

(19)



(11)

**EP 2 701 464 B1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des  
Hinweises auf die Patenterteilung:  
**23.01.2019 Patentblatt 2019/04**

(51) Int Cl.:  
**H05B 33/08 (2006.01) H05B 37/02 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **13181122.6**

(22) Anmeldetag: **21.08.2013**

(54) **Vorrichtung und Verfahren zur Erzeugung von Licht eines vorgegebenen Spektrums mit mindestens vier verschiedenfarbigen Lichtquellen**

Apparatus and method for producing light of a predetermined spectrum with at least four light sources of different colours

Dispositif et procédé permettant de produire de la lumière d'un spectre déterminé à l'aide d'au moins quatre sources lumineuses de différentes couleurs

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB  
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO  
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorität: **22.08.2012 DE 102012107706**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**26.02.2014 Patentblatt 2014/09**

(73) Patentinhaber: **Airbus Defence and Space GmbH  
85521 Ottobrunn (DE)**

(72) Erfinder:  
• **Cappitelli, Mario  
22763 Hamburg (DE)**

• **Klostermann, Sönke  
21720 Mittelnkirchen (DE)**  
• **Vogt, Dietmar, Dr.  
21629 Neu Wulmstorf (DE)**  
• **Olbert, Michael, Dr.  
21635 Jork (DE)**

(74) Vertreter: **Isarpatent  
Patent- und Rechtsanwälte Behnisch Barth  
Charles  
Hassa Peckmann & Partner mbB  
Postfach 44 01 51  
80750 München (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**WO-A1-2010/122312 DE-A1-102007 044 556  
DE-A1-102008 050 818 US-A1- 2008 013 314**

**EP 2 701 464 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Beleuchtungsvorrichtung mit einer Leuchteinheit, die mehrere Lichtquellen unterschiedlicher Farbspektren umfasst, mit einem Sensor zur Ermittlung der von der Leuchteinheit emittierten spektralen Leistungsverteilung (SPD), einer Kontrolleinheit, die in Abhängigkeit einer vorgegebenen sowie der vom Sensor gemessenen spektralen Leistungsverteilung eine Ansteuereinheit beaufschlagt, welche die Lichtquellen der Leuchteinheit individuell ansteuert, so dass das emittierte Licht die vorgegebene spektrale Leistungsverteilung aufweist. Farbspektrum bezeichnet in diesem Zusammenhang die elektro-magnetischen Wellen eines Bereichs definierter Bandbreite und Intensität im vom Menschen visuell wahrnehmbaren Farbraum.

**[0002]** Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Betrieb einer Beleuchtungsvorrichtung mit einer Leuchteinheit, die mindestens vier Lichtquellen unterschiedlicher Farbspektren umfasst, mit einem Sensor zur Ermittlung der von der Leuchteinheit emittierten spektralen Leistungsverteilung (SPD), einer Kontrolleinheit, die in Abhängigkeit einer vorgegebenen sowie der vom Sensor gemessenen spektralen Leistungsverteilung eine Ansteuereinheit beaufschlagt, welche die Lichtquellen der Leuchteinheit individuell ansteuert, damit das emittierte Licht die vorgegebene spektrale Leistungsverteilung aufweist.

**[0003]** Bei halbleiterbasierten Beleuchtungselementen wie LEDs ändert sich mit zunehmender Betriebsdauer das Farbspektrum und die Helligkeit (Intensität), was ohne Ausgleich als störend empfunden werden kann. Auch weisen LEDs bei der Herstellung eine Streuung ihrer technischen Eigenschaften hinsichtlich Helligkeit und Farbe auf. Dies wird vom Hersteller durch sog. "Binning" kompensiert, in dem Halbleiterelemente nach einer vorgegebenen Streuung sortiert werden. Je enger die Streuungsselektion, desto teurer sind die LEDs.

**[0004]** Eine Vorrichtung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 ist aus der EP 1 461 982 B1 bekannt, bei dem eine gewünschte Lichtfarbe aus drei LED-Lichtquellen mit roten, grünen und blauen Farbspektren erzeugt wird. Dabei wird das von den drei LEDs emittierte Licht mittels eines Dreibereichsfilters detektiert, der gemessene RGB-Wert in den sog. CIEstandardisierten XYZ-Farbraum konvertiert (CIE = Commission internationale de l'éclairage). Dieser Messwert-Vektor wird in einer als P-Regler arbeitenden Kontrolleinheit mit einem XYZ-Sollwert verglichen, die abhängig vom Fehler eine Ansteuereinheit beaufschlagt, welche die den Lichtquellen zugeführten elektrischen Leistungen entsprechend steuert. Mittels einer solchen Vorrichtung lassen sich derartige Änderungen der Helligkeit und Farbe kompensieren.

**[0005]** Nachteilig dabei ist allerdings, dass zum einen der Sensor auf die Frequenzspektren der LEDs abgestimmt sein muss, damit der Regelkreis hinreichend funktioniert. Ferner lässt sich mit diesem System eine Beleuchtungsvorrichtung mit mehr als 3 Lichtquellen unter-

schiedlicher Farbspektren - beispielsweise einer gelben oder weißen LED als vierter LED - nicht mehr regeln, weil das Ergebnis dieser Regelung nicht mehr eindeutig ist, da mehrere Leuchtstärkeeinstellungen der vier Lichtquellen den gleichen Farbeindruck im XYZ-Farbraum erzeugen können.

**[0006]** In der DE 10 2007 044 556 wird ein Verfahren zur Bestimmung der Lichtstromanteile einzelner LED über eine  $v(\lambda)$  angepassten Sensor beschrieben. Die betriebsbedingten Farb- und Helligkeitsveränderungen der einzelnen LED wird über eine Messung des spektralen Anteiles mithilfe eines  $v(\lambda)$  angepassten Sensors und der Messung der Betriebstemperatur der LED (Board und Junction Temperatur) bestimmt. Diese Messwerte werden einzeln für die jeweils angesteuerte LED bestimmt. Die Messwerte fließen dann als Eingangsparameter der Bestimmung der einzelnen Emissionsspektren der LED zu, die dann in Hinblick auf Lichtstrom optimiert werden können, so dass die gesamte Leuchte eine definierte Farb- und Helligkeit erreicht. Nachteilig ist hierbei, dass immer nur eine einzelne Lichtquelle von der von dem verwendeten Messverfahren betrachtet werden kann. Auch eine Erfassung der Farbverschiebung einer einzelnen Lichtquelle nur indirekt über die Information der Temperatur und der  $v(\lambda)$  Messung ermittelt werden. Nicht temperaturabhängige Farbveränderungen der Lichtquelle können hiermit nicht von einer Helligkeitsveränderung unterscheiden werden. Nachteilig ist auch, dass die beschriebenen Justierungen der Farb- und Helligkeitswerte der Leuchte nur in einem Betriebszustand funktionieren, in dem die einzelnen Lichtquellen einzeln justiert werden. Dies kommt einer Unterbrechung des Betriebes gleich.

**[0007]** Aufgabe der Erfindung ist es, eine gattungsgemäße Beleuchtungsvorrichtung bereitzustellen, die sich dadurch auszeichnet, dass mehr als 3 Beleuchtungselemente unterschiedlicher Farbspektren und Helligkeitswerte integriert werden können und dabei weitestgehend jedes gewünschte Farbspektrum verwendet werden kann. Dabei soll ein baulich einfacher dreikanaliger Sensor verwendbar sein. Ferner ist eine Aufgabe, ein Verfahren zur Ansteuerung einer gattungsgemäßen Beleuchtungsvorrichtung mit mehr als drei Lichtquellen unterschiedlicher Farbspektren bereitzustellen. Der Sensor soll dabei alle Lichtquellen gleichzeitig vermessen und einen für die Gesamtheit der eingesetzten Lichtquellen gültigen Farb- und Helligkeitsmesswert ermitteln.

**[0008]** Die Lösung dieser Aufgaben ergibt sich aus den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche. Vorteilhafte Weiterbildungen und Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche. Weitere Merkmale, Anwendungsmöglichkeiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, sowie der Erläuterung von Ausführungsbeispielen der Erfindung, die in den Figuren dargestellt sind.

**[0009]** Die erstgenannte Aufgabe wird dadurch gelöst, dass die Leuchteinheit mindestens vier Lichtquellen umfasst und die Kontrolleinheit zur Anwendung eines Opti-

mierungsalgorithmus eingerichtet ist, der als Hauptbedingung einem errechneten Gewichtungskriterium wie insbesondere Farbwiedergabeindex (CRI) maximiert, der aus den individuellen Ansteuerdaten der Lichtquellen berechenbar ist und als Abbruchkriterium aufweist, dass der Fehler zwischen der vorgegebenen und der gemessenen spektralen Leistungsverteilung kleiner ist als ein Grenzwert.

**[0010]** Ein besonderer Umstand ist hierbei, dass die resultierenden Steuerwerte der einzelne Lichtquelle nicht bekannt sind. Es wird nur der Farb- und Helligkeitseindruck der Gesamtheit der Lichtquellen betrachtet. Dieses kann ohne Unterbrechung im Betrieb der Leuchte geschehen. Auch ist gewährleistet, dass alle intrinsischen und extrinsischen Einflüsse auf die Farb- und Helligkeitsveränderung kompensiert werden können. Insbesondere da durch die Verwendung von mindestens vier Lichtquellen eine Überbestimmtheit bezüglich des Farbeindrucks erzeugt wird, welche als Kompensationsquelle herangezogen werden kann. Des weiteren dient eine vorgesehene Regelreserve als Quelle für weitere Kompensation von Farb- und Helligkeitsveränderungen. Als drittes kann auch unter Reduzierung der Gesamthelligkeit der Leuchte eine Farbanpassung erfolgen, indem die Optimierung anstatt in einen helligkeitsbehafteten XYZ Farbraum in einem Helligkeitsunbehafteten Farbraum wie CIE xy durchgeführt wird.

**[0011]** Soweit im Zusammenhang dieser Anmeldung von Lichtquellen die Rede ist, sei jedes beliebige Beleuchtungselement erfasst, insbesondere jede Art von Leuchtdiode einschließlich organischer Leuchtdioden (OLED). Es können auch Lichtquellen unterschiedlicher Art zusammen verwendet werden, insbesondere LEDs und Glühlampen. Wenngleich der Hauptanwendungsbereich der Erfindung der Bereich des sichtbaren Lichtes ist, so wird ausdrücklich die Anwendbarkeit der Erfindung auf den infraroten oder ultravioletten Bereich mit eingeschlossen. So können einzelne oder alle Lichtquellen Frequenzspektren aufweisen, die teilweise oder gänzlich außerhalb des Bereichs sichtbaren Lichtes liegen. So können auch im Infraroten bzw. im UV-Bereich mit einer Sensorkanalanzahl kleiner als der Anzahl der Stellgrößen mit Hilfe des Optimierungsansatzes auf definierte Zielgröße eingestellt werden.

**[0012]** Die Idee der Erfindung besteht darin, die Einstellung der verwendeten Lichtquellen nicht über einen herkömmlichen Regelkreis vorzunehmen sondern ein Optimierungsverfahren anzuwenden, das zwei oder mehrere Optimierungskriterien aufweist. Zum einen soll als Optimierungsziel ein Koeffizient der gewichteten Sensorwerte, insbesondere ein Farbwiedergabeindex CRI (Color Rendering index), maximiert sein, der nicht aus gemessenen Lichtwerten errechnet wird sondern vielmehr aus den Ansteuerungsdaten für die einzelnen Lichtquellen. Als zweites Optimierungskriterium bzw. als Nebenbedingung ist die vom Sensor gemessene Abweichung im Farbspektrum im definierten Farbraum des Sensors zu minimieren. Da das vorliegende Leuchten-

beispiel als Anforderung ein hohen CRI aufweisen soll, wurde hier auch der CRI als Optimierungskriterium herangezogen. Je nach Anforderung an das Leuchtsystem können auch andere Kriterien zur Optimierung implementiert werden. Weitere mögliche Optimierungskriterien können unter Berücksichtigung der Eigenschaften einzelner Lichtquellen gewählt werden. Beispielsweise die Schonung besonders anfälliger Lichtquellen durch eine Minimierung der abgeforderten Leistung.

**[0013]** Die Ansteuerungsdaten werden typischerweise gemäß des DMX- Protokolls oder einem ähnlichen Protokoll übertragen. Das DMX- Protokoll ermöglicht eine Einstellung des Treiberstroms für jede Lichtquelle mit einer Genauigkeit von 8 Bit (also 256 verschiedenen Werten). Anstelle des DMX-Protokolls können natürlich auch andere Protokolle, beispielsweise solche höherer Genauigkeit zur Anwendung gelangen. Vorzugsweise wird dabei eine Steuerreserve von beispielsweise einem zusätzlichen Bit vorgesehen, um die im Zuge von Alterungsvorgängen nachlassende Helligkeit gebührend zu berücksichtigen.

**[0014]** Aus dem aktuellen DMX-Wert einer Lichtquelle wird aufgrund von für die Lichtquelle gespeicherten Daten ein zugehöriges Spektrum berechnet, das mit den berechneten Spektren der anderen Lichtquellen zu einem gemeinsamen berechneten, "vorhergesagten" oder "virtuellen" Gesamtspektrum zusammenaddiert wird. Aus diesem berechneten Gesamtspektrum wird auf übliche Weise wie bei gemessenen Spektralwerten der CRI-Wert  $R_a$  berechnet. Diese Berechnung erfolgt vorzugsweise im CIE-System. Diesen berechneten CRI-Wert  $R_a$  verwendet das erfindungsgemäße Optimierungssystem als Hauptkriterium. Da viele Algorithmen nur minimieren können, das negierte Minimum jedoch das Maximum ist kann die Hauptbedingung bzw. Zielfunktion auch wie folgt definiert werden:

$$\min (-R_a(x))$$

**[0015]** Als Nebenbedingung wird erfindungsgemäß vorgegeben, dass ein Differenzenvektor aus dem gemessenen Farbvektor (vorzugsweise im XYZ-System) und einem vorgegebenen (Ziel-) Vektor minimiert ist. Damit das Optimierungssystem zeitnah zu einer Lösung gelangt wird als Abbruchbedingung vorgegeben, dass der Betrag des Differenzenvektors einen Grenzwert  $\varepsilon$  unterschreitet. Die Nebenbedingung kann also wie folgt definiert werden:

$$|\overrightarrow{XYZ}_{actual} - \overrightarrow{XYZ}_{target}| \leq \varepsilon$$

**[0016]** Auf diese Weise können die herstellungs- und alterungsbedingten Farb- und Helligkeitsveränderungen der erfindungsgemäßen Beleuchtungsvorrichtung kompensiert werden, um über deren gesamter Betriebszeit eine gleichmäßige Beleuchtungsqualität sicher zu stel-

len. Das erfindungsgemäße System ermöglicht dabei eine optimierte Einstellung der Beleuchtung für eine beliebige Anzahl an Lichtquellen (LEDs). Die ständige Anpassung von Farbe und Helligkeit erlaubt dabei die Auswahl kostengünstiger Lichtquellen (also eines kostengünstigen "Binnings") bei gleichzeitig erhöhter Beleuchtungsqualität. Es sei angemerkt, dass das Optimierungsverfahren weitere Nebenbedingungen, insbesondere eine hohe Farbsättigung, umfassen kann.

**[0017]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung weist die Leuchteinheit 4 Lichtquellen mit unterschiedlicher spektraler Emission auf, besonders bevorzugt mit einer Auswahl aus den Farben rot, grün, gelb, blau, weiß. Die Auswahl der Lichtquellen wird abhängig von der Anwendung der Beleuchtungsanordnung getroffen werden. Alternativ können auch fünf oder mehr Lichtquellen in allen genannten Farben bzw. Spektralwerten zur Anwendung gelangen.

**[0018]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist der Regelalgorithmus im CIE-standardisierten X,Y,Z-Farbraum durchführbar. Dies hat den Vorteil, dass mit einem einfachen dreikanaligen Sensor, der mit geeigneten genormten Filtern versehen ist, der gesamte vom Menschen wahrnehmbare Farbraum detektiert werden kann. Es können alternativ auch andere Farbräume, z.B. RGB, LUV, HSL, LMS, RG verwendet werden, wobei die jeweilige Einschränkung des Gamuts zu berücksichtigen ist.

**[0019]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist der Sensor ein dreikanaliger Sensor, der Daten vorzugsweise im RGB- oder XYZ-Format bereitstellt. Mittels eines sehr einfachen und kostengünstigen Sensors lässt sich die erfindungsgemäße Optimierung durchführen. Dieser Sensor bestimmt den Lichtstrom und den Farbort der Gesamtheit aller in der Leuchte verwendeten Lichtquellen.

**[0020]** Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe wird ferner gelöst durch ein Verfahren zum Betrieb einer Beleuchtungsanordnung mit einer Leuchteinheit, die mindestens vier Lichtquellen unterschiedlicher Farbspektren umfasst, mit einem Sensor zur Ermittlung der von der Leuchteinheit emittierten spektralen Leistungsverteilung (SPD), einer Kontrolleinheit, die in Abhängigkeit einer vorgegebenen sowie der vom Sensor gemessenen spektralen Leistungsverteilung eine Ansteuerung beaufschlagt, welche die Lichtquellen der Leuchteinheit individuell ansteuert, damit das emittierte Licht die vorgegebene spektrale Leistungsverteilung aufweist, wobei das Verfahren als Optimierungsalgorithmus ausgebildet ist, der als Hauptbedingung einen errechneten Farbwiedergabeindex (CRI) maximiert, der aus den individuellen Ansteuerdaten der Lichtquellen berechnet wird, und als Nebenbedingung die Optimierung abgebrochen wird, wenn der Fehler zwischen der vorgegebenen und der gemessenen spektralen Leistungsverteilung einen Grenzwert unterschreitet. Die Wirkungsweise und Vorteile des Verfahrens wurden bereits oben im Zusammenhang mit der Vorrichtung erläutert.

**[0021]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung wird als Optimierungsverfahren das sog. Simplex-Verfahren verwendet. Dieses ist ein bewährtes Optimierungsverfahren zur Lösung linearer Optimierungsprobleme. Alternativ können auch andere Optimierungsverfahren zur Anwendung gelangen.

**[0022]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung wird der Farbwiedergabeindex (CRI) aus gespeicherten Daten über die Spektren der einzelnen Lichtquellen sowie den Ansteuerdaten der Lichtquellen errechnet.

**[0023]** Vorzugsweise wird dabei eine Funktion zwischen dem jeweiligen Maximum eines Spektrums und der Strahlungsintensität verwendet, aus der ein Multiplikationsfaktor bestimmt wird, mit dem das Strahlungsspektrum einer Lichtquelle bei dem aktuellen Ansteuerwert der Lichtquelle bestimmt wird, aus den Strahlungsspektren aller Lichtquellen ein virtuelles Gesamtstrahlungsspektrum addiert wird, und aus diesem wird der errechnete Farbwiedergabeindex (CRI) des virtuellen Gesamtstrahlungsspektrums.

**[0024]** Die Dokumente DE 10 2008 050818 A1 und WO 2010/122312 A1 offenbaren eine Beleuchtungsanordnung gemäß dem Oberbegriff vom Anspruch 1.

**[0025]** Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, in der - unter Bezug auf die Zeichnung - zumindest ein Ausführungsbeispiel im Einzelnen beschrieben ist. Gleiche, ähnliche und/oder funktionsgleiche Teile sind mit gleichen Bezugszeichen versehen.

**[0026]** Es zeigen:

Figur 1: eine schematische Blockbilddarstellung der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

Figur 2: eine schematische Blockbilddarstellung der CRI-Wert-Berechnungseinheit.

**[0027]** Die erfindungsgemäße Vorrichtung 10 umfasst gemäß Figur 1 eine Leuchteinheit 12, die vier oder mehr Lichtquellen 14 umfasst, welche unterschiedliche Farbspektren aufweisen. Beispielsweise kann eine rote LED (620 nm), eine grüne LED (520 nm), eine blaue LED (460 nm) und eine gelbe LED (590 nm) vorgesehen sein. Es können ferner zur Erhöhung der Lichtstärke mehrere Lichtquellen des gleichen Farbspektrums vorgesehen werden, die vorzugsweise gemeinsam (parallel oder in Reihe) angesteuert werden aber im Rahmen dieser Ausführungsform als eine Lichtquelle bzw. LED angesehen werden. Diese Lichtquellen strahlen im Wesentlichen in die gleiche, hier nicht näher bezeichnete Richtung. Wesentlich ist, dass im Strahlungsfeld aller Lichtquellen ein Sensor 16 angeordnet ist, der vorzugsweise als RGB- oder XYZ-Sensor ausgeführt ist und vom empfangenen Strahlungsspektrum entsprechende Daten an eine Optimierungseinheit 18 übergibt. Die Optimierungseinheit 18 erhält ferner als Eingangssignal einen Strahlungssollwert 20 als spektrale Leistungsverteilung (SPD), hier als Vektor im XYZ-Farbraum. Ferner erhält die Optimierungseinheit 18 einen berechneten CRI-Wert, welcher

dem gegenwärtigen tatsächlichen CRI-Wert der Leuchteinheit 12 entsprechen sollte und von einer CRI-Wert-Berechnungseinheit 22 bereitgestellt wird. Die Funktionsweise der CRI-Wert-Berechnungseinheit 22 wird in Figur 2 näher erläutert. Die Optimierungseinheit 18 führt auf der Grundlage der genannten Dateneingänge einen Optimierungsprozess durch, vorzugsweise nach dem sog. Simplex-Verfahren, und berechnet Ansteuerwerte (vorzugsweise im DMX-Protokoll), welche im asynchronen seriellen Betrieb an eine Ansteuereinheit 24 übergeben werden, die auf der Grundlage der Ansteuerwerte die Lichtquellen 14 der Leuchteinheit 12 individuell ansteuert.

**[0028]** Dabei ist die Hauptbedingung des Optimierungsverfahrens eine Maximierung des auf der Grundlage des von der CRI-Wert-Berechnungseinheit 22 bereitgestellten berechneten CRI-Wertes  $R_a$  :

$$\max (R_a)$$

**[0029]** Als Nebenbedingung wird ein Differenzenvektor aus dem von dem Sensor 16 gemessenen Farbvektor (vorzugsweise im XYZ-System) und einem vorgegebenen (Ziel-) Vektor 20 minimiert. Damit das Optimierungssystem zeitnah zu einer Lösung gelangt wird als Abbruchbedingung vorgegeben, dass der Betrag des Differenzenvektors einen Grenzwert  $\varepsilon$  unterschreitet:

$$|\overrightarrow{XYZ}_{actual} - \overrightarrow{XYZ}_{target}| \leq \varepsilon$$

**[0030]** In Figur 2 wird die Wirkungsweise der CRI-Wert-Berechnungseinheit 22 näher erläutert. Diese bezieht als Eingangssignal die aktuellen Ansteuerdaten 25 für die Lichtquellen, wovon in Figur 2 nur einer weiter dargestellt wird. Da die Datenübertragung seriell erfolgt, werden die Ansteuerdaten der anderen Lichtquellen zeitlich folgend geliefert und in der CRI-Wert-Berechnungseinheit 22 verarbeitet. In einer Speichereinheit 26 ist für jede Lichtquelle in einem ersten Speicherbereich 28 eine Beziehung zwischen dem Maximum des Spektrums einer Lichtquelle in Relation zu dem betreffenden Ansteuerungswert (DMX-Wert) gespeichert. In erster Näherung ist dies eine Gerade aber zur Erhöhung der Genauigkeit kann diese durch eine Polynomfunktion dritten Grades angenähert werden, zu der als maßgebliche Daten für die betreffende Lichtquelle die vier Koeffizienten a,b,c,d in

$$k = a \text{ DMX}^3 + b \text{ DMX}^2 + c \text{ DMX} + d$$

gespeichert sind (DMX steht für die unabhängige Variable, also den zugehörigen DMX-Wert der Lichtquelle). Alternativ kann die Beziehung zwischen DMX-Wert und dem Maximum des Spektrums auch als Lookup-Tabelle ausgebildet sein, um die Beziehung noch genauer abzu-

bilden. Die Koeffizienten a, b, c und d werden im Zuge der Auslegung der gesamten Leuchteinheit für den jeweiligen verwendeten Leuchtentyp (Lichtquelle) individuell mit Hilfe von Spektralvermessung oder auf Basis der Datenblätter bestimmt.

**[0031]** Eine Polynomfunktionsberechnungseinheit 30 berechnet aus dem DMX-Ansteuerwert 25 der Lichtquelle und den im ersten Speicherbereich 28 befindlichen Koeffizienten nach obiger Formel einen Multiplikator k ( $k < 1$ ).

**[0032]** Die Speichereinheit 26 enthält für jede Lichtquelle einen zweiten Speicherbereich 32, in dem das Spektrum der Lichtquelle bei maximaler Beleuchtungsstärke als Lookup-Tabelle abgelegt ist. Eine Multiplikatoreinheit 34 multipliziert aus dem in der Polynomfunktionsberechnungseinheit 30 bestimmten Multiplikator k und der im zweiten Speicherbereich 32 abgelegten Lichtspektrum der betreffenden Lichtquelle das aktuelle Einzelspektrum der Lichtquelle 36a, das mit den auf gleiche Weise berechneten Einzelspektren der anderen Lichtquelle 36b - 36d in der Additionseinheit 38 einem Gesamtspektrum addiert wird. Das so berechnete Gesamtspektrum aller Lichtquellen 14 wird in der CRI-Einheit 40 nach bekanntem Algorithmus in den Farbwiedergabeindex-Wert CRI umgerechnet. Dieser Wert wird dann der in Figur 1 gezeigten Optimierungseinheit 18 zugeführt.

#### Bezugszeichenliste

#### **[0033]**

|       |                                    |
|-------|------------------------------------|
| 10    | Vorrichtung                        |
| 12    | Leuchteinheit                      |
| 14    | Lichtquellen                       |
| 16    | Sensor                             |
| 18    | Optimierungseinheit                |
| 20    | Strahlungssollwert                 |
| 22    | CRI-Wert-Berechnungseinheit        |
| 24    | Ansteuereinheit                    |
| 25    | DMX-Ansteuerdaten                  |
| 26    | Speichereinheit                    |
| 28    | erster Speicherbereich             |
| 30    | Polynomfunktionsberechnungseinheit |
| 32    | zweiter Speicherbereich            |
| 34    | Multiplikatoreinheit               |
| 36a-d | Einzelspektrum                     |
| 38    | Additionseinheit                   |
| 40    | CRI-Einheit                        |

50

#### Patentansprüche

1. Beleuchtungsvorrichtung (10) mit einer Leuchteinheit (12), die mehrere Lichtquellen (14) unterschiedlicher Farbspektren umfasst, einem Sensor (16) zur Ermittlung der von der Leuchteinheit (14) emittierten spektralen Leistungsverteilung,

einer Kontrolleinheit (18), die dazu eingerichtet ist, in Abhängigkeit einer vorgegebenen sowie der vom Sensor (16) gemessenen spektralen Leistungsverteilung Ansteuerwerte für die Lichtquellen (14) der Leuchteinheit (12) zu berechnen, eine Ansteuereinheit (24), welcher dazu eingerichtet ist, die Ansteuerwerte von der Kontrolleinheit (18) zu empfangen und die Lichtquellen (14) der Leuchteinheit individuell anzusteuern, so dass das emittierte Licht die vorgegebene spektrale Leistungsverteilung aufweist,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** die Leuchteinheit (12) mindestens vier Lichtquellen (14) umfasst, wobei die Kontrolleinheit (18) zur Anwendung eines Optimierungsalgorithmus eingerichtet ist, der einen auf Basis der Ansteuerwerte der einzelnen Lichtquellen (14) ermittelten Farbwiedergabeindex unter einer Nebenbedingung maximiert, wobei gemäß der Nebenbedingung ein Fehler zwischen der vorgegebenen spektralen Leistungsverteilung und der gemessenen spektralen Leistungsverteilung kleiner als ein vorgegebener Grenzwert ist, wobei die Beleuchtungsanordnung (10) ferner eine Farbwiedergabeindex-Berechnungseinheit (22) aufweist, die eine Speichereinheit (26) mit einem ersten Speicherbereich (28) und einem zweiten Speicherbereich (32) aufweist, wobei für jede Lichtquelle (14):

- eine Beziehung zwischen dem Maximum des Spektrums der jeweiligen Lichtquelle (14) und dem betreffenden Ansteuerwert der Lichtquelle (14) in dem ersten Speicherbereich (28) gespeichert ist, und
- ein Spektrum der Lichtquelle (14) bei maximaler Beleuchtungsstärke als Lookup-Tabelle in dem zweiten Speicherbereich (32) abgelegt ist,

wobei die Farbwiedergabeindex-Berechnungseinheit (22) dazu eingerichtet ist,

- aus der Beziehung einen Multiplikationsfaktor zu berechnen,
- durch Multiplikation des Spektrums der jeweiligen Lichtquelle (14) bei maximaler Beleuchtungsstärke mit dem Multiplikationsfaktor ein aktuelles Einzelspektrum für jede Lichtquelle (14) zu bestimmen,
- aus den für alle Lichtquellen (14) ermittelten Einzelspektren ein virtuelles Gesamtstrahlungsspektrum zu addieren, und
- aus diesem Gesamtstrahlungsspektrum den Farbwiedergabeindex zu ermitteln.

2. Beleuchtungsanordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest ein Teil der Lichtquellen (14) halbleiterbasierte Lichtquellen

sind.

3. Beleuchtungsanordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest ein Teil der halbleiterbasierten Lichtquellen (14) Leuchtdioden sind.
4. Beleuchtungsanordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Leuchteinheit (12) vier Lichtquellen (14) mit unterschiedlicher spektraler Emission aufweist.
5. Beleuchtungsanordnung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Leuchteinheit (12) vier Lichtquellen (14) mit einer Auswahl aus den Farben rot, grün, gelb, blau, weiß aufweist.
6. Beleuchtungsanordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Leuchteinheit (12) fünf Lichtquellen (14) aufweist.
7. Beleuchtungsanordnung nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Optimierungsalgorithmus im CIE-standardisierten X,Y,Z-Farbraum durchführbar ist.
8. Beleuchtungsanordnung nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Sensor (16) ein dreikanaliger Sensor, vorzugsweise ein RGB oder ein XYZ-Sensor ist.
9. Beleuchtungsanordnung nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ansteuerwerte im DMX-System bereitgestellt sind.
10. Verfahren zum Betrieb einer Beleuchtungsanordnung mit einer Leuchteinheit (12), die mindestens vier Lichtquellen (14) unterschiedlicher Farbspektren umfasst, mit einem Sensor (16) zur Ermittlung der von der Leuchteinheit emittierten spektralen Leistungsverteilung, einer Kontrolleinheit (18), die in Abhängigkeit einer vorgegebenen sowie der vom Sensor (16) gemessenen spektralen Leistungsverteilung Ansteuerwerte für die Lichtquellen (14) der Leuchteinheit (12) berechnet und die Ansteuerwerte an eine Ansteuereinheit (24) übergibt, wobei die Ansteuereinheit (24) die Lichtquellen (14) individuell ansteuert, damit das emittierte Licht die vorgegebene spektrale Leistungsverteilung aufweist, **dadurch gekennzeichnet,** **dass** ein Optimierungsalgorithmus ausgeführt wird, der einen auf Basis der Ansteuerwerte der einzelnen Lichtquellen (14) ermittelten Farbwiedergabeindex unter einer Nebenbedingung optimiert, wobei nach der Nebenbedingung ein Fehler zwischen der vorgegebenen spektralen Leistungsverteilung und der gemessenen spektralen Leistungsverteilung kleiner

als ein vorgegebener Grenzwert ist, und  
**dass** eine Farbwiedergabeindex-Berechnungseinheit (22) vorhanden ist, die eine Speichereinheit (26) mit einem ersten Speicherbereich (28) und einem zweiten Speicherbereich (32) aufweist, wobei für jede Lichtquelle (14):

- eine Beziehung zwischen dem Maximum des Spektrums der jeweiligen Lichtquelle (14) und dem betreffenden Ansteuerwert der Lichtquelle (14) in dem ersten Speicherbereich (28) gespeichert ist, und
- ein Spektrum der Lichtquelle (14) bei maximaler Beleuchtungsstärke als Lookup-Tabelle in dem zweiten Speicherbereich (32) abgelegt ist,

wobei:

- aus der Beziehung ein Multiplikationsfaktor berechnet wird,
- durch Multiplikation des Spektrums der jeweiligen Lichtquelle (14) bei maximaler Beleuchtungsstärke mit dem Multiplikationsfaktor ein aktuelles Einzelspektrum für jede Lichtquelle (14) bestimmt wird,
- aus den für alle Lichtquellen (14) ermittelten Einzelspektren ein virtuelles Gesamtstrahlungsspektrum addiert wird, und
- aus diesem Gesamtstrahlungsspektrum der Farbwiedergabeindex ermittelt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Optimierungsalgorithmus das Simplex-Verfahren verwendet wird.

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Beziehung eine Polynomfunktion dritten Grades ist, deren Koeffizienten für jede Lichtquelle gespeichert werden.

## Claims

1. Lighting device (10) comprising  
 a luminous unit (12) comprising a plurality of light sources (14) of different colour spectra,  
 a sensor (16) for determining the spectral power distribution emitted by the luminous unit (14),  
 a control unit (18) configured to calculate drive values for the light sources (14) of the luminous unit (12) depending on a predefined spectral power distribution and the spectral power distribution measured by the sensor (16),  
 a drive unit (24) configured to receive the drive values from the control unit (18) and to individually drive the light sources (14) of the luminous unit, such that the emitted light has the predefined spectral power distribution,

## characterized

**in that** the luminous unit (12) comprises at least four light sources (14), wherein the control unit (18) is configured to apply an optimization algorithm which maximizes a colour rendering index determined on the basis of the drive values of the individual light sources (14) under a constraint, wherein, in accordance with the constraint, an error between the predefined spectral power distribution and the measured spectral power distribution is less than a predefined limit value, wherein the lighting device (10) furthermore has a colour rendering index calculation unit (22), which has a memory unit (26) comprising a first memory area (28) and a second memory area (32), wherein for each light source (14):

- a relationship between the maximum of the spectrum of the respective light source (14) and the relevant drive value of the light source (14) is stored in the first memory area (28), and
- a spectrum of the light source (14) in the case of maximum illuminance is stored as a look-up table in the second memory area (32),

wherein the colour rendering index calculation unit (22) is configured

- to calculate a multiplication factor from the relationship,
- to determine a present individual spectrum for each light source (14) by multiplying the spectrum of the respective light source (14) in the case of maximum illuminance by the multiplication factor,
- to add up the individual spectra determined for all the light sources (14) to form a virtual total radiation spectrum, and
- to determine the colour rendering index from said total radiation spectrum.

2. Lighting device according to Claim 1, **characterized in that** the light sources (14) at least in part are semiconductor-based light sources.

3. Lighting device according to Claim 1, **characterized in that** the semiconductor-based light sources (14) at least in part are light-emitting diodes.

4. Lighting device according to Claim 1, **characterized in that** the luminous unit (12) has four light sources (14) having a different spectral emission.

5. Lighting device according to Claim 4, **characterized in that** the luminous unit (12) has four light sources (14) with a selection from the colours red, green, yellow, blue, white.

6. Lighting device according to Claim 1, **characterized**

in that the luminous unit (12) has five light sources (14).

7. Lighting device according to any of the preceding claims, **characterized in that** the optimization algorithm is implementable in the CIE-standardized X, Y, Z colour space.

8. Lighting device according to any of the preceding claims, **characterized in that** the sensor (16) is a three-channel sensor, preferably an RGB or an XYZ sensor.

9. Lighting device according to any of the preceding claims, **characterized in that** the drive values are provided in the DMX system.

10. Method for operating a lighting device comprising a luminous unit (12) comprising at least four light sources (14) of different colour spectra, comprising a sensor (16) for determining the spectral power distribution emitted by the luminous unit, a control unit (18), which calculates drive values for the light sources (14) of the luminous unit (12) depending on a predefined spectral power distribution and the spectral power distribution measured by the sensor (16) and transfers the drive values to a drive unit (24), wherein the drive unit (24) individually drives the light sources (14) in order that the emitted light has the predefined spectral power distribution,

**characterized**

**in that** an optimization algorithm is carried out which optimizes a colour rendering index determined on the basis of the drive values of the individual light sources (14) under a constraint, wherein, according to the constraint, an error between the predefined spectral power distribution and the measured spectral power distribution is less than a predefined limit value, and

**in that** a colour rendering index calculation unit (22) is present, which has a memory unit (26) comprising a first memory area (28) and a second memory area (32), wherein for each light source (14):

- a relationship between the maximum of the spectrum of the respective light source (14) and the relevant drive value of the light source (14) is stored in the first memory area (28), and
- a spectrum of the light source (14) in the case of maximum illuminance is stored as a look-up table in the second memory area (32),

wherein:

- a multiplication factor is calculated from the relationship,
- a present individual spectrum for each light source (14) is determined by multiplying the

spectrum of the respective light source (14) in the case of maximum illuminance by the multiplication factor,

- the individual spectra determined for all the light sources (14) are added up to form a virtual total radiation spectrum, and
- the colour rendering index is determined from said total radiation spectrum.

11. Method according to Claim 10, **characterized in that** the simplex method is used as optimization algorithm.

12. Method according to Claim 10 or 11, **characterized in that** the relationship is a third degree polynomial function whose coefficients are stored for each light source.

## Revendications

1. Dispositif d'éclairage (10), comprenant une unité lumineuse (12) qui comporte plusieurs sources de lumière (14) ayant des spectres de couleurs différents, un capteur (16) destiné à déterminer la distribution de puissance spectrale émise par l'unité lumineuse (14), une unité de contrôle (18) qui est conçue pour calculer des valeurs de pilotage pour les sources de lumière (14) de l'unité lumineuse (12) en fonction d'une distribution de puissance spectrale prédéfinie et mesurée par le capteur (16), une unité de pilotage (24) qui est conçue pour recevoir les valeurs de pilotage de la part de l'unité de contrôle (18) et piloter les sources de lumière (14) de l'unité lumineuse individuellement de telle sorte que la lumière émise présente la distribution de puissance spectrale prédéfinie, **caractérisé en ce que** l'unité lumineuse (12) comporte au moins quatre sources de lumière (14), l'unité de contrôle (18) étant conçue pour utiliser un algorithme d'optimisation qui maximise un indice de restitution de couleur déterminé sur la base des valeurs de pilotage des sources de lumière (14) individuelles en présence d'une contrainte, une erreur entre la distribution de puissance spectrale prédéfinie et la distribution de puissance spectrale mesurée étant, selon la contrainte, inférieure à une valeur limite prédéfinie, le dispositif d'éclairage (10) possédant en outre une unité de calcul d'indice de restitution de couleur (22) qui possède une unité de mémoire (26) ayant une première zone de mémoire (28) et une deuxième zone de mémoire (32), pour chaque source de lumière (14) :

- une relation entre le maximum du spectre de la source de lumière (14) respective et la valeur de pilotage concernée de la source de lumière (14) étant enregistrée dans la première zone de mémoire (28) et
  - un spectre de la source de lumière (14) à l'intensité d'éclairage maximale étant stocké sous la forme d'une table de conversion dans la deuxième zone de mémoire (32), l'unité de calcul d'indice de restitution de couleur (22) étant conçue pour
  - calculer un facteur de multiplication à partir de la relation,
  - déterminer un spectre individuel actuel pour chaque source de lumière (14) par multiplication du spectre de la source de lumière (14) respective à l'intensité d'éclairage maximale par le facteur de multiplication,
  - additionner un spectre de rayonnement total virtuel à partir des spectres individuels déterminés pour toutes les sources de lumière (14), et
  - déterminer l'indice de restitution de couleur à partir de ce spectre de rayonnement total.
2. Dispositif d'éclairage selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'**au moins une partie des sources de lumière (14) sont des sources de lumière à base de semiconducteur.
3. Dispositif d'éclairage selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'**au moins une partie des sources de lumière (14) à base de semiconducteur sont des diodes électroluminescentes.
4. Dispositif d'éclairage selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'unité lumineuse (12) possède quatre sources de lumière (14) ayant des émissions spectrales différentes.
5. Dispositif d'éclairage selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** l'unité lumineuse (12) possède quatre sources de lumière (14) avec une sélection des couleurs rouge, vert, jaune, bleu, blanc.
6. Dispositif d'éclairage selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'unité lumineuse (12) possède cinq sources de lumière (14).
7. Dispositif d'éclairage selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'algorithme d'optimisation peut être exécuté dans l'espace chromatique X, Y, Z normalisé CIE.
8. Dispositif d'éclairage selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le capteur (16) est un capteur à trois canaux, de préférence un capteur RGB ou XYZ.
9. Dispositif d'éclairage selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les valeurs de pilotage sont fournies dans le système DMX.
10. Procédé pour faire fonctionner un dispositif d'éclairage comprenant une unité lumineuse (12) qui comporte au moins quatre sources de lumière (14) ayant des spectres de couleurs différents, comprenant un capteur (16) destiné à déterminer la distribution de puissance spectrale émise par l'unité lumineuse, une unité de contrôle (18) qui calcule des valeurs de pilotage pour les sources de lumière (14) de l'unité lumineuse (12) en fonction d'une distribution de puissance spectrale prédéfinie et mesurée par le capteur (16) et transfère les valeurs de pilotage à une unité de pilotage (24), l'unité de pilotage (24) pilotant les sources de lumière (14) individuellement de telle sorte que la lumière émise présente la distribution de puissance spectrale prédéfinie,
- caractérisé en ce qu'**un algorithme d'optimisation est exécuté, lequel optimise un indice de restitution de couleur déterminé sur la base des valeurs de pilotage des sources de lumière (14) individuelles en présence d'une contrainte, une erreur entre la distribution de puissance spectrale prédéfinie et la distribution de puissance spectrale mesurée étant, selon la contrainte, inférieure à une valeur limite prédéfinie, et
- qu'**une unité de calcul d'indice de restitution de couleur (22) est présente, laquelle possède une unité de mémoire (26) ayant une première zone de mémoire (28) et une deuxième zone de mémoire (32), pour chaque source de lumière (14) :
- une relation entre le maximum du spectre de la source de lumière (14) respective et la valeur de pilotage concernée de la source de lumière (14) étant enregistrée dans la première zone de mémoire (28) et
  - un spectre de la source de lumière (14) à l'intensité d'éclairage maximale étant stocké sous la forme d'une table de conversion dans la deuxième zone de mémoire (32),
  - un facteur de multiplication étant calculé à partir de la relation,
  - un spectre individuel actuel pour chaque source de lumière (14) étant déterminé par multiplication du spectre de la source de lumière (14) respective à l'intensité d'éclairage maximale par le facteur de multiplication,
  - un spectre de rayonnement total virtuel étant additionné à partir des spectres individuels déterminés pour toutes les sources de lumière (14), et
  - l'indice de restitution de couleur étant déterminé à partir de ce spectre de rayonnement total.
11. Procédé selon la revendication 10, **caractérisé en**

**ce que** l'algorithme d'optimisation utilisé est le procédé simplex.

12. Procédé selon la revendication 10 ou 11, **caracté-**  
**risé en ce que** la relation est une fonction polyno- 5  
miale du troisième degré dont les coefficients sont  
enregistrés pour chaque source de lumière.

10

15

20

25

30

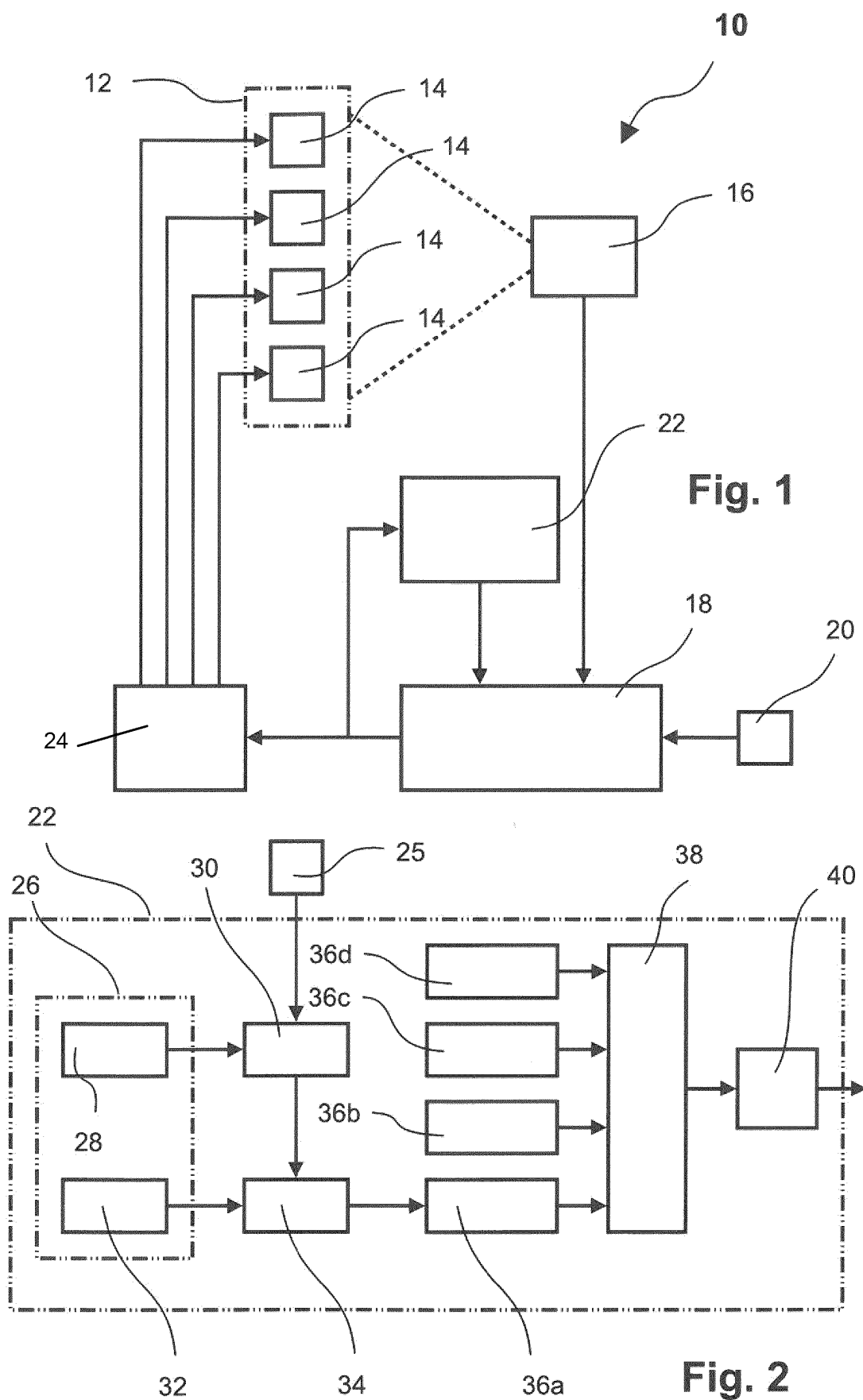
35

40

45

50

55



**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- EP 1461982 B1 [0004]
- DE 102007044556 [0006]
- DE 102008050818 A1 [0024]
- WO 2010122312 A1 [0024]