



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2011 079 796.3**

(22) Anmeldetag: **26.07.2011**

(43) Offenlegungstag: **31.01.2013**

(51) Int Cl.: **G05D 25/02 (2011.01)**

(71) Anmelder:

**Flextronics Automotive GmbH & Co.KG, 72636,  
Frickenhausen, DE**

(74) Vertreter:

**Kohler Schmid Möbus Patentanwälte, 70565,  
Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:

**Gern, Tobias, 73728, Esslingen, DE; Burkhardt,  
Uwe, 72805, Lichtenstein, DE; Wimbert, Frank,  
Dr., 73277, Owen, DE; Kürner, Rainer, 72581,  
Dettingen, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

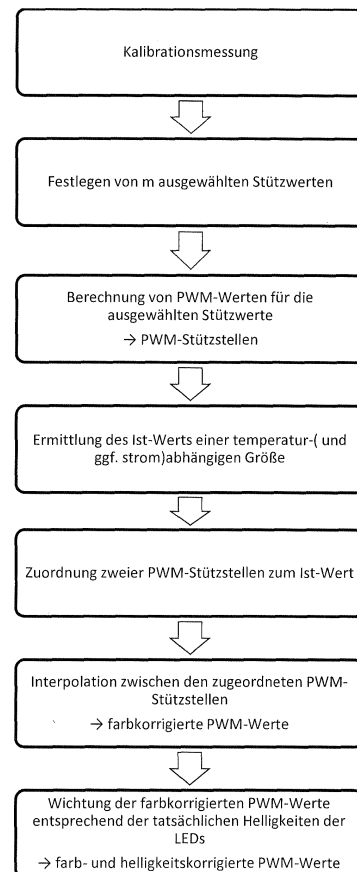
<b>DE</b>	<b>44 34 266</b>	<b>B4</b>
<b>DE</b>	<b>10 2007 044 556</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>10 2007 052 854</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>10 2010 044 736</b>	<b>A1</b>

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Ermittlung von PWM-Werten für LED-Module**

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zur Ermittlung von PWM-Werten für ein LED-Modul mit  $n$  LED-Chips aus verschiedenen Farbbereichen, wobei  $n > 1$ , wobei für jeden LED-Chip ein PWM-Wert zur Erzeugung eines Zielfarbwerts ermittelt wird, ist dadurch gekennzeichnet, dass eine Kalibrationsmessung durchgeführt wird, in der die Wellenlängen ( $\lambda_{cal1}$ ,  $\lambda_{cal2}$ ,  $\lambda_{cal3}$ ) und/oder die Normfarbanteile ( $(x, y)_{cal1}$ ,  $(x, y)_{cal2}$ ,  $(x, y)_{cal3}$ ) und ggfs. die Lichtströme der einzelnen LED-Chips bei einer Kalibrationstemperatur ( $T_{cal}$ ) bestimmt werden, dass PWM-Stützstellen ermittelt werden, wobei jede PWM-Stützstelle je einen PWM-Wert für jeden der  $n$  Farbbereiche des LED-Moduls beinhaltet, dass im Betrieb des LED-Moduls eine von der aktuellen Temperatur ( $T_a$ ) des LED-Moduls abhängige Größe, insbesondere die aktuelle Temperatur ( $T_a$ ) selbst, ermittelt wird, und dieser temperaturabhängigen Größe eine erste und eine zweite PWM-Stützstelle zugeordnet werden, und dass die PWM-Werte zur Erzeugung des Zielfarbwertes durch Interpolation zwischen den zugeordneten PWM-Stützstellen erhalten werden. Hierdurch wird es auf kostengünstige Weise ermöglicht, mit wenig Rechnerleistung trotz Temperaturschwankungen (und ev. Stromschwankungen) eine genaue Farbmischung im LED-Modul zu realisieren.



## Beschreibung

### Hintergrund der Erfindung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung von PWM-Werten für ein LED-Modul mit  $n$  LED-Chips aus verschiedenen Farbbereichen, wobei  $n > 1$ , wobei für jeden LED-Chip ein PWM(= pulse width modulation)-Wert zur Erzeugung eines Zielfarbwerts ermittelt wird.

**[0002]** LEDs umfassen i. A. mehrere LED-Chips und zeichnen sich durch eine lange Lebensdauer, hohe Robustheit, geringen Energieverbrauch und eine kleine Bauform auf, wodurch sich eine Vielzahl an Einsatzmöglichkeiten ergibt, bspw. in der Unterhaltungselektronik, Medizintechnik, Telekommunikation und im Automotive-Bereich. Die  $n$  LED-Chips können direkt auf der Leiterplatte aufgebracht sein (COB, Chip-on-board), in einem gemeinsamen LED-Gehäuse untergebracht sein (Mehrfarb-LED) oder in separaten Gehäusen untergebracht sein (Single-color-LED).

**[0003]** Durch additive Farbmischung auf Basis der RGB Technologie mit LED-Modulen, die rote, grüne und blaue LED-Chips umfassen, können nahezu beliebige Mischfarben (Zielfarben) realisiert werden. Dies erfolgt durch Pulsweitenmodulation, indem für eine bestimmte Zielfarbe jedes LED-Chips ein PWM-Wert ermittelt wird, der ein Maß für den Stromfluss durch den jeweiligen LED-Chip ist. Bei einem PWM-Wert handelt es sich um den Tastgrad (Pulsdauer pro Periodendauer). Somit können die Helligkeiten der LED-Chips, und somit der Beitrag der einzelnen LED-Chips zur Mischfarbe beeinflusst werden.

**[0004]** Eine exakte Farbmischung ist jedoch schwierig, da die Sortierung der LED-Chips einer Farbe standardmäßig einen großen Helligkeits- und Farbbereich umfasst und sowohl die Helligkeit als auch der Farbwert strom- und temperaturabhängig sind. Es ergeben sich daher bei unterschiedlichen Temperaturen unterschiedliche Mischfarben.

**[0005]** Eine entsprechende Korrektur der PWM-Werte kann zwar prinzipiell durchgeführt werden, jedoch wäre die exakte Berechnung der entsprechenden PWM-Werte extrem rechenaufwändig und mit einem günstigen Prozessor nicht realisierbar.

**[0006]** Bei kostengünstigen Produkten werden daher die temperatur- und strombedingten Farbänderungen in Kauf genommen, was jedoch zu qualitativ minderwertigen Produkten führt.

### Aufgabe der Erfindung

**[0007]** Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Ermittlung von PWM-Werten vorzuschlagen, welches es auf kostengünstige Weise ermöglicht, mit wenig Rechnerleistung trotz Temperaturschwankungen (und ev. Stromschwankungen) eine genaue Farbmischung im LED-Modul zu realisieren, sodass jederzeit eine vorgegebene Zielfarbe möglichst genau erreicht wird.

### Kurze Beschreibung der Erfindung

**[0008]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass eine Kalibrationsmessung durchgeführt wird, in der die Wellenlängen und/oder die Normfarbwertanteile und ggf. Lichtströme der einzelnen LED-Chips bei einer Kalibrationstemperatur bestimmt werden, dass PWM-Stützstellen ermittelt werden, wobei jede PWM-Stützstelle je einen PWM-Wert für jeden der  $n$  Farbbereiche des LED-Moduls beinhaltet, dass im Betrieb des LED-Moduls eine von der aktuellen Temperatur des LED-Moduls abhängige Größe, insbesondere die aktuelle Temperatur selbst, ermittelt wird, und dieser temperaturabhängigen Größe eine erste und eine zweite PWM-Stützstelle zugeordnet werden, und dass die PWM-Werte zur Erzeugung des Zielfarbwertes durch Interpolation zwischen den zugeordneten PWM-Stützstellen erhalten werden.

**[0009]** Vorzugsweise umfasst das Modul drei LED-Chips ( $n = 3$ ), und zwar jeweils einen LED-Chip im blauen, einen im grünen und einen im roten Farbbereich. Ein Farbbereich kann durch einen bestimmten Wellenlängenbereich charakterisiert sein. Es ist jedoch auch möglich, eine RGB Mischung mit phosphorkonvertierten LED-Chips, die man nicht über Wellenlängenbereiche greifen kann, durchzuführen.

**[0010]** Die Kalibrationsmessung wird bei einer festgelegten Temperatur (Kalibrationstemperatur) und einer festgelegten Stromstärke (Normstromstärke) durchgeführt. Bei abweichender Stromstärke können die Kali-

brierwerte auf Normstromstärke umgerechnet werden. Die Daten der Kalibrationsmessung werden in einem Speicher des LED-Moduls abgelegt.

**[0011]** Im Betrieb eines LED-Moduls findet eine Vielzahl an Temperaturschwankungen statt, die eine entsprechende Korrektur der PWM-Werte erforderlich machen. Die Erfindung sieht hierzu vor, die PWM-Werte durch Interpolation zwischen vorher festgelegten PWM-Stützstellen zu ermitteln. Die PWM-Stützstellen werden unabhängig von der aktuellen Temperatur (Ist-Temperatur) der LED-Chips ermittelt. Jede PWM-Stützstelle enthält PWM-Werte für das LED-Modul für einen bestimmten ausgewählten Stützwert (z. B. eine vorgegebene Wellenlängenkombination oder eine vorgegebene Temperatur, wie unten näher erläutert). Die Stützwerte der PWM-Stützstellen werden mit der gemessenen aktuellen Temperatur oder mit daraus abgeleiteten Werten (z. B. Wellenlängen, am LED-Chip abfallende Vorwärtsspannung) verglichen, so dass eine Zuordnung von zwei PWM-Stützstellen zu der aktuellen Temperatur erfolgen kann. Diese Zuordnung erfolgt, indem diejenigen zwei PWM-Stützstellen ausgewählt werden, deren Stützwerte der aktuellen Temperatur oder den aus der aktuellen Temperatur abgeleiteten Werten (z. B. den dominanten Wellenlängen) am nächsten kommt. Zwischen diesen zugeordneten PWM-Stützstellen wird die Interpolation durchgeführt, aus der die PWM-Werte zur Erzeugung des Zielfarbwertes gewonnen werden.

**[0012]** Aufgrund der Interpolation zwischen den zuvor ermittelten PWM-Stützstellen ist es nicht notwendig, PWM-Werte für jede mögliche Temperatur und jeden Zielfarbwert zu berechnen. Vielmehr können mit dem erfindungsgemäßen Verfahren PWM-Werte für die jeweilige aktuelle Temperatur mit geringem Rechenaufwand ermittelt werden. Die ermittelten PWM-Werte können dann in Form eines PWM-Kontrollsignals einem Kontrollkreis zugeführt werden, der die Stromzufuhr zu den LED-Chips kontrolliert und somit eine Helligkeitsregulierung der LED-Chips bewirkt, sodass die gewünschte Zielfarbe mit hoher Genauigkeit erreicht wird.

**[0013]** Eine spezielle Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens zeichnet sich dadurch aus, dass die Ermittlung der PWM-Stützstellen durch Berechnung der PWM-Werte für jeweils eine vorgegebene Wellenlängenkombination erfolgt, wobei jede vorgegebene Wellenlängenkombination je eine Wellenlänge für jeden Farbbereich des LED-Moduls beinhaltet, und dass als temperaturabhängigen Größe eine aktuelle Wellenlängenkombination, welche aktuelle Wellenlängen der LED-Chips bei der aktuellen Temperatur enthält, bestimmt wird, und diejenigen zwei PWM-Stützstellen zugeordnet werden, deren vorgegebene Wellenlängenkombinationen der aktuelle Wellenlängenkombination am nächsten kommen.

**[0014]** Eine aktuelle Wellenlängenkombination des LED-Moduls beinhaltet für jeden LED-Chip eine Wellenlänge (vorzugsweise die dominante Wellenlänge) bei der aktuellen Temperatur. Unter „dominanter Wellenlänge“ versteht man im CIE-Diagramm den Schnittpunkt der Geraden, die durch den Weißpunkt und den Farbort ( $C_x$ ,  $C_y$ ) der Lichtfarbe des entsprechenden LED-Chips verläuft, mit dem Spektralfarbenzug des Farbraums. Da sich die Lichtfarbe mit der Temperatur ändert, weist ein LED-Chip bei unterschiedlichen Temperaturen unterschiedliche dominante Wellenlängen auf. Die Bestimmung der aktuellen Wellenlängenkombination des LED-Moduls erfolgt durch Daten, die aus der Kalibrationsmessung gewonnen wurden, sowie durch die bekannte Temperaturabhängigkeit der Wellenlängenänderung der einzelnen LED-Chips. Die exakte Eingangsmessung wird also entsprechend der jeweiligen Betriebsbedingungen korrigiert. Die aktuelle Wellenlänge kann bspw. berechnet werden durch:  $\lambda_a = \lambda_{cal} + (T - T_{cal}) \cdot TC_{\lambda dom}$ , wobei  $\lambda_{cal}$  die Wellenlänge des LED-Chips bei der Kalibrationstemperatur, vorzugsweise 25°C, beschreibt, und  $TC_{\lambda dom}$  ein Maß für die temperaturabhängige Wellenlängenänderung ist. Der Koeffizient  $TC_{\lambda dom}$  kann dem zum LED-Chip gehörigen Datenblatt entnommen werden (z. B. OSRAM 6-lead MULTILED, DOMINANT™ Opto Technologies).

**[0015]** Die Kalibrationsmessung kann bei dieser Variante unabhängig von der Ermittlung der PWM-Stützstellen erfolgen, also sowohl vor, während als auch nach Ermittlung der PWM-Stützstellen.

**[0016]** Jede PWM-Stützstelle ist durch ihre entsprechende Wellenlängenkombination (n Wellenlängen) charakterisiert. Für die Zuordnung der zwei PWM-Stützstellen zu der aktuellen Wellenlängenkombination müssen daher diese n aktuellen Wellenlängen mit den n vorgegebenen Wellenlängen der PWM-Stützstellen verglichen werden. Die PWM-Stützstellen, deren Wellenlängenkombinationen der aktuellen Wellenlängenkombination am nächsten kommen, werden der aktuellen Temperatur zugeordnet. Zwischen den PWM-Werten der zugeordneten PWM-Stützstellen wird dann die Interpolation, vorzugsweise eine lineare Interpolation, durchgeführt.

**[0017]** Vorzugsweise werden die vorgegebenen Wellenlängenkombinationen so gewählt, dass sie für jeweils eine vorgegebene Temperatur die dominanten Wellenlängen der LED-Chips beinhalten (dominante Wellenlängenkombinationen).

**[0018]** Der Bereich der dominanten Wellenlänge eines LED-Chips bei 25°C, sowie ein Temperaturkoeffizient  $\text{coeff}_\lambda$ , der die Temperaturabhängigkeit der dominanten Wellenlänge beschreibt, sind i. A. in den entsprechenden Datenblättern aufgeführt (s. o.).

**[0019]** Um auch die Stromabhängigkeit der LED-Wellenlängen zu berücksichtigen, ist es vorteilhaft, wenn im Betrieb des LED-Moduls für jeden LED-Chip eine aktuelle Stromstärke ermittelt wird, und die Bestimmung der aktuellen Wellenlängen zusätzlich in Abhängigkeit der aktuellen Stromstärke der LED-Chips erfolgt. Die temperatur- und stromabhängige Berechnung der aktuellen Wellenlänge kann bspw. gemäß:  $\lambda_a(T_a, I_a) = \lambda_{\text{cal}} + (T_a - T_{\text{cal}}) \cdot \text{TC}_{\lambda_{\text{dom}}} + (I_a - I_{\text{cal}}) \cdot \text{IC}_{\lambda_{\text{dom}}}$  erfolgen, wobei  $I_a$  die gemessene aktuelle Stromstärke,  $I_{\text{cal}}$  die Stromstärke, bei der die Kalibrationsmessung durchgeführt wurde, und  $\text{IC}_{\lambda_{\text{dom}}}$  ein Koeffizient ist, der die Stromabhängigkeit der Wellenlänge beschreibt.  $\text{IC}_{\lambda_{\text{dom}}}(T_a)$  kann stromabhängig oder konstant sein.

**[0020]** Vorzugsweise erfolgt die Zuordnung der Stützstellen so, dass jede der Wellenlängen der ersten zugeordneten PWM-Stützstelle den kleinsten Abstand zu der aktuellen Wellenlänge desselben Farbbereichs aufweist und dass jede der Wellenlängen der zweiten zugeordneten PWM-Stützstelle den zweitkleinsten Abstand zu der aktuellen Wellenlänge desselben Farbbereichs aufweist. Auf diese Weise werden besonders genaue Ergebnisse bei der Interpolation erreicht.

**[0021]** Während bei der zuvor beschriebenen Variante die Stützstellen anhand von vorgegebenen Wellenlängenkombinationen ermittelt werden, sieht eine besonders bevorzugte Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens vor, dass bei der Ermittlung der PWM-Stützstellen Temperaturen vorgegeben werden und für diese vorgegebenen Temperaturen modulspezifische PWM-Kombinationen ermittelt werden, dass als temperaturabhängige Größe die aktuelle Temperatur bestimmt wird, und diejenigen zwei PWM-Stützstellen zugeordnet werden, deren vorgegebene Temperaturen der aktuellen Temperatur am nächsten kommen.

**[0022]** „Modulspezifische“ PWM-Kombinationen werden dadurch erhalten, dass Ergebnisse aus der Kalibrationsmessung des entsprechenden Moduls bereits in die Ermittlung der PWM-Stützstellen eingehen. Diese Verfahrensvariante wird vorzugsweise im Normfarbraum durchgeführt, ist aber auch in anderen Farbräumen durchführbar. Ergebnisse der Kalibrationsmessung können bspw. die Wellenlängen bzw. die Normfarbwertanteile der LED-Chips bei Kalibrationstemperatur sein, Normfarbwertanteile (x, y, z) sind im Normfarbsystem international als grundlegende Eichvalenzen vereinbart und dienen zur Darstellung des Farbortes in der Normfarbtafel. Es gilt:  $x + y + z = 1$ . Es genügt also x und y anzugeben, da sich z rechnerisch ergibt. Die Berechnung von modulspezifischen Stützstellen aus den gemessenen Normfarbwertanteilen ist besonders vorteilhaft, weil in diesem Fall der exakte Sättigungsgrad der LED-Chips berücksichtigt ist, während bei der Verwendung von nicht-modulspezifischen Stützstellen eine Sättigung angenommen werden muss, was insbesondere bei grünen LED-Chips zu Fehlern führt. Um die modulspezifischen PWM-Kombinationen zu ermitteln, werden also auf Basis der Kalibrationsmessung die Wellenlängen oder Normfarbwertanteile der jeweiligen LED-Chips des Moduls bei den ausgewählten Temperaturen bestimmt. Diese für eine ausgewählte Temperatur bestimmten Wellenlängen bzw. Normfarbwertanteile bilden eine Wellenlängen- bzw. Normfarbwertanteilkombination, für die dann die PWM-Werte zur Realisierung des Zielfarbwerts berechnet werden können.

**[0023]** Die aktuelle temperaturabhängige Größe wird den PWM-Stützstellen zugeordnet, indem die aktuellen Temperaturen mit den ausgewählten Temperaturen der PWM-Stützstellen verglichen werden. Die PWM-Stützstellen mit den ausgewählten Temperaturen, die der aktuellen Temperatur am nächsten kommen, werden zur Interpolation herangezogen.

**[0024]** Die Ermittlung modulspezifischer PWM-Stützstellen kann während oder nach der Kalibrierung des LED-Moduls erfolgen. Die PWM-Stützstellen werden in einem dauerhaften Speicher im LED-Modul hinterlegt.

**[0025]** Da nicht nur die Wellenlängen bzw. Normfarbwertanteile, sondern auch deren Helligkeit temperatur- und stromabhängig sind, ist es besonders vorteilhaft, wenn in der Kalibrationsmessung zusätzlich die Helligkeit der LED-Chips bei der Kalibriertemperatur gemessen wird, und die aktuellen Helligkeiten der LED-Chips bei der aktuellen Temperatur und gegebenenfalls bei der aktuellen Stromstärke berechnet werden, und die interpolierten PWM-Werte entsprechend dieser aktuellen Helligkeiten der LED-Chips gewichtet werden. Bei der Kalibrationsmessung wird die Helligkeit des bei der Kalibrationstemperatur und der Kalibrationsstromstärke von den LED-Chips emittierten Lichts gemessen. Die aktuelle Helligkeit der LED-Chips kann mittels der Eingangsmessung und dem aus Datenblättern bekannten temperaturabhängigen Verhalten der LED-Chips ermittelt werden: bspw. durch  $\Phi_a(T) = \Phi_{\text{cal}}(T_{\text{cal}}) + (T - T_{\text{cal}}) \cdot \text{koeff}_{\Phi 1}$  oder  $\Phi_a(T) = \Phi_{\text{cal}}(T_{\text{cal}}) \cdot \text{koeff}_{\Phi 2}(T)$ . Eine analoge Helligkeitskorrektur kann auch bzgl. des stromabhängigen Verhaltens der LED-Chips durchgeführt werden.

**[0026]** Die Ermittlung der aktuellen Temperatur eines LED-Chips kann durch eine Temperaturmessung in der Nähe der LED-Chips erfolgen. Allerdings ist eine solche Messung relativ ungenau, da die Temperatur des LED-Chips bei einem Abstand des Temperatursensors zum LED-Chip nicht exakt ermittelt werden kann. Häufig behindern weitere Wärmequellen auf der Leiterplatte, auf welcher der entsprechende LED-Chip montiert ist, die genaue Vorhersagbarkeit der Temperaturdifferenz zwischen Messstelle und LED-Chip. Abweichungen von mehreren °C können auftreten. Die Temperaturdifferenz wird u. a. durch die thermischen Übergangswiderstände zwischen Temperatursensor und LED-Chip und die PWM-Werte beeinflusst. Dies kann im Rahmen einer Korrektur berücksichtigt werden. Um die Genauigkeit der Messung zu erhöhen ist es jedoch vorteilhaft, die aktuelle Temperatur der LED-Chips direkt zu messen. Die Temperatur kann für jeden LED-Chip einzeln gemessen und anschließend gemittelt werden. Eine Funktion der Temperatur ist u. a. die an dem LED-Chip abfallende Vorwärtsspannung. Vorzugsweise wird daher zur Ermittlung der aktuellen Temperatur die Vorwärtsspannung zumindest einer der LED-Chips des LED-Moduls gemessen. Wird der Vorwärtsspannung bei der Kalibrierung des Moduls die Kalibriertemperatur zugeordnet, so kann die Temperatur des LED-Chips über Messung der Vorwärtsspannung über das bekannte Verhalten  $dV(dT)$  der LED-Chips bestimmt werden.

**[0027]** Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur Regelung der Farbmischung innerhalb eines LED-Moduls, bei dem PWM-Werte mit einem zuvor beschriebenen Verfahren ermittelt und einer Ansteuerungseinheit zugeführt werden, wobei die Ansteuerungseinheit Teil eines Kontrollkreises zur Regelung der Helligkeit der LED-Chips ist. Die Messung der aktuellen Temperatur und gegebenenfalls des aktuellen Stroms des LED-Moduls erfolgt wiederholt, wobei bei einer Änderung der aktuellen Temperatur der Verfahrensschritt der Zuordnung und der Verfahrensschritt der Interpolation zur Ermittlung neuer PWM-Werten wiederholt werden. Der mittlere Strom durch die LED-Chips wird entsprechend den neuen berechneten PWM-Werten geändert. Die Verfahrensschritte zur Ermittlung der PWM-Stützwerte müssen nur einmalig durchgeführt werden. Die PWM-Stützwerte werden dann in einem Speicher des LED-Moduls (EEPROM) abgelegt, auf den nach jeder Temperaturmessung zugegriffen wird.

**[0028]** Vorzugsweise erfolgt die Messung der aktuellen temperatur- gegebenenfalls stromabhängigen Größe des LED-Moduls kontinuierlich. Somit kann bei einer Temperaturänderung sofort eine Neuberechnung der PWM-Werte erfolgen.

**[0029]** Wenn die Wellenlängenkombination sich nahe an einer PWM-Stützstelle befindet, besteht die Gefahr, dass schon bei kleinen Temperaturänderungen eine Zuordnung zu anderen PWM-Stützstellen erfolgt. Daher kann es schon bei kleinen Temperaturschwankungen bzw. kleinen Wellenlängenschwankungen passieren, dass innerhalb von kurzer Zeit viele neue Zuordnungen und entsprechende Änderungen der PWM-Werte erfolgen, was ein störendes Flackern zur Folge hat. Um dies zu vermeiden kann eine Temperatur- bzw. Wellenlängenhysterese vorgesehen sein, sodass erst Temperatur- bzw. Wellenlängenänderungen, die einen bestimmten Minimalwert überschreiten zu einer Zuweisung von neuen PWM-Stützstelle führt. Es ist daher besonders bevorzugt, dass eine Änderung der zugeordneten PWM-Stützstellen nur dann erfolgt, wenn sich die aktuelle Temperatur oder die aktuelle Wellenlängen um einen Mindestwert ändert.

**[0030]** Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der Zeichnung. Ebenso können die vorstehend genannten und die weiter aufgeführten Merkmale je für sich oder zu mehreren in beliebigen Kombinationen Verwendung finden. Die gezeigten und beschriebenen Ausführungsformen sind nicht als abschließende Aufzählung zu verstehen, sondern haben vielmehr beispielhaften Charakter für die Schilderung der Erfindung.

#### Zeichnung und detaillierte Beschreibung der Erfindung

**[0031]** Es zeigen:

**[0032]** [Fig. 1](#) ein allgemeines Verlaufsschema des erfindungsgemäßen Verfahrens;

**[0033]** [Fig. 2](#) ein Verlaufsschema einer ersten Variante mit PWM-Stützstellen für ausgewählte Wellenlängenkombinationen;

**[0034]** [Fig. 3](#) eine schematische Darstellung von jeweils drei festgelegten Wellenlängen für drei Farbbereiche zur Ermittlung der PWM-Stützstellen sowie die Lage der aktuellen Wellenlängen;

**[0035]** [Fig. 4](#) ein Verlaufsschema einer dritten Variante mit modulspezifischen PWM-Stützstellen für Wellenlängenkombinationen;

**[0036]** Fig. 5 ein Verlaufsschema einer vierten Variante mit modulspezifischen PWM-Stützstellen für Normfarbwertanteilkombinationen; und

**[0037]** Fig. 6 ein CIE-Diagramm mit eingezeichneter Farbsättigung der LEDs eines LED-Moduls.

**[0038]** Fig. 1 zeigt ein Verlaufsschema des erfindungsgemäßen Verfahrens. Bei einer Kalibrationsmessung mit vorgegebenem Kalibrierstrom  $I_{cal}$  und vorgegebener Kalibriertemperatur  $T_{cal}$  werden die LED-Chips exakt vermessen, und die Daten im EEPROM des LED-Moduls gespeichert. Die Temperatur- und Stromabhängigkeiten der photometrischen Eigenschaften der LED-Chips sind bekannt.

**[0039]** Die erfindungsgemäße Ermittlung der PWM-Werte erfolgt vorzugsweise getrennt nach Farbe (Wellenlängen) und Helligkeiten der LED-Chips. Beide Parameter sind von Temperatur und Strom abhängig. Komplex ist die Temperatur- und Stromabhängigkeit der jeweiligen Mischfarben, die zunächst für normierte Helligkeiten der LED-Chips berechnet werden. Ändert sich die Wellenlänge oder Helligkeit nur eines LED-Chips, so muss die Ansteuerung aller drei LED-Chips korrigiert werden.

**[0040]** Erfindungsgemäß werden PWM-Stützstellen berechnet. D. h. es werden PWM-Werte für ausgewählte Werte (Stützwerte) eines zuvor bestimmten Parameters berechnet. Als Parameter kommen nur Größen in Frage, die Rückschlüsse auf die Temperatur (und ggf. den Strom) der LED-Chips geben (z. B. die Wellenlänge des von den LED-Chips emittierten Lichts, Vorwärtsspannung oder die Temperatur bzw. der Strom selbst). Jede PWM-Stützstelle umfasst für jeden LED-Chip einen PWM-Wert zur Erreichung einer Zielfarbe. Vorzugsweise umfasst eine PWM-Stützstelle jedoch PWM-Werte für mehrere Zielfarben.

	Rot (625 nm)	Grün (528,5 nm)	Blau (470 nm)
Zielfarbe 1	1,000	0,6	0,5
Zielfarbe 2	0,2	1,000	0,7
Zielfarbe 3	0,1	0,4	1,000
Zielfarbe 4	0,2	1,000	0,032
Zielfarbe 5	1,000	0,6	0,02
Zielfarbe 6	1,000	0,1	0,01
Zielfarbe 7	1,000	0,3	0,5

Tab. 1

**[0041]** Tab. 1 zeigt eine solche PWM-Stützstelle. Für jede Zielfarbe und jeden Farbbereich beinhaltet die PWM-Stützstelle einen PWM-Wert.

**[0042]** Im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens wird eine temperaturabhängige aktuelle Größe (Ist-Wert), vorzugsweise die aktuelle Temperatur  $T_a$  (= Ist-Temperatur) gemessen. Diesem Ist-Wert werden zwei der zuvor bestimmten PWM-Stützwerte zugeordnet. Bei Berücksichtigung der Stromabhängigkeit wird zusätzlich der aktuelle Strom  $I_a$  durch die LED-Chips bzw. der Istwert einer stromabhängigen Größe gemessen. Die Zuordnung der PWM-Stützstellen erfolgt dann zu dem Strom/Temperatur-Paar ( $I_a/T_a$ ).

**[0043]** Die Ermittlung der PWM-Stützwerte und die Zuordnung der PWM-Stützstellen werden unten anhand von verschiedenen Varianten näher erläutert. Dabei wird beispielhaft die aktuelle Temperatur als temperaturabhängige Größe verwendet.

**[0044]** Nach der Zuordnung zweier PWM-Stützstellen werden die PWM-Werte, die bei der aktuellen Temperatur notwendig sind, um die Zielfarbe zu erzeugen, durch Interpolation ermittelt.

**[0045]** Die durch Interpolation ermittelten PWM-Werte ( $PWM_{int}$ ) können abschließend entsprechend der tatsächlichen Helligkeit für jeden LED-Chip gewichtet werden, bspw. gemäß  $PWM = PWM_{int} \Phi_{norm}/\Phi_{ist}$ , wobei  $PWM_{int}$  die aus der Interpolation erhaltenen PWM-Werte sind,  $\Phi_{norm}$  die genormte Helligkeit, und  $\Phi_{ist}$  die wirkliche Helligkeit ist.

**[0046]** Je nach geforderter Genauigkeit der Farbmischung muss die Anzahl  $m$  an PWM-Stützstellen festgelegt werden. Bei Verwendung der Temperatur als temperaturabhängige Größe zur Ermittlung der PWM-Stützstellen

len, genügen bereits zwei PWM-Stützstellen, vorzugsweise werden jedoch drei bis fünf PWM-Stützstellen verwendet. Bei Verwendung von Wellenlängen als temperaturabhängige Größe zur Ermittlung der PWM-Stützstellen sind Wellenlängenkombinationen mit je mindestens 2 Wellenlängenwerte für jeden Farbbereich zu verwenden. Bei Verwendung aller hierbei möglichen Kombinationen ergeben sich also mindestens  $2^n$  PWM-Stützstellen. Vorzugsweise werden jedoch  $3^n$  bis  $5^n$  PWM-Stützstellen verwendet. Die Anzahl der für die Stützstellen verwendeten Wellenlängen können für die unterschiedlichen Farbbereiche unterschiedlich sein, je nachdem in welchem Farbbereich eine genauere Berechnung erwünscht ist.

**[0047]** Die ermittelten PWM-Werte können einem Kontrollkreis zugeführt werden, der den mittleren Strom durch die LED-Chips des LED-Moduls, und somit die Helligkeiten der LED-Chips, welche für die Farbmischung verantwortlich sind, regelt.

**[0048]** Im Rahmen eines Verfahrens zur Regelung der Farbmischung innerhalb des LED-Moduls ist es ausreichend, die Kalibrierung und die Ermittlung der PWM-Stützstellen einmalig durchzuführen. Um Temperaturschwankungen berücksichtigen zu können, wird die aktuelle Temperatur der LED-Chips wiederholt, vorzugsweise kontinuierlich gemessen. Ebenso erfolgt die Zuordnung von PWM-Stützstellen zu der aktuellen Temperatur wiederholt, zumindest wenn eine Mindesttemperaturänderung stattgefunden hat.

**[0049]** Das erfindungsgemäße Verfahren kann auch ohne Berücksichtigung der Stromabhängigkeit und ohne Helligkeitskorrektur durchgeführt werden. Die im Folgenden beschriebenen Varianten beziehen sich lediglich auf eine Farbkorrektur unter Berücksichtigung der Temperaturabhängigkeit. Sämtliche Varianten können jedoch mit einer Helligkeitskorrektur kombiniert werden, wobei sowohl für die Helligkeit- als auch für die Farbkorrektur die Stromabhängigkeit berücksichtigt werden kann. Zur Optimierung des Verfahrens wird dies auch angeraten.

**[0050]** Bei der in [Fig. 2](#) gezeigten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens ( $n = 3$ ) arbeitet das Modul mit Wellenlängen-Stützstellen, d. h. die Wellenlängen des von den LED-Chips emittierten Lichts dienen als Parameter für die Ermittlung der PWM-Stützstellen. Es werden für jeden Farbbereich Wellenlängen festgelegt, die über den gesamten relevanten Farbbereich des jeweiligen LED-Chips, der aus dem Datenblatt entnehmbar ist, verteilt sind. Hierbei wird auch die zu erwartende Temperaturdrift berücksichtigt. Die Festlegung der Wellenlängen  $\lambda_{s1}$ ,  $\lambda_{s2}$ ,  $\lambda_{s3}$  erfolgt unabhängig von den LED-Chips im LED-Modul mit der Ausnahme, dass der Farbbereich 1, 2, 3 (i. a. rot, grün, blau) der einzelnen LED-Chips berücksichtigt wird. Die Anzahl der festgelegten Wellenlängen kann für jeden Farbbereich unterschiedlich sein. Für jede PWM-Stützstelle wird jeweils eine Wellenlänge  $\lambda_{s1}$ ,  $\lambda_{s2}$ ,  $\lambda_{s3}$  pro LED-Chip im entsprechenden Farbbereich 1, 2, 3 festgelegt (festgelegte Wellenlängenkombinationen  $(\lambda_{s1}, \lambda_{s2}, \lambda_{s3})_m$ ). Vorzugsweise werden alle Wellenlängen eines Farbbereichs mit denen der anderen Farbbereiche kombiniert. Anschließend werden die PWM-Werte berechnet, die notwendig sind, um mit den festgelegten Wellenlängenkombinationen  $(\lambda_{s1}, \lambda_{s2}, \lambda_{s3})_m$  die Zielfarbe zu erreichen.

**[0051]** Durch Messung der aktuellen Temperatur  $T_a$  können die aktuellen Wellenlängen  $\lambda_{a1}$ ,  $\lambda_{a2}$ ,  $\lambda_{a3}$  des LED-Moduls berechnet werden. Bei den aktuellen Wellenlängen  $\lambda_{a1}$ ,  $\lambda_{a2}$ ,  $\lambda_{a3}$  handelt es sich um die dominanten Wellenlängen der LED-Chips, es wird also eine Farbsättigung angenommen. Die  $n$  aktuellen Wellenlängen  $\lambda_{a1}$ ,  $\lambda_{a2}$ ,  $\lambda_{a3}$  bilden eine aktuelle Wellenlängenkombination  $(\lambda_{a1}, \lambda_{a2}, \lambda_{a3})$ . Diese aktuelle Wellenlängenkombination  $(\lambda_{a1}, \lambda_{a2}, \lambda_{a3})$  wird mit den festgelegten Wellenlängenkombinationen  $(\lambda_{s1}, \lambda_{s2}, \lambda_{s3})_m$  der PWM-Stützstellen verglichen. Die beiden PWM-Stützstellen, deren Wellenlängenkombinationen  $(\lambda_{s1}, \lambda_{s2}, \lambda_{s3})_m$  der aktuellen Wellenlängenkombination am nächsten kommen, werden der aktuellen Wellenlängenkombination  $(\lambda_{a1}, \lambda_{a2}, \lambda_{a3})$  und somit auch (indirekt) der aktuellen Temperatur  $T_a$  zugeordnet.

**[0052]** [Fig. 3](#) zeigt für jeden Farbbereich R, G, B drei festgelegte Wellenlängen R1, R2, R3, G1, G2, G3, B1, B2, B3. Die ermittelten aktuellen Wellenlängen  $\lambda_{a1}$ ,  $\lambda_{a2}$ ,  $\lambda_{a3}$  sind als Punkte eingezeichnet. Es wird im vorliegenden Beispiel davon ausgegangen, dass jede Kombination der festgelegten Wellenlängen als Stützstelle vorliegt (also insgesamt 27 PWM-Stützstellen). Aufgrund von Datenblattangaben oder spezieller Sortierungen von LED-Farbkombinationen können PWM-Stützstellen für Wellenlängenkombinationen, die nicht benötigt werden, weggelassen werden. Um eine sinnvolle Interpolation durchführen zu können, sollte die aktuelle Wellenlänge  $\lambda_{a1}$ ,  $\lambda_{a2}$ ,  $\lambda_{a3}$  jedes Farbbereichs zwischen den Wellenlängen der zugeordneten Stützstellen desselben Farbbereichs liegen. Das beste Interpolationsergebnis wird erzielt, wenn als erste PWM-Stützstelle diejenige Wellenlängenkombination zugeordnet wird, deren Wellenlängen jeweils den kürzesten Abstand zu den aktuellen Wellenlängen aufweist, im vorliegenden Fall ist dies die Kombination R3-G2-B2. Als zweite zuzuordnende PWM-Stützstelle, wird diejenige Wellenlängenkombination zugeordnet, deren Wellenlängen jeweils den zweitkürzesten Abstand zu den aktuellen Wellenlängen aufweist, im vorliegenden Fall ist dies die Kombination R2-G1-B3. Für den Fall, dass nicht alle Kombinationen der festgelegten Wellenlängen als PWM-Stützstellen

vorliegen, kann es vorkommen, dass der minimale Abstand der aktuellen Wellenlänge eines Farbbereichs bei einer anderen PWM-Stützstelle vorliegt, als der minimale Abstand der aktuellen Wellenlänge eines anderen Farbbereichs. In diesen Fall kann die Entscheidung, welche PWM-Stützstelle zugeordnet werden soll, über die minimale Summe der Abstände aller Wellenlängen einer Stützstelle zu den aktuellen Wellenlängen erfolgen. Liegt eine Wellenlänge nicht zwischen zwei festgelegten Wellenlängen, also außerhalb des Interpolationsbereichs, wird die nächstliegende festgelegte Wellenlänge für die Bildung beider Wellenlängenkombinationen verwendet.

**[0053]** In Abhängigkeit der Abstände der aktuellen Wellenlängen  $\lambda_{a1}$ ,  $\lambda_{a2}$ ,  $\lambda_{a3}$  von den Wellenlängen  $\lambda_{s1}$ ,  $\lambda_{s2}$ ,  $\lambda_{s3}$  der zugeordneten PWM-Stützstellen wird für jeden LED-Chip ein Interpolationswert berechnet.

**[0054]** Wenn die Kalibrationsmessung vor der Ermittlung der PWM-Stützwerte durchgeführt wird, besteht auch die Möglichkeit, die Ergebnisse der Kalibrationsmessung in die Ermittlung der PWM-Stützwerte einzubeziehen. Auf diese Weise können modulspezifische PWM-Stützwerte erhalten werden. Dies ist besonders vorteilhaft, da die genauen Berechnungen im Rahmen des Zuordnungs-Schrittes der zuvor beschriebenen Varianten vom LED-Modul eine hohe Rechenleistung erfordern. Diese ist entsprechend teuer. Um mit geringer Rechenleistung exakte Farbwerte mischen zu können, wird in den folgenden Varianten beim Kalibrieren des Moduls ein Großteil der Rechnungen vom Kalibriergerät übernommen.

**[0055]** **Fig. 4** zeigt eine solche Variante, bei der die bei Kalibrationstemperatur  $T_{cal}$  ermittelten dominanten Wellenlängen  $\lambda_{cal1}$ ,  $\lambda_{cal2}$ ,  $\lambda_{cal3}$  bereits für die Berechnung der Wellenlängenkombinationen für die PWM-Stützstellen verwendet werden. Dazu werden zunächst  $m$  Temperaturen  $(T_s)_m$  ausgewählt, und für diese Temperaturen  $(T_s)_m$  (ausgehend von den bei der Kalibrationstemperatur  $T_{cal}$  ermittelten dominanten Wellenlängen  $\lambda_{dom1}(T_{cal})$ ,  $\lambda_{dom2}(T_{cal})$ ,  $\lambda_{dom3}(T_{cal})$ ) die entsprechenden Wellenlängenkombinationen  $(\lambda_{dom1}, \lambda_{dom2}, \lambda_{dom3})_m$  berechnet, gemäß  $\lambda_{dom}(T_s) = \lambda_{dom}(T_{cal}) + (T_s - T_{cal}) C_{\lambda_{dom}}$ . Die somit berechneten Wellenlängenkombinationen  $(\lambda_{dom1}, \lambda_{dom2}, \lambda_{dom3})_m$  entsprechen den realen Wellenlängenkombinationen bei den entsprechenden Temperaturen  $(T_s)_m$ . Es handelt sich daher um modulspezifische PWM-Stützstellen. Die Zuordnung der PWM-Stützstellen zu der aktuellen Temperatur  $T_a$  kann daher (muss aber nicht) direkt (also ohne Berechnung der aktuellen Wellenlängen) erfolgen. Es können lediglich die ausgewählten Temperaturen  $(T_s)_m$  mit der aktuellen Temperatur  $T_a$  verglichen werden. Die beiden PWM-Stützstellen deren Temperaturen der aktuellen Temperatur  $T_a$  am nächsten kommen, werden der aktuellen Temperatur  $T_a$  zugeordnet und für die Interpolation zur Bestimmung der PWM-Werte für die aktuelle Temperatur  $T_a$  verwendet.

**[0056]** Bei Verwendung von modulspezifischen PWM-Stützstellen zu der aktuellen Temperatur  $T_a$  kann im Gegensatz zur Verwendung von unspezifischen PWM-Stützstellen auch bei geringer Prozessorleistung mit modulspezifischen Farbwertanteilen  $x$ ,  $y$  gearbeitet werden. Hierdurch kann die exakte Farbsättigung in der Berechnung berücksichtigt werden. Die Verwendung von Farbwertanteilen anstatt dominanter Wellenlängen, ist insofern vorteilhaft, da bei Verwendung von dominanten Wellenlängen eine Farbsättigung angenommen werden muss, die von der Realität abweichen kann. Insbesondere bei LED-Chips im grünen Spektralbereich können die Unterschiede der Farbsättigungen groß sein. **Fig. 6** zeigt, dass der tatsächliche Farbort (unausgefüllter Kreis in **Fig. 6**) des emittierten Lichts deutlich vom Spektralfarbenzug entfernt liegt. Dieser Abstand stellt die Sättigung dar. Die Sättigung kann eine große Streuung zwischen zwei LED-Chips der gleichen Sorte aufweisen. Der ausgefüllte Kreis in **Fig. 6** kennzeichnet die Lage der dominanten Wellenlänge auf dem Spektralfarbenzug.

**[0057]** Eine entsprechende Variante ist in **Fig. 5** gezeigt. Hier werden Normfarbwertanteile  $(x, y)_{cal1}$ ,  $(x, y)_{cal2}$ ,  $(x, y)_{cal3}$  bei der Kalibrationstemperatur  $T_{cal}$  gemessen. Für die ausgewählten Temperaturen  $(T_s)_m$  werden entsprechend modulspezifische Normfarbwertanteile  $((x, y)_{s1}, (x, y)_{s2}, (x, y)_{s3})_m$  berechnet. Ansonsten verläuft das Verfahren analog zu der in **Fig. 4** gezeigten Variante. Die Berechnung der modulspezifischen Normfarbwertanteile  $((x, y)_{s1}, (x, y)_{s2}, (x, y)_{s3})_m$  erfolgt über Ermittlung der dominanten Wellenlänge bei Kalibrationstemperatur (ausgefüllter Punkt in **Fig. 6**): mit Hilfe der bekannten Temperaturabhängigkeit der dominanten Wellenlänge kann die dominante Wellenlänge (ausgefülltes Oval in **Fig. 6**) bei den ausgewählten Temperaturen berechnet und aus dieser (unter der Annahme einer Sättigung, z. B. unveränderten Sättigung) im Farbdigramm die entsprechenden Farbwertanteile (unausgefülltes Oval in **Fig. 6**) ermittelt werden.

**[0058]** Bei den **Fig. 4** und **Fig. 5** gezeigten Varianten mit modulspezifischen PWM-Stützwerten ist es, im Gegensatz zu der in **Fig. 2** gezeigten Variante, notwendig, dass die Kalibrationsmessung vor Ermittlung der PWM-Stützstellen durchgeführt wird.



**[0059]** Bei dem in der Anmeldung vorgestellten erfindungsgemäßen Verfahren werden für ausgewählte Zustände des LED-Moduls (bestimmte Wellenlängenkombination innerhalb des LED-Moduls, Temperatur des LED-Moduls, an den LED-Chips abfallende Vorwärtsspannung, Stromfluss durch die LED-Chips) PWM-Kombinationen (PWM-Stützstellen) zur Erzeugung einer gewünschten Zielfarbe berechnet. Der IST-Zustand (aktuelle Wellenlängenkombination, aktuelle Vorwärtsspannung, aktuelle Temperatur, aktueller Strom) des LED-Moduls wird durch Messung einer aktuellen temperatur- und ggf. stromabhängigen Größe ermittelt und mit den ausgewählten Zuständen der PWM-Stützstellen verglichen. Zwischen den PWM-Stützstellen, deren Zustände am nächsten an den IST-Zustand herankommen, wird eine Interpolation durchgeführt, mit welcher PWM-Werte für den IST-Zustand des LED-Moduls berechnet werden. Auf diese Weise ist es einerseits möglich, ein LED-Modul so zu betreiben, dass trotz Temperatur- und Stromschwankungen stets Licht einer gewünschten Zielfarbe mit hoher Genauigkeit emittiert wird, andererseits kann durch Wahl einer überschaubaren Menge an zu berechnenden PWM-Stützstellen der Rechenaufwand klein gehalten werden.

**[0060]** Das erfindungsgemäße Verfahren kann insbesondere für die Entwicklung von Ambientebeleuchtung für Fahr-/Flugzeuge eingesetzt werden.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung von PWM-Werten für ein LED-Modul mit  $n$  LED-Chips aus verschiedenen Farbbereichen, wobei  $n > 1$ , wobei für jeden LED-Chip ein PWM-Wert zur Erzeugung eines Zielfarbwerts ermittelt wird,

**dadurch gekennzeichnet,**

dass eine Kalibrationsmessung durchgeführt wird, in der die Wellenlängen ( $\lambda_{cal1}, \lambda_{cal2}, \lambda_{cal3}$ ) und/oder die Normfarbwertanteile  $((x, y)_{cal1}, (x, y)_{cal2}, (x, y)_{cal3})$  der einzelnen LED-Chips bei einer Kalibrationstemperatur ( $T_{cal}$ ) bestimmt werden,

dass PWM-Stützstellen ermittelt werden, wobei jede PWM-Stützstelle je einen PWM-Wert für jeden der  $n$  Farbbereiche des LED-Moduls beinhaltet,

dass im Betrieb des LED-Moduls eine von der aktuellen Temperatur ( $T_a$ ) des LED-Moduls abhängige Größe, insbesondere die aktuelle Temperatur ( $T_a$ ) selbst, ermittelt wird, und dieser temperaturabhängigen Größe eine erste und eine zweite PWM-Stützstelle zugeordnet werden,

dass die PWM-Werte zur Erzeugung des Zielfarbwertes durch Interpolation zwischen den zugeordneten PWM-Stützstellen erhalten werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

dass die Ermittlung der PWM-Stützstellen durch Berechnung der PWM-Werte für jeweils eine vorgegebene Wellenlängenkombinationen  $((\lambda_{s1}, \lambda_{s2}, \lambda_{s3})_m)$  erfolgt, wobei jede vorgegebene Wellenlängenkombination  $((\lambda_{s1}, \lambda_{s2}, \lambda_{s3})_m)$  je eine Wellenlänge für jeden Farbbereich des LED-Moduls beinhaltet, und

dass als temperaturabhängige Größe eine aktuelle Wellenlängenkombination  $(\lambda_{a1}, \lambda_{a2}, \lambda_{a3})$ , die aktuellen Wellenlängen der LED-Chips bei der aktuellen Temperatur ( $T_a$ ) enthält, und diejenigen zwei PWM-Stützstellen zugeordnet werden, deren vorgegebene Wellenlängenkombination  $((\lambda_{s1}, \lambda_{s2}, \lambda_{s3})_m)$  der aktuelle Wellenlängenkombination  $(\lambda_{a1}, \lambda_{a2}, \lambda_{a3})$  am nächsten kommen.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die vorgegebene Wellenlängenkombinationen  $((\lambda_{s1}, \lambda_{s2}, \lambda_{s3})_m)$  für jeweils eine vorgegebene Temperatur  $(T_{s,m})$  die dominanten Wellenlängen der LED-Chips beinhalten.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet,

dass im Betrieb des LED-Moduls für jeden LED-Chip eine aktuelle Stromstärke ( $I_a$ ) ermittelt wird, und dass die Bestimmung der aktuellen Wellenlängen zusätzlich in Abhängigkeit der aktuellen Stromstärke ( $I_a$ ) der LED-Chips erfolgt.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

**dadurch gekennzeichnet,**

dass jede der Wellenlängen der ersten zugeordneten PWM-Stützstelle den kleinsten Abstand zu der aktuellen Wellenlänge  $(\lambda_{a1}, \lambda_{a2}, \lambda_{a3})$  desselben Farbbereichs aufweist, und

dass jede der Wellenlängen der zweiten zugeordneten PWM-Stützstelle den zweitkleinsten Abstand zu der aktuellen Wellenlänge  $(\lambda_{a1}, \lambda_{a2}, \lambda_{a3})$  desselben Farbbereichs aufweist.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

dass bei der Ermittlung der PWM-Stützstellen Temperaturen ( $(T_s)_m$ ) vorgegeben werden und für diese vorgegebenen Temperaturen ( $(T_s)_m$ ) modulspezifische PWM-Kombinationen ermittelt werden, dass als temperaturabhängige Größe die aktuelle Temperatur ( $T_a$ ), bestimmt wird, und diejenigen zwei PWM-Stützstellen zugeordnet werden, deren vorgegebene Temperaturen ( $(T_s)_m$ ) der aktuellen Temperatur ( $T_a$ ) am nächsten kommen.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in der Kalibrationsmessung zusätzlich die Helligkeit der LED-Chips bei der Kalibriertemperatur ( $T_{cal}$ ) gemessen wird, und dass die aktuellen Helligkeiten der LED-Chips bei der aktuellen Temperatur und gegebenenfalls bei der aktuellen Stromstärke ( $I_a$ ) berechnet werden, und die interpolierten PWM-Werte bzgl. dieser aktuellen Helligkeiten der LED-Chips gewichtet werden.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung der aktuellen Temperatur ( $T_a$ ) die Vorwärtsspannung zumindest einer der LED-Chips des LED-Moduls gemessen wird.

9. Verfahren zur Regelung der Farbmischung innerhalb eines LED-Moduls, dadurch gekennzeichnet, dass PWM-Werte mit einem Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche ermittelt und einer Ansteuerungseinheit zugeführt werden, wobei die Ansteuerungseinheit Teil eines Kontrollkreises zur Regelung der Helligkeit der LED-Chips ist, und dass die Messung der aktuellen Temperatur ( $T_a$ ) und gegebenenfalls des aktuellen Stroms ( $I_a$ ) des LED-Moduls wiederholt erfolgt, und bei einer Änderung der aktuellen Temperatur ( $T_a$ ) die Verfahrensschritte der Zuordnung und ggf. Interpolation zur Ermittlung neuer PWM-Werte wiederholt werden.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Ermittlung der temperaturabhängigen und gegebenenfalls stromabhängigen Größe des LED-Moduls kontinuierlich erfolgt.

11. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass eine Änderung der zugeordneten PWM-Stützstellen nur dann erfolgt, wenn sich die aktuelle Temperatur ( $T_a$ ) oder die aktuellen Wellenlängen ( $\lambda_{a1}$ ,  $\lambda_{a2}$ ,  $\lambda_{a3}$ ) um einen Mindestwert ändert.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

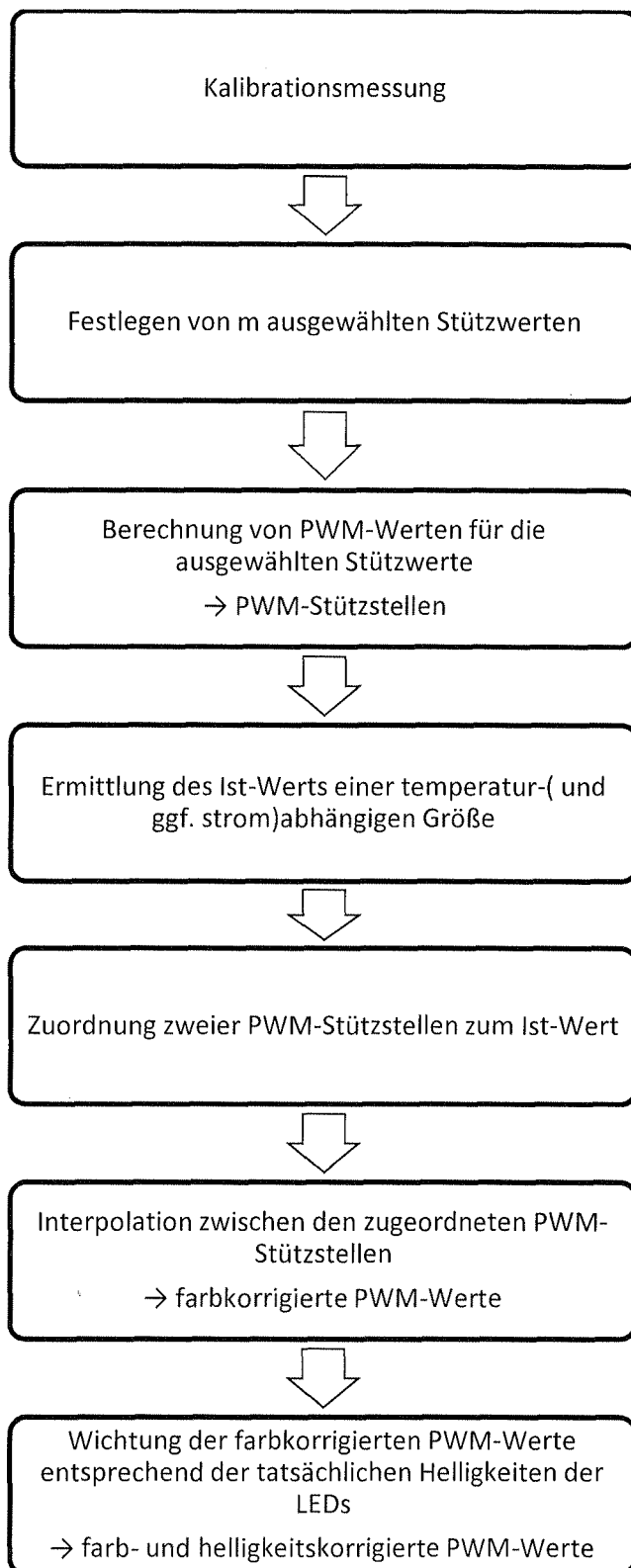


Fig. 1

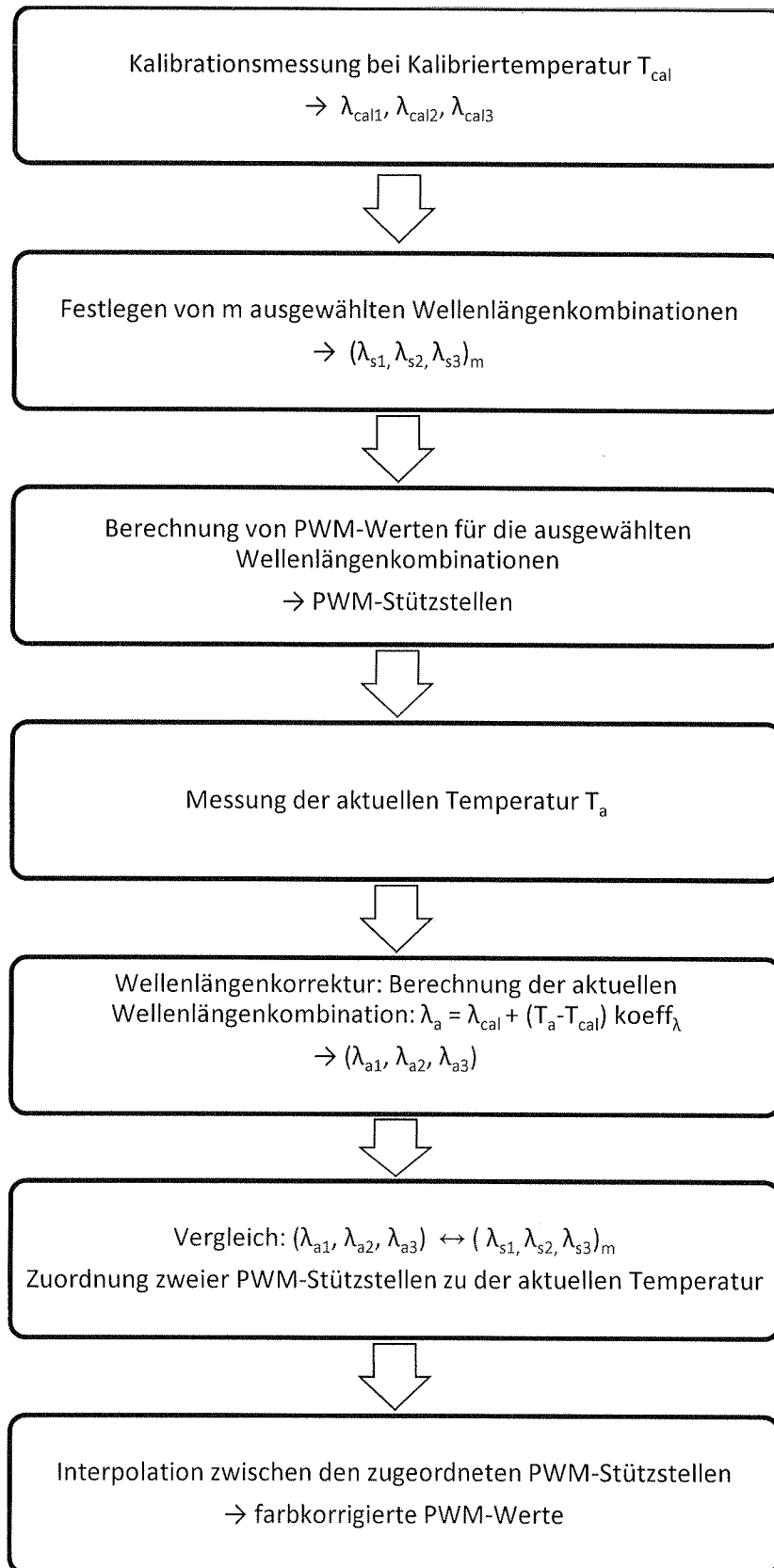


Fig. 2

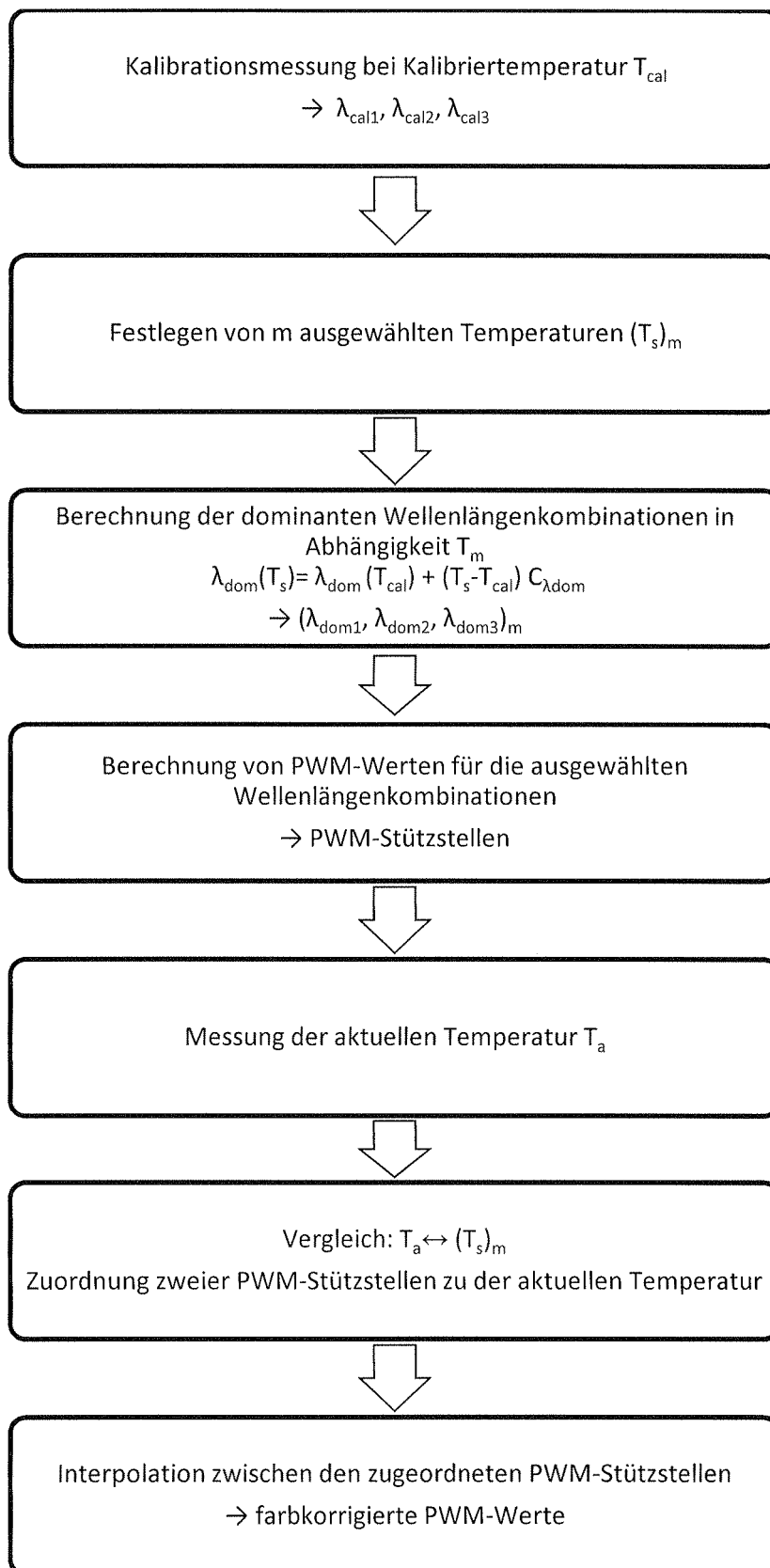


Fig. 4

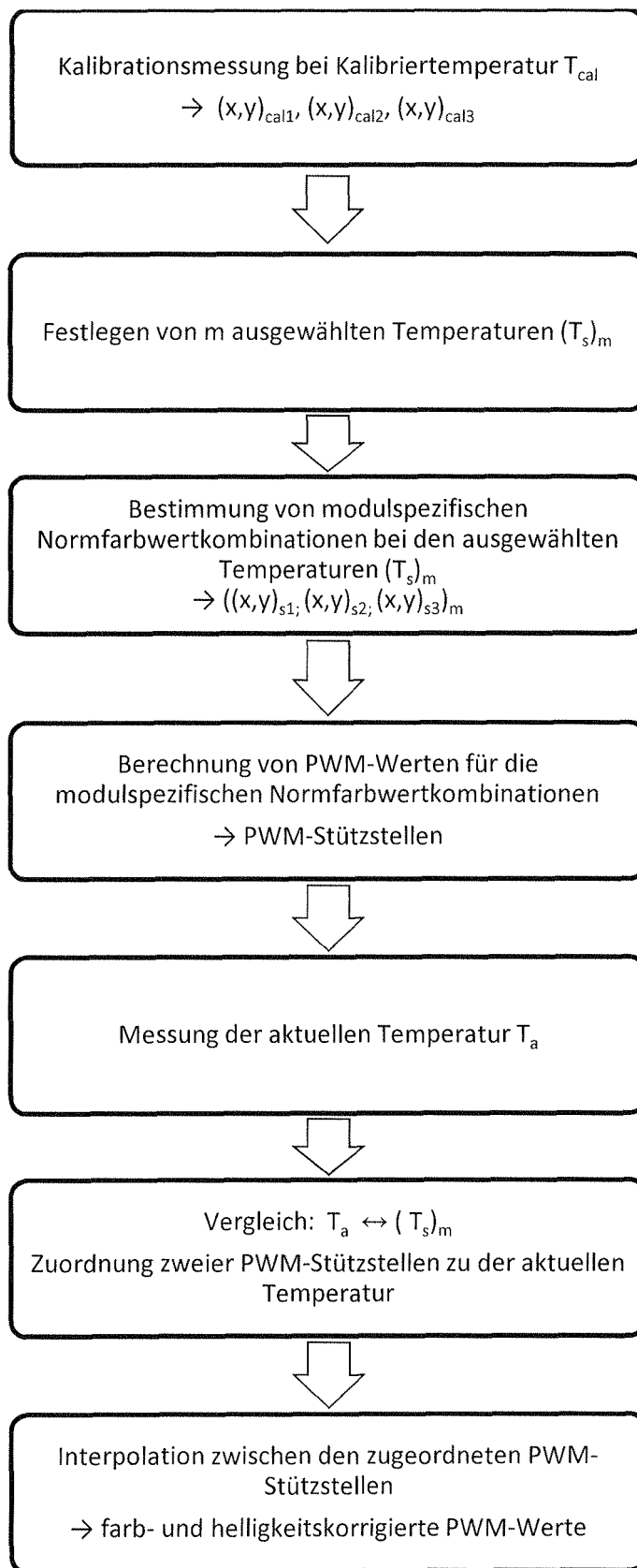


Fig. 5

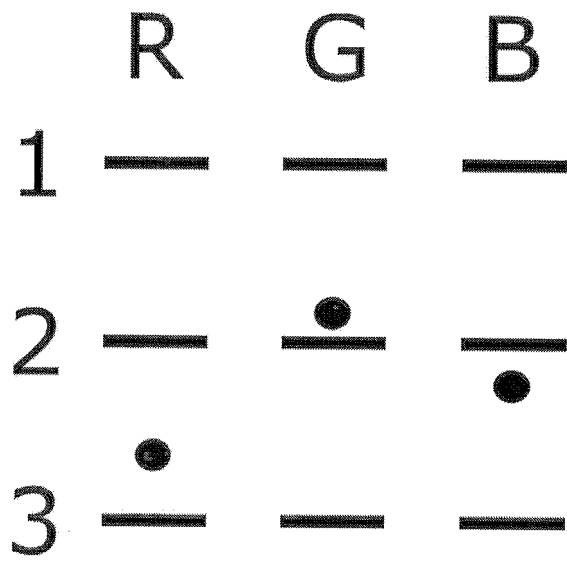


Fig. 3

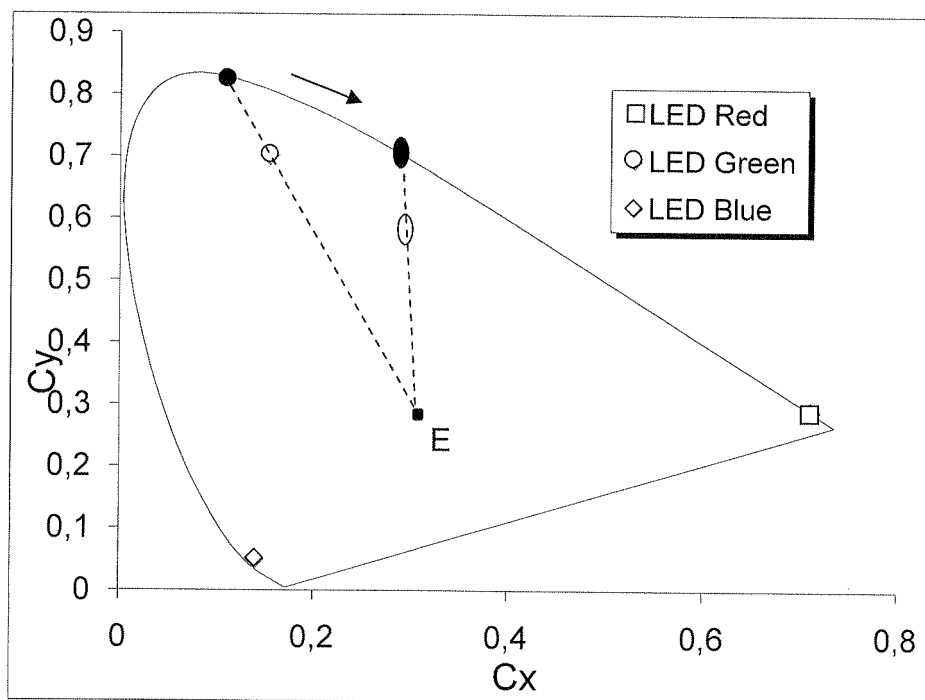


Fig. 6