

(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
5. November 2009 (05.11.2009)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/133471 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
H04N 1/60 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/IB2009/005959

(22) Internationales Anmeldedatum:
16. Juni 2009 (16.06.2009)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102008021148.6 28. April 2008 (28.04.2008) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **CADDON COLOR TECHNOLOGY GMBH** [—/DE]; Kackerstrasse 10, 52072 Aachen (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **HILL, bernhard** [DE/DE]; Steppenbergallee 155, 52074 Aachen (DE). **POST, Ronald** [DE/DE]; Osloer Str. 78 F, 53117 Bonn (DE). **HELLING, Stephen** [DE/DE]; Oppenhffallee 111-113, 52066 Aachen (DE). **GLOWINSKI, Arndt** [DE/DE]; Schurzelter Winkel 57, 52074 Aachen (DE).

(74) Anwalt: **BINDER, Armin**; Neue Bahnhofstrasse 16, 89335 Ichenhausen (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, 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, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (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, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

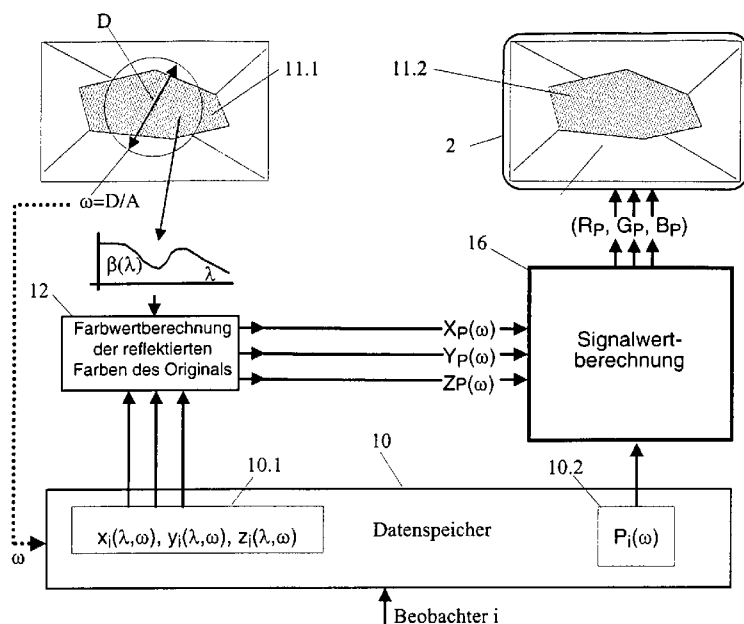
Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, die Priorität einer früheren Anmeldung zu beanspruchen (Regel 4.17 Ziffer iii)
- Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR THE TRUE-TO-ORIGINAL REPRESENTATION OF COLORS ON SCREENS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ORIGINALGETREUEN WIEDERGABE VON FARBEN AUF BILDSCHIRMEN



Figur 7

(57) Abstract: The invention relates to a method and a device for screen calibration for the true-to-original reproduction of surface colors, the spectral reflection distribution of which is known, wherein by setting parameters the screen can be influenced using software and an electronic controller in each partial region of the screen. The invention is characterized in that an observer adapts the reproduced color impression of the screen to the color impression of an original in each partial region of the screen, wherein the original is compared to the screen colors immediately thereafter on the screen surface and the screen parameters are varied until the color impressions of the original and of the screen appear identical to the observer on the respectively viewed partial screen, viewed from a predefined observer angle, and the settings performed are stored in a screen profile.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bildschirmkalibrierung für die originalgetreue Reproduktion von Oberflächenfarben

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

**Veröffentlicht:**

- ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)
- das Anmeldedatum der internationalen Anmeldung ist innerhalb von zwei Monaten nach Ablauf der Prioritätsfrist (Regel 26bis.3)

deren spektrale Reflexionsverteilung bekannt ist, wobei der Bildschirm durch Einstellung von Parametern mit Hilfe von Software und elektronischer Steuerung in jedem Teilbereich des Bildschirms beeinflussbar ist. Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass ein Beobachter in jedem Teilbereich des Bildschirms den reproduzierten Farbeindruck des Bildschirms an den Farbeindruck eines Originals anpasst, indem das Original unmittelbar angrenzend auf der Bildschirmoberfläche mit den Bildschirmfarben verglichen wird und die Bildschirmparameter so lange verändert werden, bis der Farbeindruck des Originals und des Bildschirms an der jeweils betrachteten Bildschirmteilstelle für den Beobachter, betrachtet aus einem vorbestimmten Beobachterwinkel, identisch erscheint, und die vorgenommenen Einstellungen in einem Bildschirmprofil hinterlegt werden.

Verfahren und Vorrichtung zur originalgetreuen Wiedergabe von Farben auf Bildschirmen

1. Hintergrund der Erfindung und Stand der Technik

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur originalgetreuen elektronischen Wiedergabe von Farben und farbigen Bildvorlagen auf einem Bildschirm im direkten Vergleich mit einer physischen Farbvorlage (=Softproof).

Bekannte und übliche Verfahren und Vorrichtungen zum Vergleich von Farben, die einerseits als physikalische Vorlage vorliegen und andererseits auf einem Bildschirm reproduziert werden, benutzen z.B. einen Röhren- oder LCD-Bildschirm, der neben einer Betrachtungskabine (auch Lichtkabine genannt) mit einer schräg angeordneten Auflagefläche unter definierter Beleuchtung angeordnet wird. Ein Beispiel für eine derartige Abmusterung ist in den **Figuren 1a und 1b** skizziert. Eine Betrachtungskabine 1 steht neben einem Bildschirm 2. In der Kabine 1 ist eine Beleuchtung aus mehreren Leuchtstoffröhren L1 - L3 schräg über einer Betrachtungsfläche 4 angeordnet. Diese Beleuchtung L1-L3 sendet Licht 3, bestehend aus direkt einfallender Lichtstrahlung 3.1 und indirektes Licht durch reflektierte Lichtstrahlung 3.2, 3.3 auf eine Betrachtungsfläche 4. Eine originale Farbprobe 4.1 befindet sich auf der Betrachtungsfläche 4 in der Kabine 1, ihre Farbproduktion 4.2 erscheint auf dem Bildschirm 2. Derartige Abmusterungsplätze sind allgemein bekannt und entsprechen auf dem Markt verfügbaren Produkten verschiedener Anbieter.

Eine zu vergleichende Farbe 4.1 wird für eine elektronische Reproduktion mit einem Farbmessgerät ausgemessen oder mit einem Farbscanner für ein ganzes Farbbild aufgenommen, und ihre Farbwerte werden auf dem Bildschirm in elektronischer

Form als Bild reproduziert. Farbwerte als Maß der Farben sind in der Technik durch den CIE1931 2-Grad Normbeobachter oder den CIE1964 10-Grad Beobachter standardisiert. Die Messtechnik zur Messung der Farbwerte ist in DIN 5033 oder für die graphische Industrie in dem Standard ISO 13655 beschrieben. Übliche Farbmessgeräte liefern Farbwerte entweder als standardisierte CIE1931 XYZ-Werte (integrales Farbmessgerät) oder aber sie messen die spektrale Reflexion $\beta(\lambda)$ der Farbprobe (Spektralphotometer). Im letzteren Fall können mit deren Hilfe und mit den durch einen Normbeobachter definierten Spektralwertkurven $x(\lambda)$, $y(\lambda)$ und $z(\lambda)$ die Normfarbwerte X, Y und Z berechnet werden:

$$X = k \int_{380nm}^{780nm} S_{\lambda} \beta(\lambda) x(\lambda) d\lambda, \quad Y = k \int_{380nm}^{780nm} S_{\lambda} \beta(\lambda) y(\lambda) d\lambda, \quad Z = k \int_{380nm}^{780nm} S_{\lambda} \beta(\lambda) z(\lambda) d\lambda \quad \text{Gl. 1}$$

Die Farbwerte sind immer als relative Größen definiert und k ist eine Normierungskonstante. Zur genauen Berechnung der Farbwerte einer Farbprobe muss mit den spektralen Verteilungen der Reflexion der Probe und des Lichtes gearbeitet werden. Dazu muss die spektrale Verteilung S_{λ} der auf die Probe auftreffenden Strahlung durch die Beleuchtung 3 in der Kabine bekannt sein. Diese muss daher sehr genau ausgemessen werden.

Die von der Probe reflektierten Lichtanteile bilden den sogenannten Farbreiz und werden durch das Produkt aus spektraler Verteilung der Beleuchtung der Probe und der Reflexion der Probe beschrieben und spektraler Farbreiz genannt, $\phi(\lambda) = S_{\lambda} \beta(\lambda)$. Der von der Probe reflektierte spektrale Farbreiz wird vom Auge eines Beobachters aufgenommen und trifft auf die Netzhaut des Auges, wo er die Farbwahrnehmung des Beobachters auslöst. Alle spektralen Anteile werden zur Ermittlung der Normfarbwerte über den für das menschliche Auge sichtbaren Wellenlängenbereich von 380 bis 780 nm integriert. Der Wert k in Gl. 1 ist eine Normierungskonstante, welche üblicherweise durch den Y-Wert

einer weißen Farbprobe unter der gleichen Beleuchtung als hellste Farbe oder direkt aus dem Farbwert Y der Lichtquelle bestimmt wird:

$$5 \quad k = 1,0 / \int_{380nm}^{780nm} S_{\lambda} \beta_{\text{weiß}}(\lambda) y(\lambda) d\lambda \quad \text{oder} \quad k = 1,0 / \int_{380nm}^{780nm} S_{\lambda} y(\lambda) d\lambda \quad \text{Gl. 2}$$

Die Farbwerte sind damit bezogene Größen und unterscheiden sich von absoluten Größen, welche z.B. im Lichtfluss oder der Lichtintensität beschrieben werden und die absolute Helligkeit einer Farbe bestimmen.

Für die Reproduktion einer Farbe auf dem Bildschirm 2 wird von den Farbwerten nach Gl. 1 ausgegangen. Für eine exakte Farbreproduktion muss der Bildschirm kalibriert werden, damit ein eingegebener Farbwert auch messtechnisch mit gleichen Farbwerten auf dem Bildschirm reproduziert wird. Hierzu werden heute die bekannten Verfahren des sogenannten "Color Managements" eingesetzt. Die Vorgehensweise zur Reproduktion der Farbwerte auf einem Bildschirm ist durch das "International Color Consortium" (ICC) vereinheitlicht worden und kann z.B. unter <http://www.color.org> über das Internet eingesehen werden.

Wenn die ausgemessenen und unter der Beleuchtung der Betrachtungskabine reproduzierten Farbwerte mit den Farben, die auf dem Bildschirm reproduziert werden, messtechnisch übereinstimmen, dann wird eine visuelle Übereinstimmung der beiden Farben für einen Beobachter erwartet.

In der Praxis wird bisher eine gleichaussehende Reproduktion eines Originals, also einer originalen physischen Farbvorlage, nur unbefriedigend erreicht. Dies hat nach der Erkenntnis des Erfinders mehrere Gründe, die nachfolgend aufgeführt sind.

1.1 Ortsabhängige Verteilung der spektralen Beleuchtung

Ein erster Grund für oft nicht übereinstimmende Farben ist, dass Farbmessgeräte, mit denen die spektrale Reflexion einer Farbe bestimmt wird, eine bestimmte Beleuchtungsgeometrie benutzen, wie sie z.B. in DIN 5033 definiert ist. Dies kann
5 z.B. eine gerichtete Beleuchtung unter 45 Grad sein (sogenannte 45/0 Geometrie), bei der ein Beobachter senkrecht auf die Probe schaut. Benutzt wird auch eine 0/45 Grad Geometrie, bei der die Probe senkrecht beleuchtet und der Beobachter unter 45 Grad auf die Probe schaut oder eine
10 diffuse Lichtmessung mit einer Ulbrichtkugel. In den üblichen Lichtkabinen lässt sich eine definierte Beleuchtungsgeometrie wie die in einem Farbmessgerät nicht exakt nachbilden. Meist wird eine Lichtquelle durch mehrere Leuchtstoffröhren im oberen Bereich einer Kabine realisiert,
15 um eine Probe zu beleuchten. Um die Homogenität der Ausleuchtung zu erhöhen, sind auch Kabinen bekannt, die eine weitere Leuchtstoffröhre im unteren Bereich der Kabine verwenden.

20 Das direkt von den Lichtquellen auf die Probe fallende Licht sollte zudem eine auf der Betrachtungsfläche konstante Spektralverteilung besitzen, denn die Berücksichtigung einer ortsabhängigen Spektralverteilung bei der Farbberechnung würde sehr aufwendig sein. Durch Reflexion an den Wänden der
25 Kabine wird aber zusätzliches reflektiertes Licht (3.2, 3.3 in Figur 1 b) auf die Probe geleitet, welches durch die spektralen Reflexionseigenschaften der Wände in eine andere spektrale Verteilung als die der direkten Strahlung 3.1 überführt wird. Dieses überlagert sich mit lokal
30 unterschiedlicher Verteilung dem direkten Licht, z.B. nahe den Wänden mit stärkerem Einfluss als in der Bildmitte. Zudem sind oft auch Reflektoren R1 - R3 hinter den Leuchtstoffröhren angebracht, um zusätzliches Licht auf die Probe zu lenken. Auch diese Maßnahme führt zu lokal
35 unterschiedlichen Spektralanteilen durch die wellenlängenabhängige Reflexion der Reflektoren. Die Beleuchtung 3 der Probe ist daher weder spektral völlig

homogen noch ist eine eindeutig definierte Beleuchtungsgeometrie wie in Messgeräten nachgebildet.

Um die Verteilung der Helligkeit im Probenbereich zu verbessern, werden auch Streuplatten P vor den Lichtquellen angeordnet. Diese bestehen oft aus Kunststoffen mit bestimmter Riffelung. Auf Grund der wellenlängenabhängigen Lichtbrechung an Kunststoffen ist dann mit winkelabhängiger Spektralverteilung der durchgelassenen Lichtstrahlung zu rechnen.

1.2. Einfluss der Raumbeleuchtung

Bei der Abmusterung von Farben in der Praxis ist es nicht wünschenswert, die Betrachtungskabine und den Bildschirm in einem dunklen Raum aufzubauen. In industriellen Anwendungen wird normalerweise eine Raumbeleuchtung vorgesehen, welche auch ein Arbeiten neben den Geräten der Farbabmusterung ermöglicht. Raumlicht fällt dann aber auch zusätzlich in die Betrachtungskabine ein und beleuchtet auch die daneben angeordnete Bildschirmoberfläche. In der Kabine verändert dies die Wahrnehmung der originalen Farben. Um den Fremdlichtanteil klein zu halten, werden daher die Betrachtungskabinen oft mit sehr großer Tiefe aufgebaut. Dies hat den Nachteil, dass ein "höhlenartiger" Betrachtungseindruck entsteht.

Auf dem Bildschirm bewirkt das zusätzlich durch die Reflexion der Bildoberfläche durch Raumlicht reflektierte Licht eine Verminderung des Bildkontrastes. Zudem ist zu beachten, dass die spektrale Zusammensetzung des Raumlichtes für die Berechnung der zu reproduzierenden Farbe bislang nicht berücksichtigt wird.

1.3 Mangelnde Gleichförmigkeit der Ausleuchtung

Da die Bereiche auf der Auflagefläche der Farbproben in der Betrachtungskabine insbesondere in vertikaler Richtung unterschiedlich weit von den Lichtquellen entfernt sind,

verändert sich die Beleuchtungsstärke auf der Auflagefläche ortsabhängig. Andererseits ist auch die Verteilung der Leuchtdichte auf einem Bildschirm nicht völlig konstant sondern ändert sich lokal. Typisch können Unterschiede der Beleuchtung im Betrachtungskasten im Bereich von 10% bis 20% auftreten. Auch bei Bildschirmen liegen typische Unterschiede der Leuchtdichte von der Bildmitte bis zum Bildrand in diesem Bereich, jedoch ist ihre Verteilung unterschiedlich von der Verteilung in der Betrachtungskabine. Wie schon unter 1.1. erwähnt, werden zur Verbesserung der Gleichförmigkeit Lichtstreuplatten P im Strahlengang eingesetzt und es wird auch eine Betrachtungskabine angeboten, welche im Bodenbereich eine zusätzliche Lichtquelle verwendet, um den Abfall der Beleuchtungsstärke in vertikaler Richtung zu vermindern. Für Bildschirme werden von verschiedenen Firmen Verfahren angeboten, um die Leuchtdichte über dem Bildschirm zu homogenisieren. Mit diesen Verfahren wird eine Reduktion der Unterschiede erreicht, jedoch zeigt die Praxis, dass immer noch sichtbare Helligkeitsunterschiede zwischen den Farben der Originale im Betrachtungskasten und der Reproduktion auf dem Bildschirm vorhanden sind, da nicht erreicht wird, die Leuchtdichteverteilung des Bildschirms und die Beleuchtungsstärke in der Betrachtungskabine exakt aneinander anzupassen.

1.4 Umfeld und Farberscheinung

Ein weiteres Problem, weshalb meistens keine gleich aussehenden Farben erzielt werden, kommt durch die Effekte der Farberscheinung zustande. Die visuelle Wahrnehmung einer Farbe durch einen menschlichen Beobachter hängt von der Verteilung von Farben im direkten Umfeld einer betrachteten Probe und von der Beleuchtung im weiteren Umfeld einer Szene ab. So verändert sich die Wahrnehmung der Helligkeit einer Farbe drastisch mit der Helligkeit der Umgebung und es verschiebt sich die Wahrnehmung des Farbtons mit den Farben der Umgebung in Richtung der Gegenfarben. Diese Effekte der

sogenannten Farberscheinung sind ausführlich z.B. in [1,2] beschrieben. Angenähert können die Verschiebungen der Farbwahrnehmung mit dem Umfeld durch Modelle beschrieben werden. Eines dieser Modelle ist z.B. in einer Arbeitsgruppe der internationalen Beleuchtungskommission CIE in dem Bericht CIE-159-2004 erarbeitet und beschrieben. Wesentlich in die Erscheinung einer Farbe geht der sogenannte Adaptationszustand des Auges ein. Parameter, die die visuelle Erscheinung einer Farbe im Gehirn eines Menschen steuern, sind von der Helligkeit und Farbverteilung der Farben im Gesichtsfeld abhängig, und das visuelle System des Menschen stellt sich innerhalb eines Zeitraumes von ca. 2 min auf diese ein und adaptiert sich an diese.

Die Effekte der Farbwahrnehmung führen nun bei der in den Figuren 1a und 1b skizzierten Abmusterungsanordnung dazu, dass die Farben der Originalvorlage unter der Beleuchtung der Betrachtungskabine im Gesichtsfeld eines Beobachters in anderer Weise erscheinen, als dies nach einem Wechsel der Betrachtungsrichtung auf den Bildschirm mit anderer Umgebung geschieht. Der Adaptationszustand des Auges verändert sich, wenn der Beobachter längere Zeit in eine der Richtungen schaut. Da die Gesamtheit aller Farben und Helligkeiten der Beleuchtung im Gesichtsfeld des Beobachters beim Hin- und Herschauen im Vergleich normalerweise nicht übereinstimmen, erscheinen auch die Farben auf dem Bildschirm neben der Kabine anders als die originalen Farben in der Betrachtungskabine. Für die Aufstellung des Bildschirms wird üblicherweise zumindest eine Umgebungshelligkeit vorgesehen, die etwa 20% der Helligkeit des maximalen Weißwertes in der Bildwiedergabe entspricht. In der Betrachtungskabine aber ist die direkte Umgebung einer Farbvorlage mit derselben Helligkeit beleuchtet wie die Probe selbst.

Durch die Anwendung eines Farberscheinungsmodells, wie z.B. aus der CIE159-2004 bekannt, kann zwar versucht werden,

durch eine Vorverzerrung der elektronisch reproduzierten Farben diese Unterschiede zu kompensieren, die Praxis zeigt aber, dass die verfügbaren Verfahren nicht ausreichen, um eine genaue Übereinstimmung aller Farben durch Berechnung zu erreichen. Hinzu kommt, dass die Beleuchtung der Umgebung und des Hintergrundes lokal auch sehr stark schwankt und mit einer Messtechnik nur schwer zu erfassen und damit auch nicht genau eingerechnet werden kann.

10 **1.5 Genauigkeit des Farbvergleiches**

Als weiterer Punkt ist zu beachten, dass durch die räumlich getrennte Anordnung von originalen und reproduzierten Farben ein Vergleich der Übereinstimmung nur angenähert möglich ist, da auch bei schnellem Wechsel der Betrachtung von Original und Reproduktion der Farbvergleich nur über das Farberinnerungsvermögen des Beobachters möglich ist. In der Praxis können Farbunterschiede bei dieser Art des Vergleiches nur bis auf Unterschiede von CIE $\Delta E_{2000} = 2$ bis 4 erkannt werden (CIE ΔE_{2000} ist das von der CIE empfohlene Maß für Farbabstände). Für viele Anwendungen ist diese Genauigkeit nicht ausreichend.

Es wird heute angestrebt, weltweit Farbbilder und Farbproben elektronisch zu übermitteln und für professionelle Anwendungen und für Design-Prozesse am Bildschirm zu bearbeiten. Ein Vergleich der Ergebnisse solcher Bearbeitungsprozesse ist nur möglich, wenn sichergestellt ist, dass auf dem jeweiligen Bildschirm eine originale Farbprobe genau, d.h. bis auf Farbunterschiede von $\Delta E_{2000} < 1.0$, definiert werden kann. Selbst Farbunterschiede von kleiner als $\Delta E_{2000} = 1$ sind dann noch deutlich sichtbar, wenn sie aneinander grenzen, was in der Praxis beim Zusammenfügen von Farbflächen häufig vorkommen kann, z.B. dann, wenn Teilprodukte aus verschiedenen Produktionslinien zusammengefügt werden sollen.

1.6 Beobachtereigenschaften

Ein Farbvergleich von originaler und reproduzierter Farbe führt auch dann oft zu unterschiedlichen Eindrücken, wenn die spektralen Empfindlichkeitskurven der Zapfenarten des menschlichen Beobachters systematisch von denen abweichen, die durch die Normbeobachter nach CIE definiert sind. In der Praxis sind Unterschiede zwischen verschiedenen Beobachtern und den definierten Normbeobachtern eher die Regel. Hinzu kommt, dass die für das Farbsehen eines Menschen im Auge wirksamen Spektralwertkurven sich mit dem Alter des Menschen verändern. Da weiterhin die Dichte der Zapfen in der Netzhaut vom Mittelpunkt der größten Dichte an unterschiedlich stark abnimmt, verändern sich die an das Gehirn weitergeleiteten Farbsignale mit der überdeckten Farbfläche. Dies wird in der Technik durch den sogenannten Beobachterwinkel beschrieben, unter dem eine Farbfläche in das Auge abgebildet wird. Für die Normbeobachter sind dazu 2° und 10° ausgewählt worden.

Bei der technischen Farbreproduktion muss eine Entscheidung für einen dieser beiden Beobachter getroffen werden. Für großflächige Farbproben wird der 10° -Beobachter eingesetzt, für kleine Farbflächen der 2° -Beobachter. Eine exakte Berücksichtigung aller möglichen Beobachterwinkel ist damit aber nicht möglich.

Grundsätzlich ist eine Anpassung für jeden individuellen Beobachter auch in Abhängigkeit des Alters möglich. Eine Reproduktion ist dann aber nur für diesen einen Beobachter optimierbar.

In der Patentanmeldung DE 101 21 984.9, „Verfahren und Vorrichtung zur visuellen optimierten Darstellung von Farbbildern auf Bildschirmen und/oder deren Vergleich mit Originalen oder gedruckten Bildern“, ist ein erster Schritt offenbart, vorstehend genannte Probleme zu lösen. Der Vorschlag ist in **Figur 2** skizziert. Bei diesem Vorschlag wird eine einzige Kabine 1 verwendet, welche die

Betrachtungsfläche 4 des Originals und den Bildschirm 2 vereinigt. Es wird dabei vorgeschlagen, die Betrachtungsfläche 4 für eine originale Farbprobe 4.1 zusammen mit der Fläche eines Bildschirms 2.2 und der darauf abgebildeten Reproduktion 4.2 in einer Ebene anzuordnen und die farbliche Umgebung für beide gleich zu gestalten. In der Betrachtungsebene 4 wird daher ein der Bildschirmfläche gleicher Betrachtungsbereich 2.1 definiert. Auch wird vorgeschlagen, je einen weißen Rahmen 4.3 um die Betrachtungsproben beziehungsweise den Bildschirm anzuordnen und darum eine neutral graue Umgebungsfläche zu schaffen. Die Gesamtfläche wird möglichst gleichförmig mit einer oder mehreren stabförmigen Lichtquellen L1-L3 beleuchtet. Das Licht 3 trifft unter angenähert 45 Grad auf die Betrachtungs- und Bildschirmfläche, und es wird angenommen, dass ein Beobachter 5 angenähert senkrecht auf die Farbprobe und die Bildschirmfläche schaut, also unter einem Winkel $\alpha = 45$ Grad zur Beleuchtung. Damit werden zwei der vorstehend genannten Problempunkte aus 1.1 und 1.4 gelöst: Die Geometrie der Beleuchtung ist angenähert als 45/0 Grad Geometrie ausgeführt und die originale Farbprobe und die reproduzierte Farbe auf dem Bildschirm sind in der gleichen Umgebung unter gleicher Beleuchtung angeordnet und führen damit auch zu der derselben Farberscheinung.

In der Patentanmeldung DE 101 21 984.9 wird außerdem vorgeschlagen, die Helligkeit einer weißen Farbe, einem Referenzweiß, exakt an die Helligkeit der jeweiligen originalen Farbprobe und der Reproduktion unter der gemeinsamen Beleuchtung anzugleichen. Die weißen Rahmen um die Betrachtungsfläche und um den Bildschirm dienen zur Stabilisierung des Adaptationszustandes des Auges.

2. Aufgabe der Erfindung und Zusammenfassung des Erfindungsvorschlages

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, Lösungen vorzuschlagen, die die unter 1.1 bis 1.5 genannten Probleme

vermeiden, und eine für den Beobachter visuell garantiert gleiche Reproduktion von Farben auf dem Bildschirm im Vergleich mit originalen Farben unter einer definierten Beleuchtung sicherzustellen.

5

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand untergeordneter Ansprüche.

- 10 Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zur
Bildschirmkalibrierung vorgeschlagen. Hierbei wird der
Bildschirm in einer farblich neutral gestalteten Fläche
angeordnet, diese Fläche unter angenähert 45 Grad durch
eine, vorzugsweise stabförmige, Lichtquelle beleuchtet und
15 originale Farbproben auf der Bildschirmfläche angeordnet, so
dass die reproduzierten Farben auf dem Bildschirm im
direkten Vergleich neben beziehungsweise anstoßend an die
originalen Farben für einen Beobachter zur gleichen
Farbwahrnehmung führen. Dadurch wird erreicht, dass die
20 exakte spektrale Lichtverteilung am Ort der Farbproben
ortsabhängig ausgemessen wird und damit die originalen
Farbwerte berechnet werden und diese auf dem Bildschirm
unter Einbezug der gemessenen Lichtverteilung reproduziert
werden, wobei sowohl die Hauptlichtquelle als auch
25 zusätzliches von außen auftreffendes Fremdlicht mit seiner
jeweiligen spektralen Verteilung berücksichtigt wird.
Außerdem können für die Farbberechnung variable
Grundspektralwertkurven von Beobachtern benutzt werden, die
einerseits den menschlichen Benutzern besser angepasst sind
30 als die des Normbeobachters und andererseits von der
mittleren betrachteten Farbflächengröße beziehungsweise dem
zugeordneten Beobachterwinkel einer zusammenhängenden
Farbfläche abhängig gemacht werden, wobei auch die
Bildschirmkalibrierung variabel in Abhängigkeit von den
35 jeweils benutzten Grundspektralwertkurven berechnet wird.

Erfindungsgemäß wird auch vorgeschlagen, zur Verbesserung der Gleichförmigkeit der Beleuchtung auf der Bildfläche mechanische Masken im Lichtstrahlengang anzuordnen, die in bestimmten berechneten Formen das Licht von einer oder
5 mehreren Lichtquellen ortsabhängig blockieren oder durchlassen.

Bei den heute üblichen Verfahren zum Softproof wird versucht, die Beleuchtungsverteilung auf der
10 Betrachtungsfläche des Originals und die Verteilung der Leuchtdichte auf dem Bildschirm jeweils so zu gestalten beziehungsweise zu korrigieren, dass möglichst gute Gleichförmigkeit erreicht wird. In der Praxis stößt dies aber auf große technische Schwierigkeiten und eine
15 Gleichförmigkeit im Bereich von 1 % der mittleren Helligkeit wird nicht erreicht. Um nicht sichtbare Unterschiede der Reproduktion zu den Originalfarben zu erreichen, ist jedoch eine Genauigkeit von 1 % erforderlich.

20 Im Gegensatz dazu wird nun in der vorgeschlagenen Erfindung die Bildschirmhelligkeit exakt an eine vorhandene ortsabhängige Beleuchtung angepasst und damit eine hohe Genauigkeit von direkt aneinandergrenzenden Originalfarben und ihrer Reproduktion von besser als 1% der
25 Helligkeitsunterschiede erreicht, wobei über die gesamte Bildfläche lokale Helligkeitsunterschiede von größer als 1 % zugelassen sind.

Weiterhin wird erfindungsgemäß ein Verfahren zur Darstellung
30 eines Farbeindrucks eines Originals an einen entfernten Beobachter durch eine Farbreproduktion auf einem Bildschirm vorgeschlagen, wobei:

- vom Original unter Berücksichtigung gegebener Beleuchtungsverhältnisse eine objektspezifische spektrale Reflexionsverteilung bestimmt wird,
35
- die objektspezifische spektrale Reflexionsverteilung an den entfernten Beobachter übertragen wird,

- und unter Berücksichtigung eines gegebenen Bildschirmprofils, gegebener Beleuchtungsverhältnisse an einem Bildschirm, und eines gegebenen spektralen Empfindlichkeitsprofils des entfernten Beobachters, auf diesem Bildschirm der Farbeindruck des Originals für den Beobachter unter den gegebenen Lichtverhältnissen am Bildschirm reproduziert wird.

- Außerdem schlagen die Erfinder auch eine Vorrichtung zur Reproduktion eines Farbeindrucks eines Originals bei einem entfernten Beobachter vor, aufweisend einen Bildschirm zur Farbreproduktion, einen Computer mit Software zur Steuerung des Bildschirms und eine Beleuchtungsvorrichtung für die definierte Beleuchtung der Umgebung des Bildschirms, mit den folgenden Merkmalen:
- der Bildschirm ist in einer Kabine oder einem Raum angeordnet,
 - die Beleuchtung wird durch ausgedehnte stabförmige Lichtquellen ausgeführt, die oberhalb oder unterhalb des Bildschirms derart montiert sind, so dass die horizontale Bildschirmmitte im vertikalen Schnitt unter 45 Grad beleuchtet wird,
 - und eine Homogenisierung der Beleuchtungsverteilung auf der Bildfläche wird erreicht, indem Teillichtabdeckungen (=Lichtmasken) im Strahlengang des Lichtes von den Lichtquellen bis zum Bildschirm angeordnet sind, welche aufgrund ihrer Formgebung Anteile der Lichtstrahlen von den Lichtquellen auf dem Wege zum Bildschirm orts- und/oder winkelabhängig blockieren oder hindurchlassen.

3. Besondere Ausführung des Erfindungsgedankens und Beispiele

- Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Figuren 3 bis 5 ausführlicher erläutert. Für die Erläuterung werden Farbwerte beispielhaft durch XYZ-Werte und Grundspektralwertkurven durch $x(\lambda)$, $y(\lambda)$ und $z(\lambda)$ beschrieben, die nicht unbedingt den Normfarbwerten beziehungsweise den Normspektralwertkurven entsprechen. Dies

bedeutet keine Einschränkung, da Farbwerte beziehungsweise Grundspektralwertkurven nach der Gesetzmäßigkeit der Farbmatrik durch beliebige lineare Kombinationen von Farbmischkurven, die für einen menschlichen Beobachter
5 ermittelt wurden, dargestellt werden können.

Die Erfindung geht ferner davon aus, dass alle zu reproduzierenden Originalfarben durch ihre spektralen Reflexionseigenschaften beschrieben sind. Diese können mit
10 handelsüblichen Spektralphotometern gemessen werden, wenn homogene Farbflächen vorliegen. Für Bilder wird angenommen, dass multispektrale Bildaufnahmen vorliegen, bei denen für jeden Bildpunkt das Spektrum der Reflexion aufgenommener Vorlagen beschrieben ist.

15

In **Figur 3** ist ein möglicher Grundaufbau für die Farbreproduktion und die Beleuchtung der Vergleichsprobe nach dem Erfindungsgedanken dargestellt. Das Ziel der Erfindung ist es, eine absolut zuverlässige und jederzeit
20 kontrollierbare Farbwiedergabe auf einem Bildschirm im Vergleich zu originalen Oberflächenfarben unter einer definierten und spektral eindeutig beschriebenen Lichtquelle zu ermöglichen. Dazu wird in einer Betrachtungskabine 1 eine Betrachtungsfläche 4 angeordnet, in die der Bildschirm 2 mit
25 seiner Fläche 2.2 eingepasst ist. Die Betrachtungsfläche 4 wird mit einer vorzugsweise stabförmigen Lichtquelle L1 beleuchtet. Die Länge dieser Lichtquelle L1 überdeckt die gesamte Breite der Betrachtungskabine 1 und wird bewusst länger gewählt als die Bildschirmbreite, damit im Bereich
30 des Bildschirms in horizontaler Richtung eine möglichst gleichförmige Beleuchtungsstärke erreicht wird. Die Neigung der Betrachtungsfläche 4 ist so gewählt, dass die direkten Strahlen der Lichtquelle unter angenähert 45 Grad auf die Bildmitte auftreffen. Es wird weiterhin angenommen, dass ein
35 Beobachter 5 unter normalen Betrachtungsbedingungen senkrecht auf die Bildmitte schaut. Diese Beleuchtung nähert dann den bei der Messung von Farben nach DIN 5033 unter dem

Beleuchtungswinkel von 45° und dem Beobachterwinkel von 0 Grad (45/0 Grad) festgelegten Standard an.

Alternativ kann die Erfindung aber auch mit einer
5 flächenförmig ausgedehnten Lichtquelle - dies können
einerseits eine oder wenige an sich flächenförmig
ausgestaltete Lichtquellen oder es kann andererseits eine
Vielzahl von punktförmigen und flächig verteilten
Lichtquellen sein - ausgeführt werden. Dann sollte
10 allerdings beachtet werden, dass auch die Messung der
Originalfarben eine Messgeometrie aufweisen sollte, welche
die gleiche Geometrie der einfallenden Lichtstrahlen benutzt
wie sie relativ zur Betrachtungsfläche entstehen, da sonst
eine farbgleiche Reproduktion kaum möglich ist. Anwendbar
15 ist auch die Nutzung von LED-Leuchten, die zusätzlich den
Vorteil bieten, dass die Gleichförmigkeit der örtliche
Verteilung der Beleuchtung durch gezielte Steuerung der
Helligkeit der LED-Leuchten verbessert werden kann.

20 Die aktive Fläche 2.2 des Bildschirmes wird beispielhaft im
Bereich der Beleuchtung mit einer farblich gleichförmigen
Fläche 4 umgeben. Alternativ kann ein weißer Rahmen um die
Bildfläche angeordnet werden, wie es in der Patentanmeldung
DE 101 21 984.9 beschrieben und begründet ist. Im weiteren
25 Umfeld ist es zweckmäßig, einen Grauton bei einer spektral
möglichst unabhängigen, neutralen Reflexion von etwa 20%
vorzusehen. Bei dieser Reflexion von 20% empfindet ein
Beobachter etwa eine Helligkeit von 50% von der einer weißen
Fläche mit der Reflexion von angenähert 100%, dies
30 entspricht also einer mittleren Bildhelligkeit im Umfeld.
Der weiße Rahmen 4.3 hat sich als zweckmäßig erwiesen, da er
den Adaptationszustand des Auges und damit die
Farbwahrnehmung einer Bilddarstellung stabilisiert und mit
seinen Farbwerten X_w , Y_w und Z_w (der Index w steht für
35 weiss) unter der Beleuchtung einer Bezugslichtart definiert.
Der Rahmen sollte möglichst mit einer weißen und matten
Oberfläche von angenähert konstanter spektraler Reflexion im

sichtbaren Bereich beschichtet sein, und er sollte keine optischen Aufheller enthalten.

Für einen Farbvergleich kann eine originale Probe 4.1
5 entweder im direkten Umfeld des Bildschirms oder auf dem
Bildschirm positioniert werden. Im letzteren Fall ist ein
bester Farbvergleich möglich, wenn eine Reproduktion 4.2 der
Farbe auf dem Bildschirm direkt an die originale Probe
angrenzt.

10

Für die Reproduktion müssen zunächst die Farbwerte einer
Probe bestimmt werden. Dazu muss die spektrale
Lichtverteilung S_λ am Ort der Probe mit einem
Spektroradiometer ausgemessen werden. Bei Farbverteilungen
15 in Bildern empfiehlt es sich, die in dem Patent DE 41 19 489
C2 beschriebene Multispektraltechnik einzusetzen, um für
jeden Bildpunkt eines Bildes die Reflexionsverteilung $\beta(\lambda)$ zu
ermitteln. Mit Hilfe der Gl.1 können dann die Farbwerte XYZ
beziehungsweise die in Richtung des Beobachters
20 reflektierten Farbreize berechnet werden.

Die so ermittelten Farbwerte des Bildes der Farbprobe 4.1
werden über den Bildschirm mit Hilfe der bekannten Verfahren
zur Steuerung von Bildschirmen elektronisch derart
25 reproduziert, dass auf dem Bildschirm dieselben Farbwerte
XYZ im Farbfeld 4.2 erscheinen. Wenn dies unter
Berücksichtigung der farbmetrischen Eigenschaften des
Beobachters mit ausreichender Genauigkeit der Fall ist, dann
wird die elektronisch reproduzierte Farbe in der
30 Betrachtungsvorrichtung durch einen Beobachter genau so
wahrgenommen wie die Originalprobe, welche direkt an das
Feld der reproduzierten Farbe angrenzt.

Allerdings sind zunächst die Farbwerte der Probe nur als
35 relative Werte bekannt und es muss noch ermittelt werden,
mit welcher absoluten Helligkeit diese auf dem Bildschirm 2
reproduziert werden müssen. Dazu wird erfindungsgemäß eine

visuelle Vergleichsmethode angewendet, mit der ein Helligkeitsprofil erstellt wird. Entsprechend den **Figuren 4a und 4b** wird dazu eine Maske 6 vor dem Bildschirm angebracht, welche eine Anzahl von regelmäßig angeordneten Fenstern mit
5 Mittelpunkten 6.2 enthalten. Die Mittelpunkte der Fenster bilden ein gleichförmiges Raster über der Bildfläche. Hinter jedem Fenster ist jeweils eine physikalische Testfarbenfläche 4.1, z.B. eine homogene bedruckte Papierprobe, angebracht, welche jeweils z.B. die obere
10 Hälfte eines Fensters abdeckt. Die untere Hälfte ist offen und hinter diesen Öffnungen werden die Farben 4.2 durch den Bildschirm reproduziert. Die reproduzierten Farben stoßen damit direkt an ihre Originale an und können bestmöglich verglichen werden.

15 Erfindungsgemäß wird zur Ermittlung des Helligkeitsprofils eine Software benutzt, mit der die Helligkeit jeder reproduzierten Farbe in einem Fenster individuell eingestellt werden kann. Diese Einstellung wird z.B. manuell
20 über ein getrenntes Bildschirmmenü eines Computers durchgeführt, der den Bildschirm 2 zur Farbdarstellung steuert. Die von jeder Testfarbe reflektierte Strahlung 4.1.1 der Originalfarbe 4.1 und die direkt räumlich anschließende Strahlung 4.2.1 des Bildschirmes führen zu
25 Farbreizen, die sich im Auge des Beobachters vor dem Bildschirm mit bestmöglicher Empfindlichkeit vergleichen lassen. Visuell ist damit ein empfindlicher Abgleich der Helligkeit in jedem Fenster möglich. Die Helligkeitswerte in der Bildmitte jedes Fensters nach dem erfolgten Abgleich
30 werden dann als Raster über der Bildschirmfläche gespeichert. Eine anschließende zweidimensionale Interpolation realisiert ein Helligkeitsprofil über dem Bildschirm, welches als Referenz ortsabhängig in die zu reproduzierenden Farben eingerechnet wird und damit eine
35 exakte Reproduktion auch der absoluten Helligkeit der Farben in jedem Bildpunkt garantiert. Dabei ist vorausgesetzt, dass

sich die Helligkeit auf dem Bildschirm durch die Beleuchtung nur stetig und nicht sprunghaft ändert.

Für die Anwendung in der Praxis ist der visuelle Abgleich
5 für alle Rasterpunkte beziehungsweise Fenster aufwendig.
Erfindungsgemäß wird daher alternativ vorgeschlagen, den
Abgleich mit Hilfe einer Kameratechnik zu automatisieren.
Dazu wird das Bild der Maske 6 mit einer Kamera, welche das
Gesamtbild aufnimmt, abgetastet. Die Kamera muss durch
10 geeignete optische Filter unter Berücksichtigung der
spektralen Empfindlichkeit des Bildsensors so ausgestattet
werden, dass ihre effektive spektrale Empfindlichkeit an die
Hellempfindlichkeitskurve V_λ des Beobachters angepasst ist.
Mit einer Bildverarbeitung werden dann in dem Kamerabild die
15 Bereiche jedes Fensters der Maske mit oberem und unteren
Ausschnitt selektiert und darin gemittelte Signale gebildet.
Die absolute Größe der Signale über der Bildfläche ist wegen
der optische Abbildung und der Homogenität des Bildsensors
unzuverlässig. Für die Ermittlung des Helligkeitsprofils
20 sind jedoch nur die relativen Signale zur Originalfarbe
notwendig. Dazu wird automatisiert in einem Regelkreis der
jeweilige Helligkeitswert hinter jedem Fenster des
Bildschirmes durch die Software so gesteuert, dass die durch
die Messkamera detektierten Signale für die obere und untere
25 Hälfte jedes Fensters gerade gleich groß werden, also ihre
Differenz verschwindet. Die absoluten Signalwerte spielen
dann keine Rolle mehr. Die so gefundenen Helligkeitswerte
für die Steuerung des Bildschirmes werden gespeichert und
für die weitere Anwendung interpoliert.

30 Die zur Beleuchtung der Originalfarben benutzte
Lichtstrahlung trifft auch auf die Oberfläche des
Bildschirmes. Ein Teil des auftreffenden Lichtes wird damit
zusätzlich zu den Farbwerten X_p , Y_p und Z_p der Reproduktion
35 in Richtung des Beobachters reflektiert. Um diesen Einfluss
zu kompensieren, wird der an der Bildoberfläche reflektierte
Anteil radiometrisch vermessen und daraus werden

reflektierte Farbwerte X_r , Y_r und Z_r berechnet. Für eine Reproduktion eines Farbwertes X_p , Y_p und Z_p werden diese Anteile dann zunächst subtrahiert und nur die Differenz $X_r - X_p$, $Y_r - Y_p$ und $Z_r - Z_p$ wird als Farbe auf dem Bildschirm reproduziert. Für den Beobachter addiert sich dann der an der Bildschirmoberfläche reflektierte Anteil physikalisch zu dem reproduzierten des Bildschirms und ergibt in der Summe die gewünschten Werte der Originalfarbe. Bei dieser Vorgehensweise muss natürlich zur Berechnung der Werte X_r , Y_r und Z_r das ausgemessene Helligkeitsprofil berücksichtigt werden.

Alternativ zu dem vorstehend beschriebenen Verfahren zur Berücksichtigung von Streulicht kann auch so vorgegangen werden, dass die Bildschirmkalibrierung direkt mit eingeschalteter Beleuchtung und/oder Fremdlicht durchgeführt wird und damit ein Bildschirmprofil erzeugt wird, welches den an der Oberfläche reflektierten Lichtanteil enthält. Dabei muss allerdings darauf geachtet werden, dass die Helligkeit der Beleuchtung dem endgültig geforderten Wert der erzeugten Farben entspricht.

Die an der Bildschirmoberfläche reflektierten Lichtanteile reduzieren den effektiven Bildkontrast, denn die minimalen Farbwerte auf der Bildoberfläche entsprechen dann mindestens dem reflektierten Lichtanteil. Für die Anwendung der Erfindung muss daher darauf geachtet werden, dass ein Bildschirm mit niedriger Oberflächenreflexion benutzt wird.

Praktisch brauchbare Bildschirme besitzen in der hier vorgeschlagenen Beleuchtungsgeometrie Reflexionswerte im Bereich von 0,5 bis 0,6 %, d.h. es sind immer noch Bildkontraste von nahezu 200 möglich, was für eine sehr gute Bildreproduktion ausreicht.

35

Die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens und der erfindungsgemäßen Vorrichtung liegen darin, dass nun

originale Farbproben direkt mit den elektronisch reproduzierten Proben verglichen werden können und die Sicherheit darin besteht, dass die Farben originalgetreu reproduziert werden. Statt einzelner Proben können natürlich
5 auch ganze Farbbilder mit der Erfindung reproduziert und verglichen werden, und es wird eine exakte Farbgleichheit erzielt, wenn die Farbwerte im Bild spektral aufgenommen und damit die für die Reproduktion benutzte Lichtquelle L1 mit ihrer spektralen Verteilung genau entsprechend den Formeln
10 in Gl.1 eingerechnet werden kann. Die hier dargestellte Erfindung eignet sich daher besonders für die Wiedergabe und den Vergleich multispektral aufgenommener Bilder, da diese die spektrale Information für jeden Bildpunkt bereitstellen.

15 Die in der Kabine 1 in Figur 3 angeordnete Betrachtungsfläche 4 mit dem Bildschirm 2 ist im oberen Bereich relativ nahe an der Lichtquelle L1 und im unteren Bereich relativ weit von der Lichtquelle entfernt. Dadurch entstehen Unterschiede der Beleuchtungsstärke am oberen und unteren Rand des Bildschirms. Visuell kann ein menschlicher
20 Beobachter die Helligkeiten direkt aneinander stoßende Farbflächen sehr empfindlich unterscheiden, Helligkeitsunterschiede über größere Abstände sind dagegen nur sehr unempfindlich wahrnehmbar, da das visuelle System die wahrgenommene Helligkeit nach einem der dritten Wurzel
25 der physikalischen Intensität folgenden Verlauf wahrnimmt. Helligkeitsunterschiede im Bereich von 10 % über der Bildfläche werden daher kaum wahrgenommen. Größere Unterschiede wirken dagegen störend.

30 Um die Unterschiede der Beleuchtungsstärke auf der Betrachtungsfläche 4 auf ein unmerkliches Maß zu verringern, wird in einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung vorgeschlagen, Masken in der Nähe der Lichtquellen im
35 Lichtstrahlengang anzuordnen, mit denen eine ortsabhängige, teilweise Abschattung der Beleuchtung erreicht wird. Damit die Masken die spektrale Lichtverteilung nicht durch ihre

spektrale Transmission beeinflussen, wird vorgeschlagen, mechanische Masken mit bestimmten Profilen zu verwenden, die Lichtanteile lokal entweder ganz blockieren oder hindurchlassen.

5

Ein typisches erfindungsgemäßes Beispiel ist in **Figur 5a** skizziert. Dargestellt ist ein Schnitt durch die Oberfläche des Bildschirms 2 in horizontaler Lage. Die Bemaßung der x- und y-Koordinaten entspricht bei -15 dem unteren Bildrand, bei +15 dem oberen Bildrand. Ferner sind im x/y-Koordinatensystem beispielhaft als Beleuchtung zwei dicht nebeneinander liegende Leuchtröhren L1 und L2 durch ihren Querschnitt skizziert. Vor den Leuchtstoffröhren sind zwei Lichtmasken 3.4.1 und 3.5.1 angeordnet, die ein Profil entsprechend den in den **Figuren 5b und 5c** dargestellten rechtwinkligen Längsschnitten besitzen.

Die Lichtmasken 3.4.1 und 3.5.1 sind so angeordnet, dass alle Lichtanteile 3.4.2 und 3.5.2 beider Leuchtstoffröhren den unteren Bildrand bei der Lage -15 noch ungehindert erreichen. Für Winkel der Lichtstrahlen in Richtung der Bildmitte bei der Bemaßung 0/0 beziehungsweise dem oberen Bildrand +15 werden die Lichtanteile zunehmend abgeschattet. Für das Licht der Leuchtstoffröhre L1 entsteht dadurch ein Verlauf der Beleuchtungsstärke 7.1, der vertikal in Richtung der zusätzlich links als Abszisse dargestellten Lichtintensität I und horizontal über dem Querschnitt des Bildschirms aufgetragen ist und am oberen Bildrand den Wert 0 erreicht. Der entsprechende Verlauf durch die Leuchtröhre L2 ist in 7.2 dargestellt. Durch das Zusammenwirken von kurzem Abstand zur Lichtquelle und der berechneten Abschattung durch die Maske 3.5.1 nimmt die Beleuchtungsstärke noch bis zum oberen Bildrand bei +15 zu. Beide Beleuchtungskurven zusammen ergeben den Verlauf 7.3, der am unteren Bildrand einen Abfall von nur noch 10 % zeigt, insgesamt aber zu einem weitgehend gleichförmigen Verlauf der Beleuchtungsstärke führt. Durch eine Veränderung

der Maskenprofile kann die beschriebene Verteilung der Beleuchtungsstärke in weiten Grenzen variiert und an praktische Gegebenheiten angepasst werden, ohne dass die spektrale Verteilung der Lichtanteile gestört wird.

5

Bei der Anwendung der Erfindung in einer Betrachtungskabine sollte allerdings noch berücksichtigt werden, dass auch Raumlicht aus der beleuchteten Umgebung des Arbeitsplatzes auf die Betrachtungsfläche und den Bildschirm auffallen kann. Versuche haben gezeigt, dass für eine typische Büroumgebung, bei einer Helligkeit des Bildschirms in der Größenordnung von 200 cd/m^2 , für die hellsten Bildbereiche die durch Raumlicht aus der Umgebung verursachte Aufhellung von Originalfarben im Bildschirmbereich bei etwa 5 bis 7% liegt.

15

Für Lichtanteile von außen in dieser Größenordnung wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, die Raumlichtanteile spektral und in ihrer örtlichen Verteilung zu vermessen und in die Reproduktion der Farben einzubeziehen. Dabei wird erfindungsgemäß in gleicher Weise vorgegangen, wie vorstehend für die Berechnung von Farben unter der Hauptlichtquelle beschrieben wurde. Die spektrale Verteilung des einfallenden Lichtes muss zunächst mit einem Radiometer gemessen werden. Radiometer sind zur Zeit noch relativ aufwendig und teuer. Langfristig kann aber auch vorgesehen werden, ein Radiometer im vorderen Bereich der Betrachtungskabine einzubauen und damit kontinuierlich die spektrale Verteilung von einfallendem Fremdlicht zu messen.

20

Neben der spektralen Verteilung sollte für die Berechnung auch das Helligkeitsprofil durch Raumlicht auf der Bildschirmfläche ermittelt werden. Dazu wird die interne Lichtquelle der Betrachtungskabine abgeschaltet und die Technik mit der Testmaske nach den Figuren 4a und 4b in gleicher Weise durchgeführt, wie vorstehend für die interne Lichtquelle beschrieben. Die Farbwerte der Originalfarben in

25

30

35

den Fenstern der Maske werden dann für die spektrale Verteilung des Fremdlichtes berechnet. Mit dem ermittelten Helligkeitsprofil des Fremdlichtes werden die zu reproduzierenden Farbwerte $X_{P,F}$, $Y_{P,F}$ und $Z_{P,F}$ bestimmt. Dabei
5 wird auch erneut die Reflexion von Fremdlicht an der Bildschirmoberfläche berücksichtigt. Werden anschließend die berechneten Werte auf dem Bildschirm reproduziert, dann erscheinen die Originalfarben identisch mit den reproduzierten Farben.

10

Die Reproduktion mit eingeschalteter interner Beleuchtung 3 benutzt dann das Superpositionsprinzip, wobei vorausgesetzt ist, dass das Bildschirmprofil eine entsprechende Linearisierung der Darstellung von Farbwerten bereitstellt,
15 d.h. es werden die Farbwerte $X_P + X_{P,F}$, $Y_P + Y_{P,F}$ und $Z_P + Z_{P,F}$ auf dem Bildschirm dargestellt.

20

Das vorstehend beschriebene erfindungsgemäße Verfahren zur Farbreproduktion ist bereits in einem Labormodell
erfolgreich realisiert worden und ermöglicht eine originalgetreue Reproduktion, solange keine stärkeren Fremdlichtanteile direkt senkrecht auf die Bildschirmfläche
auftreffen und Glanzeffekte verursachen. Auf die Vermeidung von Glanzeffekten durch Fremdlicht aus der Umgebung des
25 Arbeitsplatzes muss daher nach wie vor geachtet werden.

30

Um die Berücksichtigung von Fremdlicht noch flexibler zu gestalten, wird gemäß der Erfindung auch vorgeschlagen, im Bereich rund um den Bildschirm auf der Betrachtungsfläche
Lichtsensoren anzuordnen, die eine spektrale Empfindlichkeit gemäß der Hellempfindlichkeit V_λ des menschlichen visuellen Systems besitzen. Solche Sensoren sind kommerziell
verfügbar. Eine mögliche Anordnung solcher Sensoren ist in
35 **Figur 6** skizziert, wo die Betrachtungskabine 1 mit Bildschirm 2, Betrachtungsfläche 4 und Farbproben 4.1 dargestellt wird. Beispielhaft sind acht Sensoren 8 rund um den Bildschirm eingezeichnet. Damit kann angenähert die

Helligkeitsverteilung und insbesondere der Abfall vom unteren Bildrand bis zum oberen Bildrand abgeschätzt werden. Es wird vorgeschlagen, ein für Fremdlicht zunächst genau ermitteltes Helligkeitsprofil damit pauschal nachzuregeln, zum Beispiel indem die Randparameter des Profils auf mathematischem Wege durch globale Verbiegung des Profils an die gemessenen Werte angepasst werden, wenn sich das Fremdlicht verändert. Da sich die Sensoren in der Ebene befinden, in der im Betrieb des Arbeitsplatzes auch u.U. Farbproben angebracht werden, sollte eine Nachkalibrierung unter Nutzung der Signale der Sensoren 8 beispielsweise zu Beginn einer Arbeitsphase oder nach Hinweis auf einem Monitor eines Steuercomputers automatisiert durchgeführt werden. Während dieser Nachkalibrierung muss die Betrachtungsfläche freigehalten werden.

In Figur 6 ist auch eine mögliche Position 9 für die spektrale Messung des Fremdlichtes mit einem fest eingebauten Radiometer skizziert, welches ständig die Spektralverteilung des Fremdlichtes ermittelt und in die Berechnung einspeist.

Zusätzlich kann auch vorgesehen werden, die Helligkeit der internen Lichtquelle über Lichtsensoren zu stabilisieren, die im oberen Bereich der Kabine so angeordnet werden, dass sie kein Fremdlicht empfangen.

Alternativ wird auch vorgeschlagen, die gesamte Beleuchtung des Bildschirms nur durch eine feste Raumbeleuchtung z.B. als Deckenbeleuchtung in einem Raum zu realisieren, also gar keine Kabine mehr zu verwenden. Sinngemäß kann das Verfahren der Farbreproduktion durch Ausmessen der spektralen Verteilung und Helligkeit der Beleuchtung am Ort des Bildschirms dann ebenfalls angewendet werden. Vorzugsweise sollte für diesen Fall das Deckenlicht dann aber unter angenähert 45 Grad auf die Bildfläche auftreffen, und Glanzeffekte durch Lichtanteile in der Nähe der Richtung

senkrecht zum Bildschirm müssen vermieden werden. Diese Lösung erfordert allerdings eine zeitlich konstante Beleuchtung in einem abgeschlossenen Raum. Veränderungen der Helligkeit von Farben, die am Bildschirm reproduziert werden können, sind durch die maximale Bildhelligkeit begrenzt. Dadurch sind die hohen Helligkeiten von natürlichem Sonnenlicht und durch ein Fenster einfallendes Licht zumindest mit der zur Zeit verfügbaren Bildschirmtechnik nicht reproduzierbar.

10

Wie bereits in der Einleitung erwähnt wurde, kann eine exakt mit einer Originalfarbe übereinstimmende Farbreproduktion nur erreicht werden, wenn die tatsächlich wirksamen Grundspektralwertkurven des Beobachters in der Berechnung benutzt werden. Diese sind von individuellen Eigenschaften des Beobachters, wie z.B. von seinem Alter abhängig, sie verändern sich aber auch systematisch mit dem

15

Beobachterwinkel als Öffnungswinkel ω , unter dem eine Farbfläche betrachtet wird. Da zur Zeit noch keine einfachen

20

Messmethoden für die Ermittlung von Grundspektralwertkurven eines menschlichen Beobachters vorhanden sind, können die grundsätzlichen Eigenschaften eines Beobachters nur durch Auswahl von Grundspektralwertkurven berücksichtigt werden, für die die besten Ergebnisse erzielt werden. Es ist

25

bekannt, dass Grundspektralwertkurven wie z.B. die von Judd 1951 oder Stiles 1959 gemessenen [3] für viele Beobachter bessere visuelle Ergebnisse liefern als die Normspektralwertkurven.

30

Die Abhängigkeit von dem bei der Betrachtung wirksamen Beobachterwinkel ist dagegen durch Modelle beschrieben worden [4]. Mit diesen Modellen kann eine Veränderung von Grundspektralwertkurven mit dem Beobachterwinkel berechnet werden. Es wird in einer weiteren Ausgestaltung der

35

Erfindung vorgeschlagen, mit dem Beobachterwinkel ω einer Farbfläche variable Spektralwertkurven bei einer Farbreproduktion im Softproof-Arbeitsplatz zu verwenden. Die

dazu notwendigen Spektralwertkurven als Funktion des Beobachterwinkels ω für einen gewählten Beobachter i können dazu als Modell mathematisch jeweils berechnet werden. Für die Praxis zweckmäßiger ist eine Vorberechnung in Stufen des Winkels, mit denen sich die Funktionen nur geringfügig ändern, beispielsweise in Stufen von einem Grad.

Anhand von **Figur 7** wird beispielhaft dargestellt, wie variable Spektralwertkurven bei der Bildreproduktion erfindungsgemäß eingesetzt werden können. Angenommen wird, dass die Spektralwertkurven $x_i(\lambda, \omega)$, $y_i(\lambda, \omega)$ und $z_i(\lambda, \omega)$ für verschiedene Beobachter i und in Schritten abgestufte Beobachterwinkel ω in einer Datenbank 10 unter 10.1 gespeichert sind. Für eine Reproduktion muss ein Beobachter i ausgewählt werden. Die Wahl des für eine Farbfläche gültigen Beobachterwinkels ω kann aus der darzustellenden Bildinformation abgeleitet werden. Das Bild wird dazu in Bereiche mit angenähert gleicher Farbe segmentiert. Für einen solchen Bereich 11.1 wird dann eine mittlere Größe z.B. aus dem Flächeninhalt bestimmt, der dann einem mittleren Durchmesser D der Farbfläche zugeordnet wird. Dieser wird mit dem - hier nicht dargestellten - Abstand A des Beobachters i vom Bildschirm in den Beobachterwinkel von angenähert $\omega \cong D/A$ umgerechnet. Mit dem Beobachterwinkel ω wird dann - abgestuft in Schritten - ein Satz von Spektralwertkurven aus der Datenbank abgerufen. Mit dem Spektrum $\beta(\lambda)$ der Bildpunkte der Farbfläche, die z.B. mit einer multispektralen Farbaufnahme gemessen wurde, kann dann für jeden Bildpunkt der auf dem Bildschirm zu reproduzierende Farbwert berechnet werden, wobei, wie vorstehend beschrieben, das erfindungsgemäße Berechnungsverfahren unter Einbezug von interner Lichtquelle und Fremdlicht sowie Helligkeitsprofil und Lichtreflexion an der Bildschirmoberfläche in die Farbwertberechnung einbezogen werden. Der jeweils für einen Bildpunkt berechnete Farbwert $X_p(\omega)$, $Y_p(\omega)$ und $Z_p(\omega)$ wird über ein beobachterspezifisches Bildschirmprofil $P_i\{\omega\}$ auf dem

Bildschirm reproduziert, indem in der Signalwertberechnung 16 über das Bildschirmprofil $P_i(\omega)$ die Steuersignale R_p , G_p und B_p des Bildschirms 2 für eine Farbe berechnet werden und darüber das Farbbild 11.2 auf dem Bildschirm 2 reproduziert werden.

Bei dieser Reproduktion muss beachtet werden, dass auch die Kalibrierung des Bildschirms, also das sogenannte Bildschirmprofil, jeweils abhängig von dem gewählten Beobachter und seinen Grundspektralwertkurven neu erstellt werden muss. Das Bildschirmprofil beschreibt den Zusammenhang zwischen den zur Steuerung der Farben benutzten RGB Signalen am Eingang des Bildschirms und den daraus auf der Bildschirmoberfläche erzeugten Farbwerten, z.B. in X, Y, Z. Dieser Zusammenhang wird messtechnisch ermittelt und kann analytisch durch ein Modell oder als Tabelle von Stützpunkten beschrieben werden (=Rückwärtsmodell).

Für die Anwendung zur Reproduktion von Farben muss aus diesem Modell ein sogenannte invertiertes Modell ermittelt werden, welches den vorgegebenen, zu reproduzierenden Farbwerten die notwendigen RGB-Signale am Eingang zuordnet. Ein solches invertiertes Modell (=Vorwärtsmodell) wird aus dem analytisch oder durch Stützpunkte berechneten Rückwärtsmodell entweder durch analytische Inversion oder durch Suchverfahren und Interpolationsmethoden aus dem Stützpunktmodell vorberechnet und als Bildschirmprofil gespeichert. Die prinzipielle Vorgehensweise für die Erstellung eines solchen Bildschirmprofiles ist bekannt, jedoch werden heute nur Bildschirmprofile auf der Grundlage eines Normbeobachters nach CIE erstellt und alle verfügbaren Softwareverfahren für das "Color Management" von Bildschirmen sind nur dafür ausgelegt. Für abweichende Beobachter steht auch keine Messtechnik zur Verfügung, mit der direkt Farbwerte auf der Bildschirmoberfläche gemessen werden können, da auch alle Messgeräte zu Messung von Farbwerten für standardisierte Normbeobachter nach CIE und 2

oder 10 Grad ausgelegt sind und entsprechende Farbwerte für abweichende Beobachter sich davon unterscheiden. Für die Erstellung von Bildschirmprofilen für abweichende Beobachter ist eine vollständige spektrale Messung der Bildschirmfarben erforderlich.

Das Verfahren zur Erstellung eines Bildschirmprofiles $P_i(\omega)$ für einen beliebigen Beobachter i abhängig vom Beobachterwinkel ω ist beispielhaft in der **Figur 8**

skizziert. Zunächst sei die Vorgehensweise der Messtechnik und die Ermittlung von Farbwerten auf dem Bildschirm beschrieben. Für eine ausreichend große Anzahl von Stützpunkten werden die Spektren $S_{\lambda,B}$ der Bildschirmfarben für beliebige Eingangssignale R, G, B des Bildschirms mit einem Spektroradiometer gemessen. Mit den aus einer Datenbank in Figur 7 ausgelesenen Grundspektralwertkurven eines ausgewählten Beobachters $x_i(\lambda, \omega), y_i(\lambda, \omega), z_i(\lambda, \omega)$ werden daraus die Farbwerte mit $X(\omega), Y(\omega), Z(\omega)$ berechnet. Aus der Gesamtheit aller Farbwerte in Abhängigkeit der Eingabesignale wird ein mathematisches Rückwärtsmodell als analytisches Modell oder interpolierbares Stützpunktraster erstellt. Dieses wird dann mathematisch invertiert und im Rahmen der Anwendung der vorliegenden Erfindung in der Datenbank in Figur 8 gespeichert. Über dieses Modell können dann für jeden ausgewählten Beobachter i und als Funktion seines Beobachterwinkels ω Bildschirmprofile $x_i(\lambda\omega), y_i(\lambda\omega), z_i(\lambda\omega), P_i(\omega)$ aus den Datenspeichern 10.1 und 10.2 (siehe FIG 7) aufgerufen werden.

Figurenaufstellung:

Figur 1a: Beleuchtungskabine mit nebenstehendem Bildschirm zum Farbabgleich zwischen Probe in der Beleuchtungskabine und Reproduktion auf dem Bildschirm (Stand der Technik);

Figur 1b: Beleuchtungskabine aus Figur 1a im Querschnitt und Längsschnitt (Stand der Technik);

Figur 2: Beleuchtungskabine mit zwei Rahmen, einerseits für die Probe und andererseits für die Reproduktion, im Querschnitt und Längsschnitt (Stand der Technik);

Figur 3: Erfindungsgemäße Beleuchtungskabine mit Bildschirm;

5 Figur 4a: Detailansicht einer Betrachtungsmaske mit Original und reproduzierter Farbe in Draufsicht und Querschnitt;

10 Figur 4b: Bildschirm mit Betrachtungsmaske mit einer Vielzahl von über den Bildschirm verteilten Fenstern in der Betrachtungsmaske;

Figur 5a: Schematische Darstellung der Beleuchtungssituation eines Bildschirms mit zwei Leuchtstoffröhren;

Figur 5b: Beispielhafte Lichtmaske in Längsschnitt;

15 Figur 5c: Lichtmaske aus Figur 5b im Längsschnitt um 90° um Längsachse gedreht;

Figur 6: Erfindungsgemäße Beleuchtungskabine mit Bildschirm und Lichtsensoren am Bildschirmrand;

20 Figur 7: Schematische Darstellung der originalgetreuen Farbreproduktion auf einem Bildschirm mit variablen Spektralwertkurven;

Figur 8: Schematische Darstellung des Verfahrens zur Erstellung eines Bildschirmprofils.

25 **Literatur**

[1] Mark.D.Fairchild, Color Appearance Models, Addison-Wesley Longman, Inc, Reading Massachusetts, 1998, ISBN 0-201-63464-3.

30 [2] CIE publication 159-2004: A Colour Appearance Model for Colour Managment systems: CIECAM02

[3] G. Wyszecki, W.S. Stiles, Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae, 2nd. Edition, John Wiley & Sons, New York 1982, Chapt. 5.6

35 [4] F. Viénot, Report on a fundamental chromaticity diagram with physiologically significant axes, Proc. 9th Congress of the International Colour Association, SPIE Vol 4421 (2202), p. 565-570

Liste der verwendeten Bezugszeichen und Variablen

5	1	Betrachtungskabine
	2	Bildschirm
	2.1	Betrachtungsbereich
	2.2	Fläche eines Bildschirms
	3	Beleuchtung
10	3.1	direkter Lichteinfall
	3.2	indirekter Lichteinfall
	3.3	indirekter Lichteinfall
	3.4.1	Lichtmaske
	3.4.2	Lichtanteile
15	3.5.1	Lichtmaske
	3.5.2	Lichtanteile
	4	Betrachtungsfläche
	4.1	Farbprobe / Original
	4.1.1	Testfarbe reflektierter Strahlung
20	4.2	Farbreproduktion
	4.2.1	Licht der Reproduktion
	4.3	Rahmen
	5	Beobachter
	6	Maske
25	6.2	Fenster
	7.1	Lichtstärke der Lampe L1 auf dem Bildschirm
	7.2	Lichtstärke der Lampe L2 auf dem Bildschirm
	7.3	Lichtstärke von L1 und L2 auf dem Bildschirm
	8	Lichtsensoren
30	9	Position für spektrale Messung von Fremdlicht
	10	Datenbank
	10.1	benutzerspezifische Spektralwertkurven
	10.2	benutzerspezifisches Bildschirmprofil
	11.1	Farbbereich des Originals
35	11.2	Farbbereich der Reproduktion
	12	Rückwärtsmodell
	13	radiometrische Messung

	14	Farbwertberechnung
	15	Farbwerte
	16	Signalwertberechnung
5	A	Abstand
	D	Durchmesser
	i	Beobachterindex
	I	Lichtintensität
	k	Normierungskonstante
10	L1-L3	Lampe
	P	Streuplatte
	$P_i, P_i(\omega)$	Bildschirmprofil für den Beobachterwinkel ω
	R1, R2, R3	Reflektoren
	R_p, G_p, B_p	Steuersignale
15	R, G, B	Eingangssignale
	S_λ	spektrale Lichtverteilung
	$S_{\lambda,B}$	Spektren der Bildschirmfarbe
	V_λ	Hellempfindlichkeit
	$x(\lambda), y(\lambda), z(\lambda)$	Spektralwertkurven
20	$x_i(\lambda\omega), y_i(\lambda\omega), z_i(\lambda\omega)$	Spektralwertkurven
	X, Y, Z	Normfarbwerte
	X_w, Y_w, Z_w	Farbwerte für ein Bezugsweiss
	X_p, Y_p, Z_p	zu reproduzierende Farbwerte
	X_r, Y_r, Z_r	Farbwerte reflektierender Anteile
25	$X_{p,F}, Y_{p,F}, Z_{p,F}$	Farbwerte aus der Beleuchtung durch Fremdlicht
	$X_p(\omega), Y_p(\omega), Z_p(\omega)$	Farbwerte für den Beobachterwinkel ω
30	α	Betrachtungswinkel zum Lichteinfall
	$\beta(\lambda)$	spektrale Reflexion
	ω	Beobachterwinkel / Öffnungswinkel einer Farbfläche

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bildschirmkalibrierung für die
originalgetreue Reproduktion von Oberflächenfarben,
deren spektrale Reflexionsverteilung ausgemessen und
bekannt ist, auf einem Bildschirm, der unter
einfallendem Licht von mindestens einer Lichtquelle mit
Einfallswinkeln des Lichtes außerhalb des Glanzwinkels
und mit bekannten spektralen Lichtverteilungen
betrieben wird, wobei der Bildschirm durch Einstellung
von Parametern mit Hilfe von Software und elektroni-
scher Steuerung in jedem Teilbereich des Bildschirms
beeinflussbar ist,
dadurch gekennzeichnet, dass
- 1.1. ein Beobachter in jedem Teilbereich des Bildschirms den
reproduzierten Farbeindruck des Bildschirms an den
Farbeindruck eines Originals anpasst, indem das Original
unmittelbar angrenzend auf der Bildschirmoberfläche
mit den Bildschirmfarben verglichen wird und die Bild-
schirmparameter so lange verändert werden, bis der
Farbeindruck des Originals und des Bildschirms an der
jeweils betrachteten Bildschirmteilfläche für den Beob-
achter, betrachtet aus einem vorbestimmten Beobachter-
winkel, identisch erscheint,
- 1.2. und die vorgenommenen Einstellungen in einem Bild-
schirmprofil hinterlegt werden.
2. Verfahren gemäß dem voranstehenden Patentanspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass der Beobach-
ter ein Normbeobachter CIE 1964-10 Grad oder CIE 9131-2
Grad ist.
3. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Patentansprü-
che 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, dass
eine Maske vor dem Bildschirm verwendet wird, die eine
über die gesamte Bildfläche verteilte Anzahl von
Fenstern enthält, wobei jedes Fenster teilweise,

vorzugsweise zur Hälfte, mit einem Original einer Oberflächenfarbe abgedeckt ist und hinter jeder der nicht abgedeckten Fensterteilflächen auf dem Bildschirm die der jeweiligen Oberflächenfarbe zugeordnete Farbreproduktion erzeugt wird.

4. Verfahren gemäß dem voranstehenden Patentanspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass:

4.1. die Software in einem den Bildschirm ansteuernden Computer abläuft, mit der die Helligkeit der reproduzierten Farben in jedem Fenster verändert und so eingestellt werden kann,

4.2. für den Beobachter kein Helligkeitsunterschied zwischen originaler- und reproduzierter Farbe unter der Beleuchtung des Bildschirms mehr besteht,

4.3. die Helligkeitswerte als Stützpunkte gespeichert werden und daraus ein Helligkeitsprofil erstellt wird, welches die absolute Helligkeit für jede in einem Bildpunkt reproduzierte Farbe steuert.

5. Verfahren gemäß dem voranstehenden Patentanspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Helligkeitsabgleich und die Ermittlung der Stützpunkte für das Helligkeitsprofil des Bildschirms dadurch automatisch durchgeführt wird, dass als Beobachter eine Kamera das Bild der Maske aufnimmt,

5.1. wobei für jedes Fenster der Maske der Bereich der Oberflächenfarben und der durch den Bildschirm reproduzierten Farben selektiert und innerhalb dieser Bereiche gemessene und gemittelte Farbsignale erzeugt werden,

5.2. diese Farbsignale einem Computer zugeführt werden, der den Monitor steuert und dabei iterativ die Helligkeit der Farbsignale so verändert werden, bis in jedem Fenster die durch die Oberflächenfarbe und ihre Reproduktion erzeugten Farbsignale gleich groß werden.

6. Verfahren gemäß dem voranstehenden Patentanspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Kamera mit einem optischen Filter ausgestattet ist, welches zusammen mit der spektralen Empfindlichkeit der Kamera eine spektrale Gesamtempfindlichkeit der Bildaufnahme ergibt, die einer spektralen Hellempfindlichkeit V_λ eines ausgewählten Beobachters entspricht.
7. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Patentansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass
- 7.1. die durch Reflexion des Lichtes an der Bildschirmoberfläche in Richtung des Beobachters auftretenden Farbreize in ihrer spektralen Verteilung und ihrer Intensität ausgemessen werden,
- 7.2. diese Farbreize als reflektierte Farbwerte des Bildschirms für den Beobachter beschrieben werden
- 7.3. und auf dem Bildschirm nur die Differenzen von Farbwerten originaler Farben und den reflektierten Farbwerten reproduziert werden.
8. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Patentansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die durch Reflexion des Lichtes an der Bildschirmoberfläche in Richtung des Beobachters auftretenden Farbreize bei der Vermessung des Bildschirmprofils bei eingeschalteter Beleuchtung direkt mit gemessen und dann in dem oder einem gespeicherten Bildschirmprofil enthalten sind.
9. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Patentansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass
- 9.1. der Bildschirm in einer Kabine angeordnet ist,
- 9.2. die horizontale Bildschirmmitte im vertikalen Schnitt unter 45 Grad beleuchtet wird, indem die Beleuchtung durch ausgedehnte stabförmige Lichtquellen ausgeführt wird, die oberhalb oder unterhalb des Bildschirms montiert sind,

- 9.3. und eine Homogenisierung der Beleuchtungsverteilung auf der Bildfläche erreicht wird, indem Teillichtabdeckungen (=Masken) im Strahlengang des Lichtes von den Lichtquellen bis zum Bildschirm angebracht werden, welche aufgrund ihrer Formgebung Anteile der Lichtstrahlen von den Lichtquellen auf dem Wege zum Bildschirm orts- und/oder winkelabhängig blockieren oder hindurchlassen.
10. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Patentansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Beleuchtung in einer Raumumgebung von der Decke des Raumes her erzeugt wird und die Lichtquellen so angeordnet sind, dass das Licht unter angenähert 45 Grad auf den Bildschirm auftrifft.
11. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Patentansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die spektrale Verteilung der Beleuchtung mit Hilfe eines unmittelbar am Bildschirm angeordneten Spektrometers gemessen wird und das Ergebnis der spektralen Lichtverteilung bei Erstellung des Bildschirmprofils berücksichtigt wird.
12. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Patentansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Bildschirm unter einer internen Lichtquelle in einer Kabine betrieben wird und zusätzlich von außen auf die Betrachtungsfläche einfallendes Licht mit gleicher oder anderer spektraler Verteilung in die Berechnung der Reproduktion der Farbe einbezogen wird, wobei auch die lokale Farbverteilung getrennt für das von außen einfallende Licht und das von der internen Lichtquelle stammende Licht ermittelt wird und die Farbproduktion als Summe aus den Farbwerten unter der internen und externen Beleuchtung dargestellt werden.

13. Verfahren gemäß dem voranstehenden Patentanspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Helligkeitsverteilung des von außen einfallenden Lichtes bei abgeschalteter interner Lichtquelle über Sensoren, die auf der Betrachtungsfläche in der Kabine verteilt sind, gemessen wird.
14. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Patentansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass
- 10 14.1. zur Berechnung der Farben aus den spektralen Reflexionseigenschaften von Originalfarben und zur Berechnung der Farbreproduktion über den Bildschirm, von der Größe einer Farbfläche und ihrem daraus folgenden Beobachterwinkel abhängige variable
- 15 Grundspektralwertkurven benutzt werden,
- 14.2. und ein Farbbild dazu in Bereiche annähernd gleicher oder im Mittel gleich erscheinender Farben segmentiert wird und der jeweils zugeordnete Beobachterwinkel für ein Segment aus den jeweils mittleren Größen eines
- 20 Farbsegmentes in einem Bild ermittelt wird.
15. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Patentansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass
- 15.1. für die Farbreproduktion mit unterschiedlichen
- 25 Beobachtern eine Datenbank aufgebaut wird, in der analytisch beschrieben oder in Stufen als Funktion des Beobachterwinkels die Grundspektralwertkurven von verschiedenen Beobachtern gespeichert sind,
- 15.2. Farbwerte von Originalfarben aus ihrer spektralen
- 30 Reflexion für die variablen Grundspektralwertkurven gebildet werden,
- 15.3. die Bildschirmfarben aus ihrer spektralen Strahlungsverteilung auf dem Bildschirm beschrieben und daraus Farbwerte für den Aufbau von Bildschirmprofilen in Abhängigkeit von Beobachtern und Beobachterwinkeln
- 35 berechnet werden,

15.4. diese Bildschirmprofile in Echtzeitverarbeitung für die Farbreproduktion von Bildern oder als vorberechnete Profile in einer Datenbank abgelegt und in Abhängigkeit des ausgewählten Beobachters und Beobachterwinkels aufgerufen werden.

16. Verfahren zur Darstellung eines Farbeindrucks eines Originals an einen entfernten Beobachter durch eine Farbreproduktion auf einem Bildschirm, dadurch gekennzeichnet, dass

16.1. vom Original unter Berücksichtigung gegebener Beleuchtungsverhältnisse eine objektspezifische spektrale Reflexionsverteilung bestimmt,

16.2. die objektspezifische spektrale Reflexionsverteilung an den entfernten Beobachter übertragen wird,

16.3. und unter Berücksichtigung eines gegebenen Bildschirmprofils, gegebener Beleuchtungsverhältnisse an einem Bildschirm, eines gegebenen Bildschirmprofils und eines gegebenen spektralen Empfindlichkeitsprofils des entfernten Beobachters, auf diesem Bildschirm der Farbeindruck des Originals für den Beobachter unter den gegebenen Lichtverhältnissen am Bildschirm reproduziert wird.

17. Verfahren gemäß dem voranstehenden Patentanspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass für einen Vergleich des reproduzierten Farbeindrucks mit einem Farbeindruck einer Probe eine Maske auf der Bildschirmoberfläche verwendet wird, die eine über die gesamte Bildfläche verteilte Anzahl von Fenstern enthält, wobei jedes Fenster teilweise, vorzugsweise zur Hälfte, mit der Probe bedeckt ist und in der restlichen Fensterfläche die Farbreproduktion des Bildschirms zu erkennen ist.

18. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Patentansprüche 16 bis 17, dadurch gekennzeichnet,

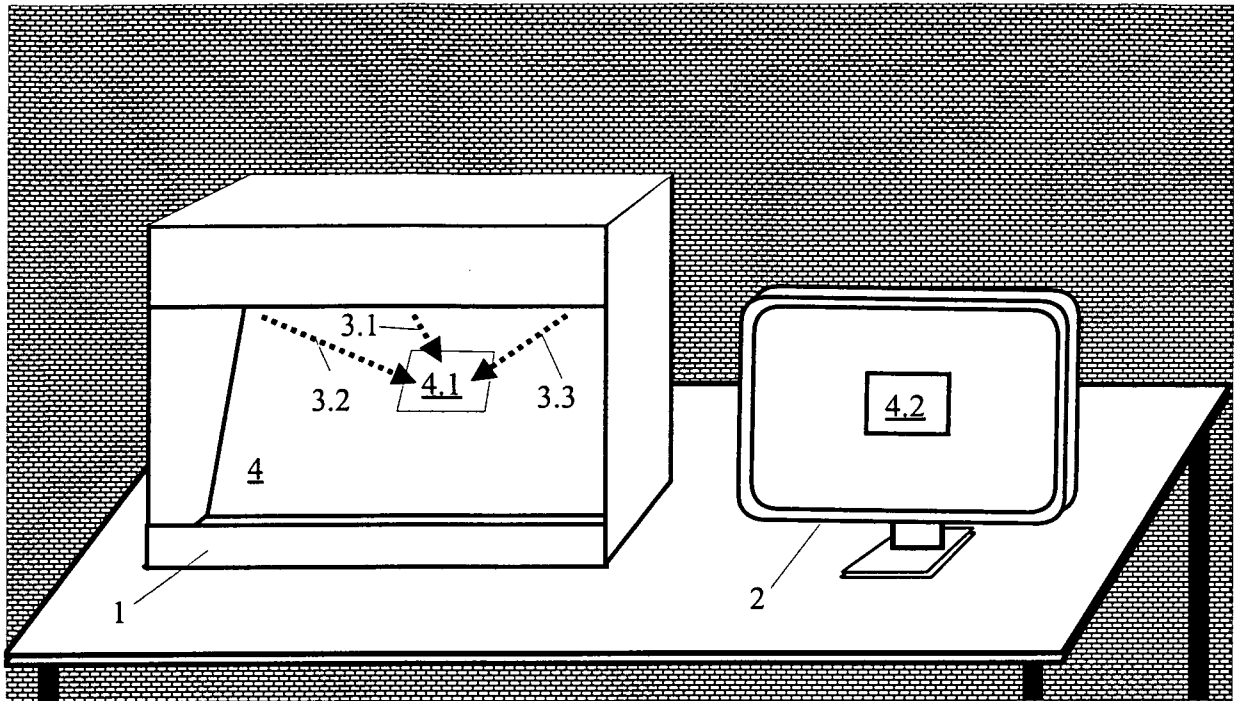
dass der verwendete Bildschirm mit einem Verfahren gemäß einem der Verfahrensansprüche 1 bis 13 kalibriert wurde.

- 5 19. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Patentansprüche 16 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass zur Bestimmung des objektspezifischen spektralen Reflexionsspektrums eine Multispektralkamera verwendet wird.
- 10
20. Vorrichtung zur Reproduktion eines Farbeindrucks eines Originals bei einem entfernten Beobachter aufweisend einen Bildschirm zur Farbreproduktion, einen Computer mit Software zur Steuerung des Bildschirms und eine
- 15 Beleuchtungsvorrichtung für die definierte Beleuchtung der Umgebung des Bildschirms, dadurch gekennzeichnet, dass
- 20.1. der Bildschirm in einer Kabine oder einem Raum angeordnet ist,
- 20 20.2. die Beleuchtung durch ausgedehnte stabförmige Lichtquellen ausgeführt wird, die oberhalb oder unterhalb des Bildschirms derart montiert sind, so dass die horizontale Bildschirmmitte im vertikalen Schnitt unter 45 Grad beleuchtet wird,
- 25 20.3. und eine Homogenisierung der Beleuchtungsverteilung auf der Bildfläche erreicht wird, indem Teillichtabdeckungen (=Lichtmasken) im Strahlengang des Lichtes von den Lichtquellen bis zum Bildschirm angeordnet sind, welche aufgrund ihrer Formgebung
- 30 Anteile der Lichtstrahlen von den Lichtquellen auf dem Wege zum Bildschirm orts- und/oder winkelabhängig blockieren oder hindurchlassen.
21. Vorrichtung gemäß dem voranstehenden Patentanspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass unmittelbar
- 35 am Bildschirm ein Spektrometer angeordnet ist, um die spektrale Verteilung der Beleuchtung zu messen und das

Ergebnis der jeweils aktuellen spektralen
Lichtverteilung bei der Reproduktion des Farbeindrucks
des Originals zu berücksichtigen.

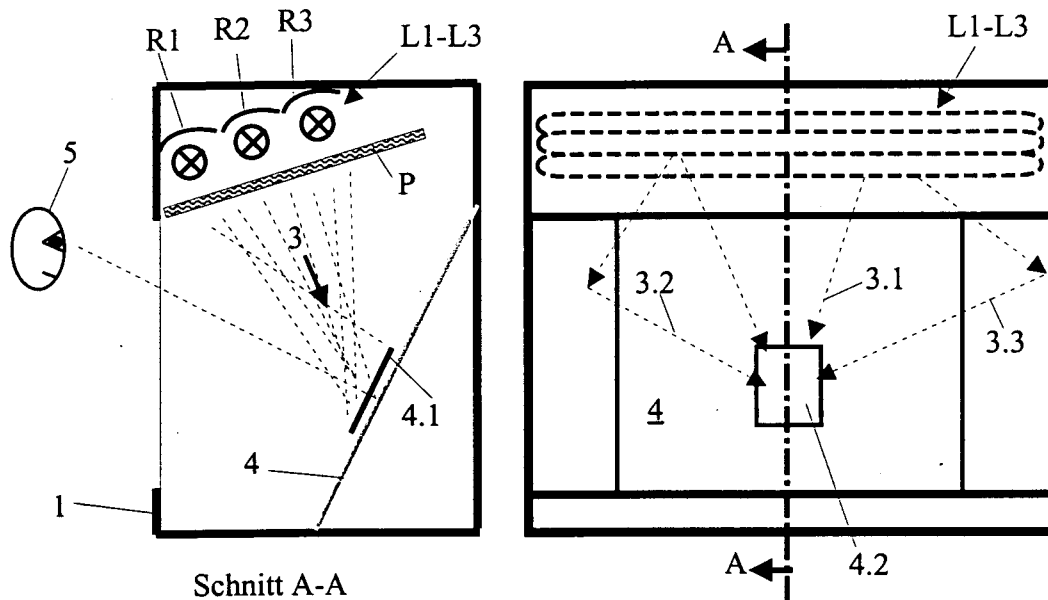
- 5 22. Vorrichtung gemäß einem der voranstehenden Patentan-
 sprüche 20 bis 21, dadurch gekennzeichnet,
 dass ein Computerprogrammcode vorliegt und im Betrieb
 ausgeführt wird, welcher das Verfahren zur Kalibrierung
 und/oder zur Farbreproduktion gemäß einem der Verfah-
10 rensansprüche 1 bis 17 durchführt.

Stand der Technik



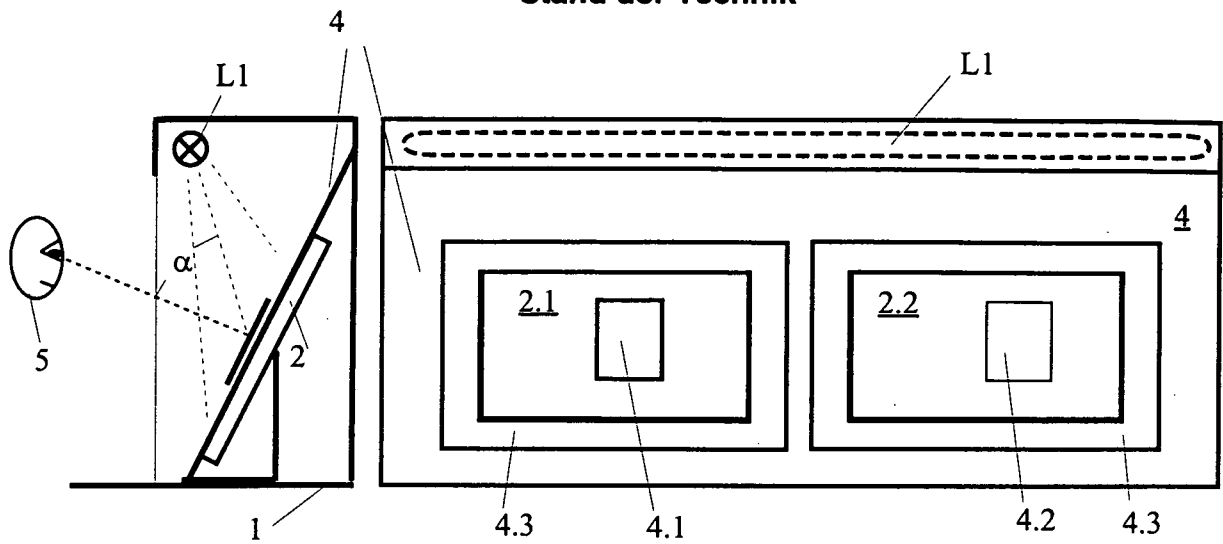
Figur 1a

Stand der Technik

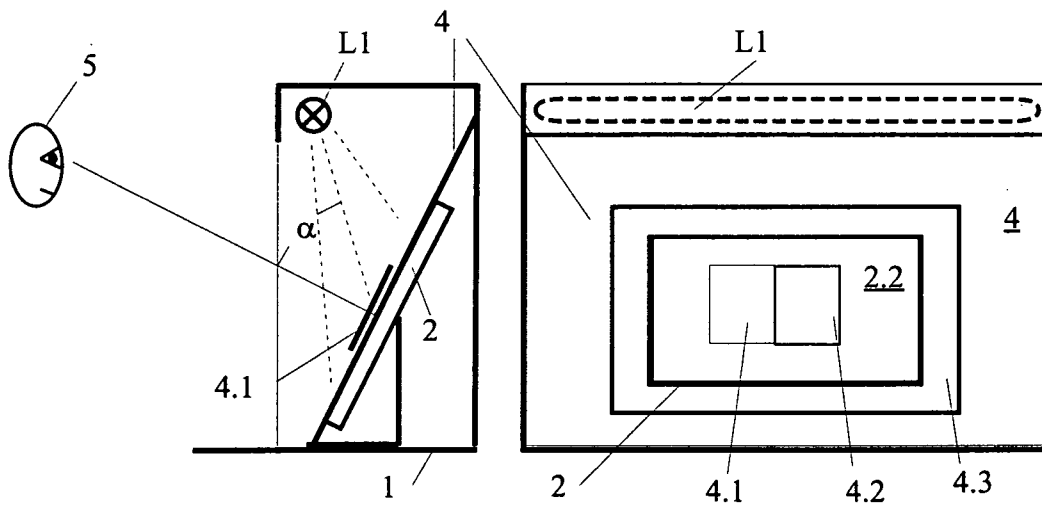


Figur 1b

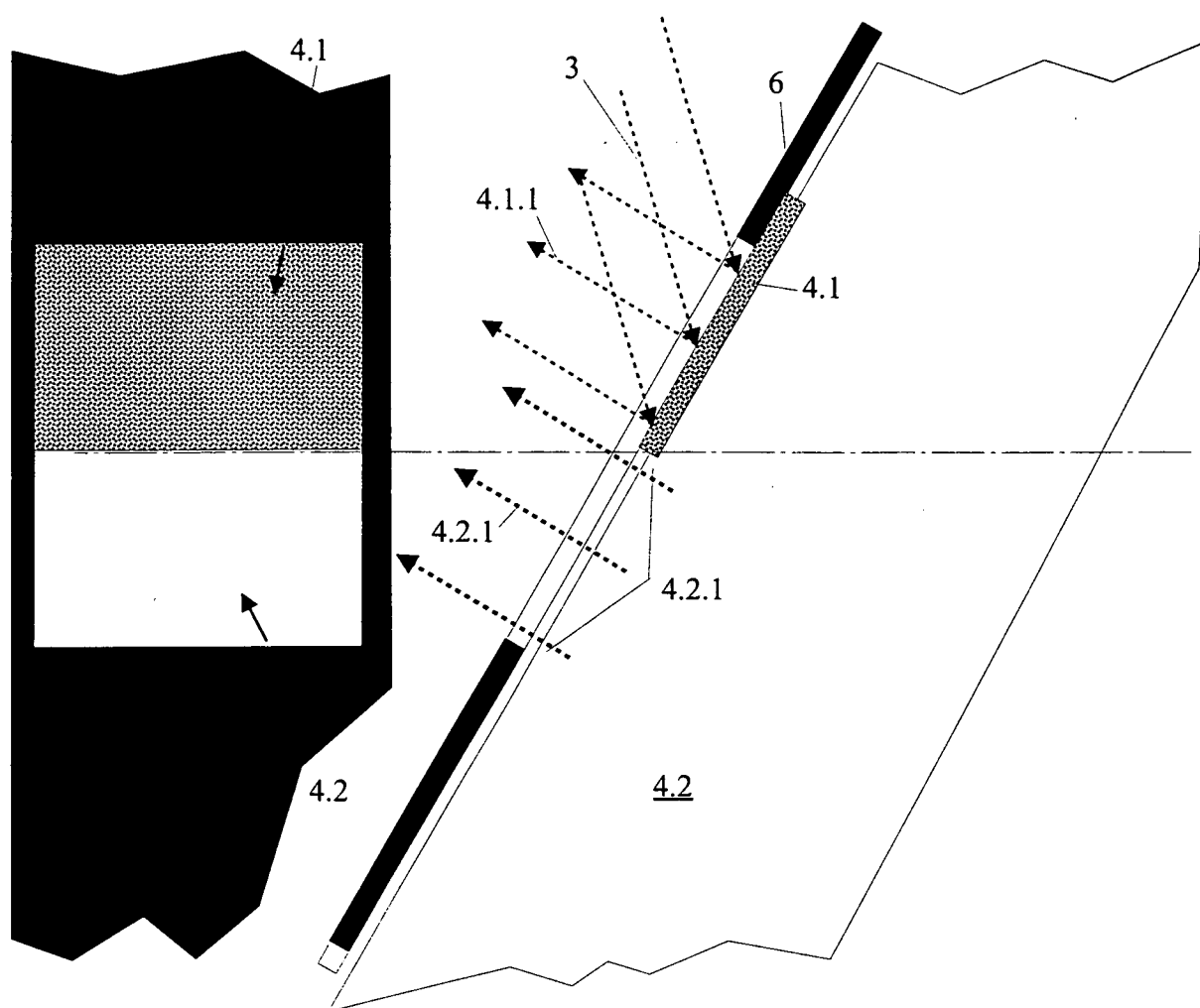
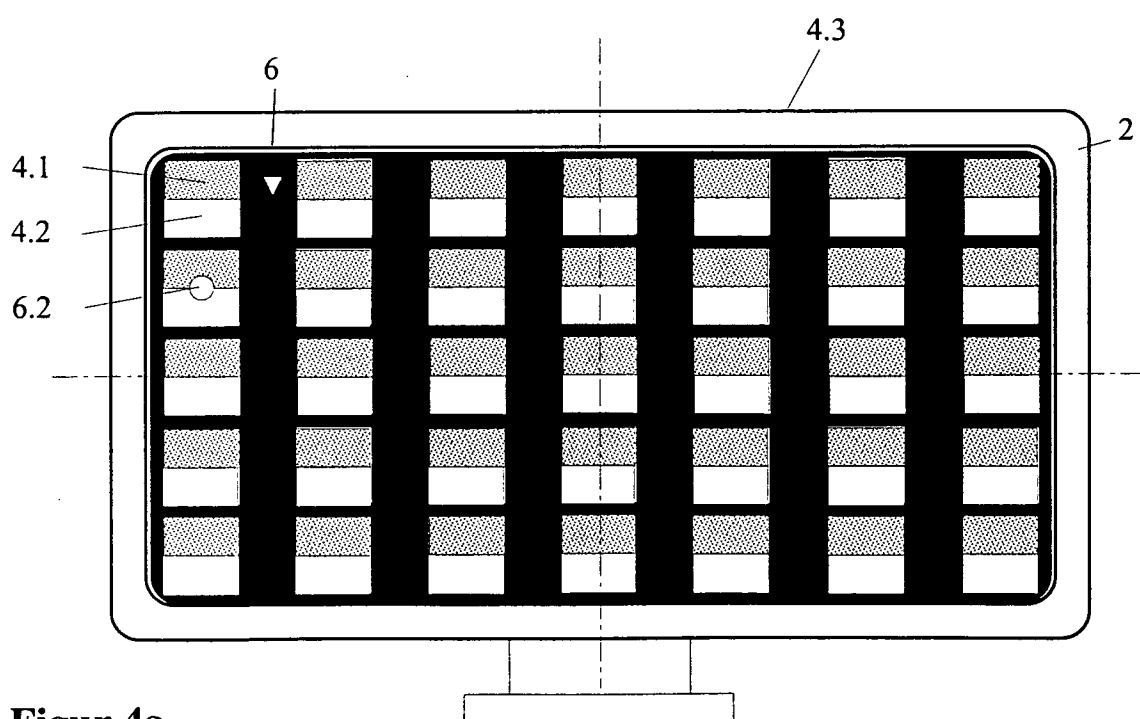
Stand der Technik

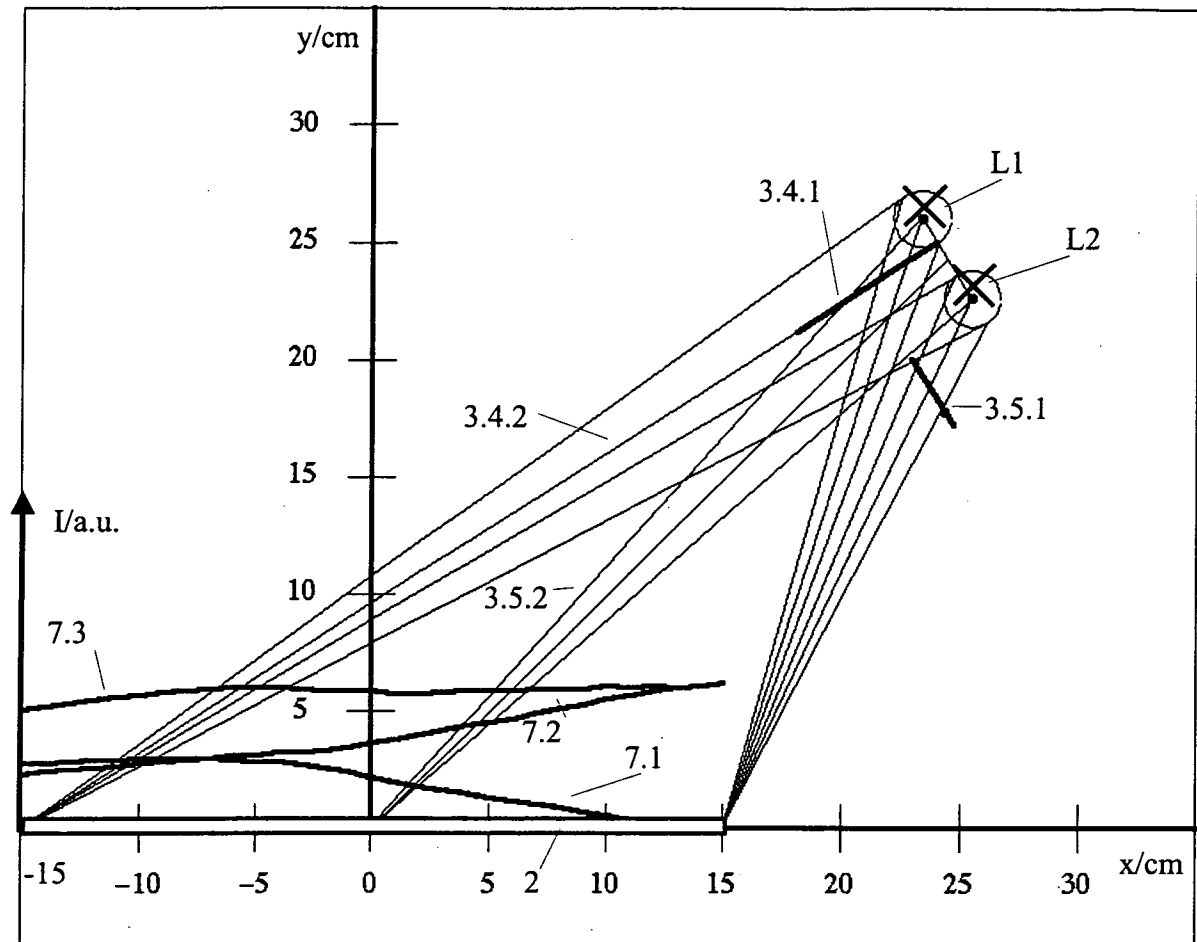
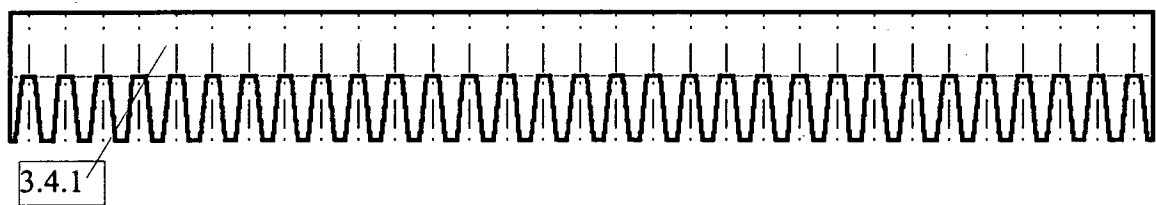
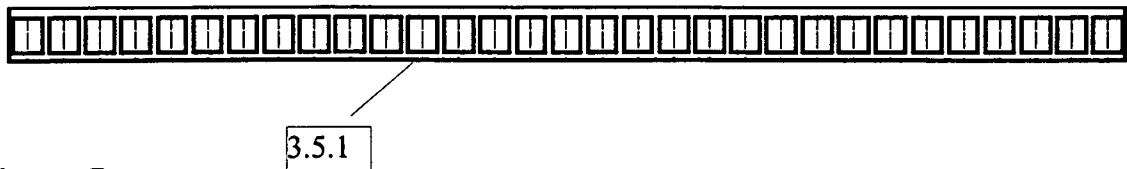


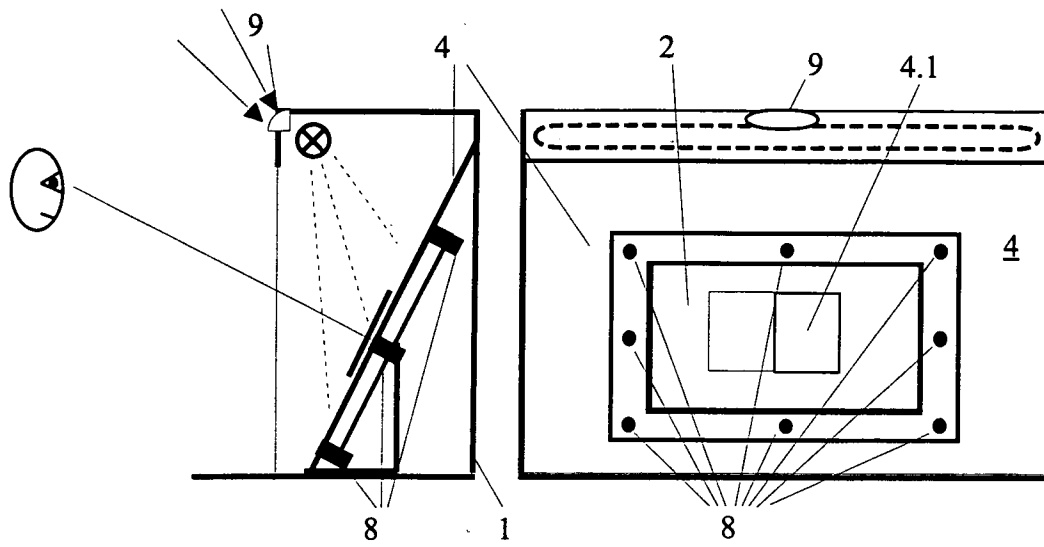
Figur 2

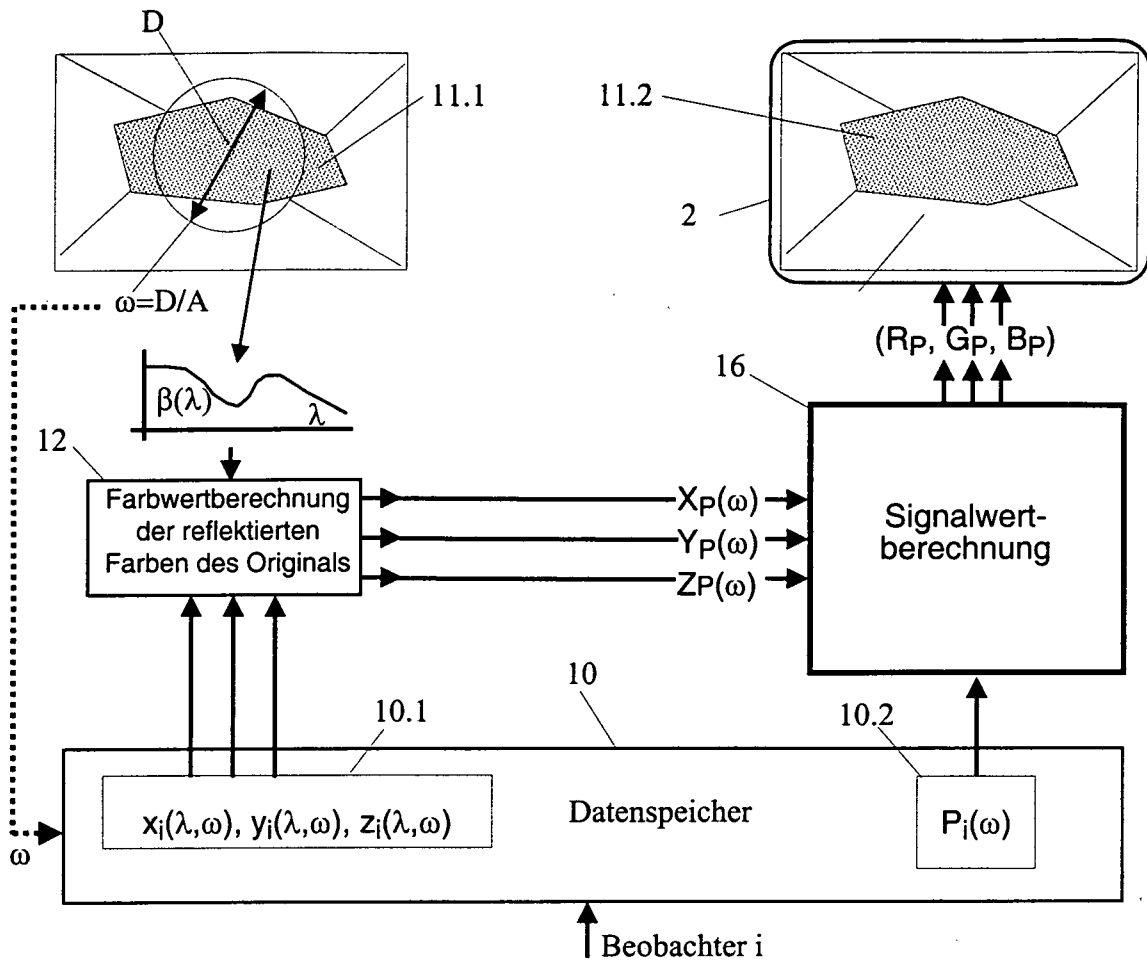


Figur 3

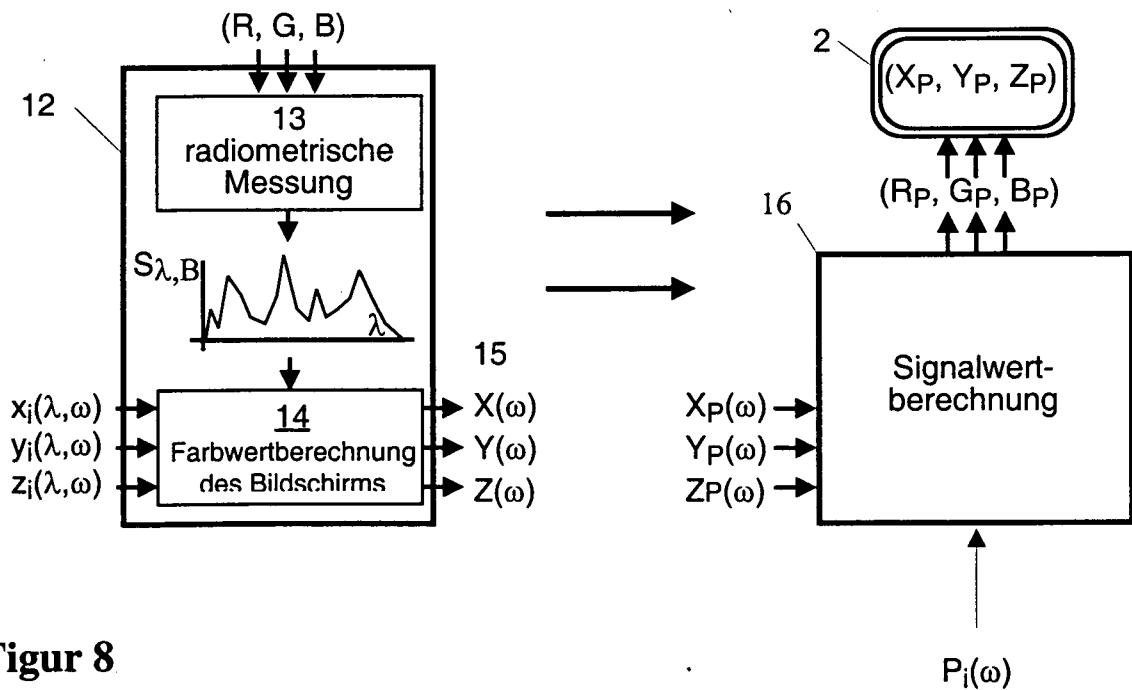
**Figur 4b****Figur 4a**

**Figur 5a.****Figur 5b****Figur 5c**

**Figur 6**



Figur 7



Figur 8