auch die geglätteten Werte nach anschließender Anwendung des Gauß-Filters dargestellt werden. Es können auch die lokalen farbmetrischen Differenzen zwischen benachbarten Messpunkten (partielle dLab*-Werte und dLCH*-Werte), die durch die anschließende Verwendung des Sobel-Operators werden, dargestellt werden. Es können auch die Farbtonabstände, die nach der anschließenden Berechnung mit einer der Farbabstandsformeln erhalten werden, dargestellt werden. Auch die sich im weiteren Verfahren ergebenden Daten können auf die beschriebene Weise zweidimensional (Gruppe von n Daten bezogen auf eine Ortskoordinate der zugehörigen Messorte) oder dreidimensional (Gruppe von n Daten bezogen auf beide Ortskoordinaten der zugehörigen Messorte) graphisch dargestellt werden. Bevorzugt wird die dreidimensionale Darstellung. Dabei kann insbesondere auch ein Oberflächendiagramm erhalten werden, in welchem die vermessene Oberfläche mit den Ortskoordinaten x und y dargestellt ist und die erhaltenen Daten ortsgetreu farbkodiert wiedergegeben werden.

Die graphische Darstellung vermittelt einen optischen Eindruck der erhaltenen Daten, der mit der visuellen Wahrnehmung der Lackierung auf der Prüftafel verglichen werden kann und der zur erleichterten, verbesserten Bestimmung der Wolkigkeit einer Lackierung herangezogen werden kann. Es können beispielsweise so genannte Kanten (Stellen mit abrupter Änderung des Wertes einer bestimmten Farbkoordinate unter einem bestimmten Beobachtungswinkel, z.B. der Helligkeit) identifiziert werden. Kanten sind per Definition Stellen mit abrupter Änderung der Bezugsgröße. Flächenbezogen stellen sie prägnante Bildmerkmale dar. Mathematisch betrachtet sind Kanten lokal starke Intensitätsänderungen entlang einer Richtung. Bei Betrachtung der Bildfunktion zeigen sich Kanten als lokale Maxima der ersten Ableitung.

Werden beispielsweise die Farbtonabstände, die nach der oben beschriebenen Berechnung mit einer der Farbabstandsformeln erhalten werden, graphisch dargestellt, so zeigen sich häufig Kanten mit einem gebirgskammähnlichen Gradienten. Bedingt durch die Sobel-Operator-Größe und seine Schrittweite kann es hier also zur Mehrfachdetektion von Kanten kommen. Definitionsgemäß steht der Gradient rechtwinklig zu einer Kante im Bild und hat den größten Betrag im Mittel der Kante. Werden nun entlang einer Kante nur die Bildpunkte mit dem größten Gradienten ausgewählt, so erhält man den exakten, nur einen Bildpunkt breiten Verlauf der Kante. Um dies zu erreichen, wird eine Non-maximum-Suppression durchgeführt. Hierbei werden diejenigen Bildpunkte ausgewählt, die auf dem Kamm des Gradienten liegen, und diejenigen Bildpunkte unterdrückt, die dieses Kriterium nicht erfüllen. Mathematisch stellt die Non-maximum-Suppression die Reduktion der Gradientenverläufe auf lokale Maxima dar.

Die Non-maximum-Suppression kann beispielsweise dadurch realisiert werden, dass zunächst die Gradientenrichtung im aktuellen Bildpunkt berechnet wird. Die oben beschriebene Anwendung des Sobel-Operators resultiert in zwei Gradienten in x- und y-Richtung. Aus dem Verhältnis beider Gradienten lässt sich nun eine Lageaussage der Kante treffen:

$$\text{Richtung} = \begin{cases} \text{für}: g_x \neq 0 \Rightarrow \arctan\left(\frac{g_y}{g_x}\right) \\ \text{für}: g_x = 0; g_y = 0 \Rightarrow 0° \\ \text{für}: g_x = 0; g_y \neq 0 \Rightarrow 90° \end{cases}$$

Das Ergebnis ist die Lage der Kante durch den aktuellen Bildpunkt, die entweder parallel zur x-Richtung, parallel zur y-Richtung oder jeweils im 45°-Winkel dazu liegen kann. Durch Prüfung der benachbarten Bildpunkte des ausgewählten Bildpunkts auf möglicherweise größere Gradientenbeträge lässt sich nun feststellen, ob es sich bei dem ausgewählten Bildpunkt um ein lokales Maximum handelt. Dazu wählt man also die Bildpunkte, die sich orthogonal zur ermittelten Gradientenrichtung befinden, und prüft, ob einer der beiden einen größeren Gradientenbetrag als den des ursprünglich ausgewählten Bildpunktes aufweist. Falls ja, wird der ursprünglich ausgewählte Bildpunkt unterdrückt.

Das Ergebnis der Non-maximum-Suppression sind korrigierte partielle Farbtonabstände, deren graphische Darstellung nunmehr sogenannte ausgedünnte Kanten aufweist. Man ist somit in der Lage, die Mehrfachdetektion aus dem Sobel-Operator zu kompensieren. Es liegen nur noch die Maxima der Gradienten, d.h. die ausgedünnten Kanten an der entsprechenden Position vor. Die Kanten werden somit auf die Breite eines Messpunkts reduziert.

In der graphischen Darstellung, insbesondere in einer farbkodierten Darstellung der Farbtonabstände in einem x,y-Oberflächendiagramm der Messorte, werden dadurch scharf umrandete "Wolken" erkennbar, d.h. Bereiche von Messorten, an denen der lokale Farbtonabstand einen höheren Betrag als den der Umgebung aufweist.

Ziel des Verfahrens ist unter anderem die Quantifizierung der Farbtoninhomogenität (Wolkigkeit) durch einen Index. Aus den als Formationen von Messorten mit lokal großen Farbtonabständen sichtbaren Wolken kann daher in einem nächsten Schritt ein Index erstellt werden. Dazu kann die Darstellung der partiellen Farbtonabstandswerte in einem farbkodierten 2D-Oberflächendiagramm beibehalten werden.

Der Homogenitäts-Index HI ist eine Funktion des Betrags der Farbtonabstände, die über einem bestimmten Schwellenwert liegen:

HI = f(dE´, n´)

mit dE´= Farbtonabstand und n`= Anzahl der Messorte mit einem Farbtonabstand über einem bestimmten Schwellenwert. Für den Homogenitäts-Index gilt also, dass er umso stärker ausgeprägt ist, je mehr Messorte lokal große Farbtonabstände über einem bestimmten Schwellenwert aufweisen, und je höher der Absolutbetrag dieser Farbtonabstände ist. Als Schwellenwert kann ein Betrag des Farbtonabstands festgelegt werden, unterhalb dessen eine Farbtoninhomogenität visuell nicht mehr hinreichend genau wahrgenommen werden kann. Nach dem Weber-Fechner-Gesetz ist die Stärke der visuellen Empfindung logarithmisch zur physikalischen Reizstärke. In der Praxis haben sich für die Berechnung des gesuchten Index bei logarithmischer Darstellung Farbtonabstands-Schwellenwerte von ca. dE`= 0,35 - 0,4 Einheiten als sinnvoll erwiesen, um eine optimale Korrelation mit dem visuellen Farbtonabstands-empfinden zu erzielen.

Der Homogenitätsindex HI wird daher definiert als

$$HI = \ln \sum_{dE'>0,35} dE'$$

mit dE' = Farbtonabstand

Der Homogenitäts-Index HI dient als Maß für die Wolkigkeit der Lackierung. Je größer HI, desto größer ist auch die Wolkigkeit der Lackierung.

Der Wert von HI als Maß für die Wolkigkeit einer Lackierung weist eine hohe Reproduzierbarkeit auf. Bei einer Wiederholung der Analyse unter erneuter Messung der Farbkoordinaten *L**, *a** und *b** unter den gleichen Beobachtungswinkeln und erneuter Auswertung der Messdaten liegt die Abweichung für HI in der Regel unter ± 0,3 Einheiten.

Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht somit die automatisierbare, instrumentelle Bestimmung der Wolkigkeit von Lackierungen auf Prüftafeln unter

hoher Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich weiterhin zur Bestimmung der Wolkigkeit von farbgebenden und von effektgebenden Lackierungen, wie z.B. Metallic-Lackierungen. Außerdem liefert das Verfahren Ergebnisse, die gut mit dem tatsächlichen visuellen Eindruck der Wolkigkeit einer Lackierung korrelieren.

Vorzugsweise handelt es sich bei den Lackierungen auf den Prüftafeln um farbgebende und/oder effektgebende Lackierungen, besonders bevorzugt um effektgebende Metallic-Lackierungen. Unter farbgebenden Lackierungen werden Lackierungen verstanden, die aus einer pigmenthaltigen Beschichtungszusammensetzung gewonnen wurden. Sie enthalten beispielsweise Weiß-, Bunt- und/oder Schwarzpigmente. Effektgebende Lackierungen enthalten dementsprechend Effektpigmente, wie beispielsweise Perlglanz- oder Metalleffekt-Pigmente. Sowohl farbgebende als auch effektgebende Lackierungen können auch im Rahmen einer Mehrschichtlackierung vorliegen. Dabei kann die farb- und/oder effektgebende Lackierung die oberste Schicht der Mehrschichtlackierung darstellen, oder aber unter einer Klarlackschicht liegen. In allen diesen Fällen ist das erfindungsgemäße Verfahren zur Bestimmung der Wolkigkeit der Lackierung geeignet.

Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist die Verwendung des Verfahrens zur Messung der Wolkigkeit von Automobillackierungen.

Unter Automobillackierungen werden Lackierungen verstanden, die aus Beschichtungszusammensetzungen erhalten wurden, welche für die Automobil-Erstlackierung, insbesondere -Serienlackierung (OEM), und/oder Automobil-Reparaturlackierung geeignet sind. Die Automobillackierungen können beispielsweise auf Prüftafeln, Karosserieteilen oder Karosserien vorliegen. Vorzugsweise handelt es sich bei den Automobillackierungen um farb- und/oder effektgebende Lackierungen, besonders bevorzugt um Metallic-Lackierungen. Die Lackierungen können auch im Rahmen einer Mehrschicht-Lackierung vorliegen.

Das Verfahren kann beispielsweise bei der Entwicklung verbesserter Beschichtungsmaterialien, Beschichtungszusammensetzungen oder Applikationsverfahren für die Automobillackierung eingesetzt werden, um die Wolkigkeit der

erzielten Lackierungen in Abhängigkeit von den veränderten Versuchsparametern zu erfassen. Daneben kann beispielsweise auch die Wolkigkeit der mit einer bestimmten Lackcharge und/oder einem definierten Applikationsprozess erzielten Lackierung im Rahmen einer Qualitätskontrolle überprüft werden.

Im folgenden wird die Erfindung durch ein Ausführungsbeispiel näher erläutert.

Beispiel

1) Herstellung der Prüftafeln

Es wurden Prüftafeln mit einer Lackierung und folgenden Parametern hergestellt.

Beschreibung:	Basislack	Basislack	Klarlack
Material:	wässrig	wässrig	Konventionell
Produkt:	n. Angabe	n. Angabe	n. Angabe
Verwendetes Substrat:	Coil	Coil	Coil
Zerstäuber:	ECO-Bell Außen	Pneumat	Hand
Düse:	1,2	1,4	
Glockentyp:	36 (DÜRR)		
Luftkappe:		797	
Applikationsart:	ESTA	Pneumat	
Drehzahl (U/min.):	45000		
Ausflußrate (ml):	300	250	
Lenkluft (NL):	130,0		
Hochspannung (KV):	70		
Bandgeschw. (m/s): **	0,58	0,98	
Objektabstand (cm):	25	30	
Endlage oben:	0	0	
Endlage unten:	1080	1080	
Raster (mm):	120	60	
Hornluft (NL/min.):		200	
Zerstäuberluft (NL/min.):		150	
Schichtdicke (µm):	8-9	4-5	40-45
Anzahl Aufträge:	1	1	1
Zwischenabluftzeit (s):	120		
Endablüftzeit (min.):		3	10
Vortrocknung (min./°C):		5/80	
Einbrennen (min./°C):			20/140
Kabinentemperatur (°C):	23	23	23
Luftfeuchte (rel. %):	65	65	65

Abweichend zu den oben genannten Applikationsparametern sind zusätzlich die folgenden Vergleichsversuche hergestellt worden. Die Parameter der pneumatischen Applikation sind wie folgt verändert worden, wobei Versuch 5 die Standardbedingungen darstellt:

Versuch	Ausflussrate ml/min	Hornluft NL
1	375	300
2	125	300
3	125	100
4	375	100
5	250	200

2) Ermittlung der Messwerte

Die Wolkigkeit der erhaltenen Lackierungen wurde mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens erfasst. Hierzu wurde eine automatische Messvorrichtung gemäß WO 98/14778 A1 mit einem Winkelspektralphotometer der Firma X-Rite® (MA 68 II) eingesetzt. Die Farbkoordinaten *L**, *a** und *b** wurden jeweils unter 5 verschiedenen Beobachtungswinkeln (15°, 25°, 45°, 75°, 110°) an jeweils 675 verschiedenen Messpunkten auf der lackierten Prüftafel gemessen. Die Messpunkte lagen in einem rechtwinkligen Abstandsraster von 1,0 cm x 1,0 cm auf einer Fläche von 450 x 150 cm der Prüftafel. Die Anzahl der erhaltenen Messwerte pro Prüftafel betrug somit

3 (Anzahl der Farbkoordinaten $F^* = L^*, a^*$ oder b^*)
x 5 (Anzahl der Beobachtungswinkel w = 15°, 25°, 45°, 75° oder 110°)
x 675 (Anzahl der Messpunkte pro Prüftafel)
= 10125 Messwerte pro Prüftafel.

Zu jedem der 10125 Messwerte pro Prüftafel wurde die Lage des jeweiligen Messpunkts auf der Prüftafel durch Angabe der Ortskoordinaten x und y des Abstandsrasters festgehalten.

3) Glätten der Messwerte mit Hilfe einer Gauß-Matrix

Auf jede Gruppe von *n* Messwerten, die unter jeweils einem bestimmten der 5 verschiedenen Beobachtungswinkeln (w = 15°, 25°, 45°, 75° oder 110°) für eine bestimmte Farbkoordinate F^* ($F^* = L^*, a^*$ oder b^*) an verschiedenen Messorten (mit den Ortskoordinaten x, y) erhalten wurden, wurde nun ein Gauß´sches Glättungsfilter mit der folgenden Gauß-Matrix angewandt:

$$G = \frac{1}{25}\begin{bmatrix} 1 & 3 & 1 \\ 3 & 9 & 3 \\ 1 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

Dabei wurde also der jeweils im Zentrum des Operators stehende Messwert durch die benachbarten 8 Messwerte entsprechend der Gewichtungen korrigiert.

Vereinfacht ausgedrückt wurde dabei also das gewichtete (vgl. obige Gauß-Matrix) arithmetische Mittel gebildet. Die geglätteten Messwerte wiesen einen stetigeren Verlauf als die Rohdaten auf.

4) Bestimmung lokaler farbmetrischer Gradienten mittels Sobel-Operator

Auf jede Gruppe von *n* geglätteten Messwerten, die unter jeweils einem bestimmten der 5 verschiedenen Beobachtungswinkeln (*w* = 15°, 25°, 45°, 75° oder 110°) für eine bestimmte Farbkoordinate *F** (*F** = *L**, *a** oder *b**) an verschiedenen Messorten (mit den Ortskoordinaten x, y) erhalten wurden, wurde nun ein zweidimensional wirkender Sobel-Operator angewandt, um die partiellen Differenzen pro Messpunkt, Beobachtungswinkel und Farbmaßzahl zu ermitteln:

$$g_x = I \times H_x^S = I \times \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$g_y = I \times H_y^S = I \times \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$G = \sqrt{(g_x)^2 \cdot (g_y)^2}$$

Dabei wurden also, vereinfacht gesprochen, lokale farbmetrische Differenzen zwischen benachbarten Messpunkten erfasst.

5) Berechnung der Farbtonabstände

Aus den partiellen dLab*- und dLCH*-Werten, die mit Hilfe des Sobel-Operators erhalten wurden, wurden nun für jeden Messpunkt und Beobachtungswinkel der Farbtonabstand zu den jeweils benachbarten Messpunkten ermittelt. Dies erfolgte mittels der AUDI-Farbabstandsformel:

$$S_L(\gamma) = 0{,}11\sqrt{L^*(\gamma)} + \frac{22{,}5}{\gamma}$$

$$S_C(\gamma) = \max\left(0{,}5;0{,}34\sqrt{C^*(\gamma)} - 0{,}25\sqrt{L^*(\gamma)} + \frac{30}{\gamma}\right)$$

$$S_H(\gamma) = \max\left(0{,}5;0{,}1\sqrt{C^*(\gamma)} - 0{,}14\sqrt{L^*(\gamma)} + \frac{15}{\gamma} + 0{,}5\right)$$

mit

$$L(\gamma) = \sqrt{L_B^*(\gamma) \cdot L_P^*(\gamma)}$$

$$C(\gamma) = \sqrt{C_B^*(\gamma) \cdot C_P^*(\gamma)}$$

Als Ergebnis wurden die Farbtonabstände der einzelnen Messpunkte zu ihrer jeweiligen Umgebung unter dem jeweiligen Beobachtungswinkel erhalten.

Die erhaltenen Daten wurden graphisch dargestellt. Dazu wurde in einem 3D-Diagramm auf einer Achse der Farbtonabstand und auf den anderen beiden Achsen die Ortskoordinaten x und y aufgetragen. Des weiteren wurde hieraus ein korrenspondierendes Oberflächendiagramm erstellt, welches die vermessene Oberfläche mit den Koordinaten x und y darstellt und in welchem die erhaltenen Werte für den Farbtonabstand farbkodiert wiedergegeben sind. Die Stellen der abrupten Änderung des Farbtonabstands zeigten sich als Kanten, die mitunter recht breit sein konnten.

6) Non-maximum-Suppression

Die erhaltenen Daten wurden einer Non-maximum-Suppression unterworfen, um die Breite der Kanten auf die Breite jeweils eines Bildpunkts zu reduzieren:

$$\text{Richtung} = \begin{cases} \text{für}: g_x \neq 0 \Rightarrow \arctan\left(\frac{g_y}{g_x}\right) \\ \text{für}: g_x = 0; g_y = 0 \Rightarrow 0° \\ \text{für}: g_x = 0; g_y \neq 0 \Rightarrow 90° \end{cases}$$

In der graphischen Darstellung wurden dadurch scharf umrandete "Wolken" erkennbar, d.h. Bereiche von Messorten, an denen der lokale Farbtonabstand einen höheren Betrag als den der Umgebung aufwies.

7) Berechnung des HI-Index

Aus den als Formationen von Messorten mit lokal großen Farbtonabständen sichtbaren Wolken wurde in einem nächsten Schritt ein Index erstellt. Dazu wurde die Darstellung der partiellen Farbtonabstandswerte in einem farbkodierten 2D-Oberflächendiagramm beibehalten. Der Homogenitäts-Index HI wurde wie folgt berechnet:

$HI=\ln \sum_{dE>0,35} dE$ die berechneten Werte (HI) sind mit dE>0,65 und log(1,3) berechnet worden.

Die Homogenitäts-Indizes (HI) weisen folgende Werte auf:

Versuch	Ausflussrate ml/min	Hornluft NL	HI15	HI25	HI45	HI75	HI110	mittel HI	visuell 25°	visuell 45°
1	375	300	3,9	16	1	1	8,1	6	1,5	1,5
2	125	300	9,7	16,8	16,5	16,4	28,2	17,52	2,5	3
3	125	100	29,7	31,4	29,6	29,2	33	30,58	5	5
4	375	100	12,4	15	26,2	32,4	29,6	23,12	3	3,5
5	250	200	8,4	13	16,2	9,6	32,5	15,94	3,5	3,5

Bestimmtheitsmaß:						
visuell 25°	0,82	0,52	0,71	0,43	0,639	0,7976
visuell 75°	0,81	0,46	0,87	0,6	0,765	0,9177

Aufgrund der nicht genau definierbaren Geometrie bei der visuellen Auswertung war nicht davon auszugehen, dass alle Winkel zur visuellen Auswertung korrelieren. Erfahrungsgemäß stimmen aber der 15° und 45° Winkel gut überein. Die wird durch das Bestimmtheitsmaß bestätigt.

Bei einer Genauigkeit von +/- 1 Note bei der visuellen Auswertung war mit einer besseren Korrelation nicht zu rechnen.

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Messung der Wolkigkeit von Lackierungen auf Prüftafeln unter Messung der Farbkoordinaten *L**, *a** und *b** an jeweils mindestens 100 verschiedenen Messorten auf der Prüftafel unter jeweils mindestens 3 verschiedenen Beobachtungswinkeln *w*, dadurch gekennzeichnet, dass

(i) auf jede Gruppe *n* von Messwerten, die unter einem bestimmten Beobachtungswinkel *w* für eine bestimmte Farbkoordinate *F** (*F** = *L**, *a** oder *b**) an verschiedenen Messorten mit den Ortskoordinaten (x, y) erhalten wurden, das Gauß´sche Glättungsfilter mit der Formel

$$G = \frac{1}{25}\begin{bmatrix} 1 & 3 & 1 \\ 3 & 9 & 3 \\ 1 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

angewendet wird, so dass geglättete Messwerte n_g erhalten werden,

(ii) auf jede Gruppe n_g von geglätteten Messwerten der Sobel-Operator mit der Formel

$$g_x = I \times H_x^S = I \times \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$g_y = I \times H_y^S = I \times \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$G = \sqrt{(g_x)^2 \cdot (g_y)^2}$$

angewendet wird, so dass partielle dLab*-Werte und dLCH*-Werte erhalten werden,

(iii) aus den erhaltenen partiellen dLab*-Werte und dLCH*-Werten die partiellen Farbtonabstände jedes Messpunkts zu seinen benachbarten Messpunkten mit Hilfe einer Farbtonabstandsformel berechnet werden,

(iv) auf die ermittelten partiellen Farbtonabstände eine Non-maximum-Suppression der Formel

$$\text{Richtung} = \begin{cases} \text{für}: g_x \neq 0 \Rightarrow \arctan\left(\frac{g_y}{g_x}\right) \\ \text{für}: g_x = 0; g_y = 0 \Rightarrow 0° \\ \text{für}: g_x = 0; g_y \neq 0 \Rightarrow 90° \end{cases}$$

angewendet wird, so dass korrigierte partielle Farbtonabstände erhalten werden, und

(v) aus den so erhaltenen korrigierten partiellen Farbtonabständen der Homogenitäts-Index HI

$$\text{HI} = HI = \ln \sum_{dE'>0,35} dE'$$

mit dE' = Farbtonabstand

berechnet wird und als Maß für die Wolkigkeit der Lackierung dient.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Messung der Farbkoordinaten jeweils mindestens unter den Beobachtungswinkeln von 15°, 25° und 45° durchgeführt wird.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messung der Farbkoordinaten mittels eines automatisierten Messverfahrens erfolgt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messung der Farbkoordinaten an 400 bis 2000 Messorten auf der Prüftafel durchgeführt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messung der Farbkoordinaten unter jeweils 4 bis 5 Beobachtungswinkeln durchgeführt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messung der Farbkoordinaten unter jeweils 5 Beobachtungswinkeln durchgeführt wird, vorzugsweise jeweils unter 10° - 19°, 20° - 30°, 40° - 50°, 70° - 80° und 105° - 115°, ganz besonders bevorzugt unter 15°, 25°, 45°, 75° und 110°.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die gewonnenen Messdaten elektronisch erfasst, gespeichert, ausgewertet und/oder dargestellt werden.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es sich um eine farb- und/oder effektgebende Lackierung, vorzugsweise um eine effektgebende Metallic-Lackierung, handelt.

9. Verwendung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche zur Messung der Wolkigkeit von Automobil-Lackierungen.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2010/065800

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01J3/46 G01N33/32 G01N21/57 G06T7/40 G01N21/88
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01J G01N G06T

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2004/190768 A1 (NONOGAKI YOSHIHIRO [JP] ET AL) 30 September 2004 (2004-09-30) paragraph [0028] - paragraph [0074] paragraph [0105] - paragraph [0140]; figure 1	1-9
A	WO 2009/065956 A2 (VOLKSWAGEN AG [DE]; SPITZER MARKUS [DE]; SCHMAL MARTIN [DE]; SONNENBER) 28 May 2009 (2009-05-28) page 3, line 23 - page 18, line 2	1-9

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
2 February 2011	14/02/2011

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Besser, Veronika

1

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	VOYE C: "Vor der Produktion Prozesse beherrschen. Fingerprint Analyse System bestimmt und bewertet Lackoberflächen", FARBE + LACK, CURT R.VINCENTZ VERLAG. HANNOVER, DE, vol. 106, no. 10, 1 October 2000 (2000-10-01), pages 34-36,39, XP009122055, ISSN: 0014-7699 cited in the application the whole document	1-9
A,P	WO 2009/132857 A1 (BASF COATINGS AG [DE]; WIGGER GEORG [DE]; HOLZAPFEL KLAUS [DE]; BORNEM) 5 November 2009 (2009-11-05) the whole document	1-9

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2010/065800

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2004190768 A1	30-09-2004	AU 2004225645 A1	14-10-2004
		CA 2487394 A1	14-10-2004
		CN 1697968 A	16-11-2005
		EP 1610118 A1	28-12-2005
		JP 3998596 B2	31-10-2007
		JP 2004301727 A	28-10-2004
		WO 2004088293 A1	14-10-2004
WO 2009065956 A2	28-05-2009	DE 112008003190 A5	16-12-2010
WO 2009132857 A1	05-11-2009	DE 102008022013 A1	12-11-2009

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2010/065800

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G01J3/46 G01N33/32 G01N21/57 G06T7/40 G01N21/88
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G01J G01N G06T

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 2004/190768 A1 (NONOGAKI YOSHIHIRO [JP] ET AL) 30. September 2004 (2004-09-30) Absatz [0028] - Absatz [0074] Absatz [0105] - Absatz [0140]; Abbildung 1 -----	1-9
A	WO 2009/065956 A2 (VOLKSWAGEN AG [DE]; SPITZER MARKUS [DE]; SCHMAL MARTIN [DE]; SONNENBER) 28. Mai 2009 (2009-05-28) Seite 3, Zeile 23 - Seite 18, Zeile 2 ----- -/--	1-9

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
2. Februar 2011	14/02/2011

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Besser, Veronika

1

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	VOYE C: "Vor der Produktion Prozesse beherrschen. Fingerprint Analyse System bestimmt und bewertet Lackoberflächen", FARBE + LACK, CURT R.VINCENTZ VERLAG. HANNOVER, DE, Bd. 106, Nr. 10, 1. Oktober 2000 (2000-10-01), Seiten 34-36,39, XP009122055, ISSN: 0014-7699 in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1-9
A,P	WO 2009/132857 A1 (BASF COATINGS AG [DE]; WIGGER GEORG [DE]; HOLZAPFEL KLAUS [DE]; BORNEM) 5. November 2009 (2009-11-05) das ganze Dokument -----	1-9

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2010/065800

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2004190768 A1	30-09-2004	AU 2004225645 A1	14-10-2004
		CA 2487394 A1	14-10-2004
		CN 1697968 A	16-11-2005
		EP 1610118 A1	28-12-2005
		JP 3998596 B2	31-10-2007
		JP 2004301727 A	28-10-2004
		WO 2004088293 A1	14-10-2004
WO 2009065956 A2	28-05-2009	DE 112008003190 A5	16-12-2010
WO 2009132857 A1	05-11-2009	DE 102008022013 A1	12-11-2009