

(22) Anmeldetag: 10.03.2017

(74) Vertreter: **Lippert Stachow Patentanwälte
Rechtsanwälte
Partnerschaft mbB
Postfach 30 02 08
51412 Bergisch Gladbach (DE)**

Printed by Jouve. 75001 PARIS (FR)

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Leuchtmittels, wobei eine Mehrzahl von Leuchtmittel-Betriebsvariablen wie Leuchtmittelstrom und/oder Leuchtmitteltemperatur abgespeichert wird und auf der Grundlage einer vorgegebenen, von mehreren Funktionsvariablen abhängigen Funktion für eine Degradationsrate mit einem Satz von Funktionskonstanten die jeweils vorhandene Degradation des Leuchtmittels berechnet wird, wobei der berechnete Degradationsgrad zur Steuerung des Betriebs des Leuchtmittels und/oder zur Ausführung einer Wartungsfunktion verwendet wird. Die Erfindung betrifft ferner ein Beleuchtungssystem zur Umsetzung eines solchen Verfahrens.

[0002] Ein gattungsbildendes Verfahren ist beispielsweise in der Offenlegungsschrift DE 198 18 621 A1 beschrieben, wobei das Leuchtmittel hier Leuchtdioden umfasst. Bislang ist jedoch kein Verfahren bekannt, welches insbesondere bei der Verwendung von Leuchtdioden als Leuchtmittel eine genaue Steuerung von dessen Betrieb über dessen Lebenszeit durch exakte Ermittlung der Degradation des Leuchtmittels ohne explizite Messung des Lichtstroms ermöglicht. Eine solche Messung des Lichtstroms ist bei herkömmlichen Beleuchtungssystemen bzw. Leuchten nur mit einem erheblichen Aufwand möglich. Eine Vorhersage der jeweiligen Degradation des Leuchtmittels und damit eine Vorhersage des Zeitpunktes des Ausfalls des Leuchtmittels bzw. ein Nachführen von Betriebsparametern in Abhängigkeit der aktuellen Degradation des Leuchtmittels, insbesondere von Leuchtdioden, ist mit den bekannten Verfahren nur sehr unzuverlässig realisierbar.

[0003] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Steuerung des Betriebs eines Leuchtmittels im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren zu verbessern, sodass beispielsweise eine genauere Anpassung der Betriebsparameter an den aktuellen Degradationsgrad eines Leuchtmittels durchgeführt werden kann.

[0004] Verfahrensseitig löst die Erfindung diese Aufgabe durch ein Verfahren mit den Merkmalen von Anspruch 1. Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass über die Gesamtbetriebszeit des Leuchtmittels bis zum Erreichen einer ersten Betriebsdauerzeit eine erste, von mehreren Funktionsvariablen und einem Satz von Funktionskonstanten abhängige erste Funktion für die Berechnung der Degradationsrate und nach Erreichen der ersten Betriebsdauerzeit eine zweite, von mehreren Funktionsvariablen und einem zweiten Satz von Funktionskonstanten abhängige zweite Funktion für die Berechnung der Degradationsrate herangezogen, d.h. für die Berechnung verwendet wird, indem die Funktionsvariablen und die Funktionskonstanten in die Funktion zur Berechnung des Funktionswertes eingesetzt werden. Dabei können die angegebene erste enBetriebsdauerzeit in gleicher Weise wie die Funktion, die von vorgegebenen Funktionsvariablen abhängt sowie die jeweiligen Funktionskonstanten für das jeweilige Leuchtmittel, insbesondere eine Leuchtdiodeneinrichtung, spezifisch festgelegt und ausgewählt werden.

[0005] Für die Definition der Degradation $D(t)$, d.h. des Degradationsgrades, kann der Bezug $D(t) = \Phi(t)/\Phi_0$ angesetzt werden, wobei $\Phi(t)$ den aktuellen Lichtstrom zum Betriebszeitpunkt t und Φ_0 den initialen Lichtstrom, d.h. den anfänglichen Lichtstrom zu Beginn des Betriebs der jeweiligen LED-Einrichtung angibt, wobei die Betriebsbedingungen, insbesondere ein eingestellter Dimmpegel identisch sind. Üblicherweise kann sich der Vergleich auf einen Dimmpegel von 100 % beziehen.

[0006] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass der Verlauf der Degradation von Leuchtmittel, insbesondere von Leuchtdioden, nur sehr ungenau vorhersagbar ist. Ferner liegen gerade bei der Verwendung von Leuchtdioden in der Regel zu Beginn ihrer Vermarktung nur rudimentäre bzw. keine vollständigen Informationen über das Degradationsverhalten vor. Dies betrifft insbesondere den Betrieb nach einem ersten Betriebszeitabschnitt und auch am Ende der Lebenszeit des Leuchtmittels. Dadurch, dass die gesamte Betriebsdauerzeit bis zum Austausch des Leuchtmittels erfindungsgemäß in zumindest zwei Zeitabschnitte aufgeteilt wird, in welchen unterschiedliche Berechnungsgrundlagen in Form von unterschiedlichen Funktionen zur Ermittlung der jeweiligen Degradationsrate und damit des jeweiligen Degradationsgrades herangezogen werden, kann eine bislang nicht erreichte Genauigkeit, insbesondere für Zeitabschnitte nach einigen tausend Betriebsstunden, erzielt werden. Anders ausgedrückt, die Gesamtfunktion zur Ermittlung der jeweiligen Degradationsrate über die gesamte Betriebsdauerzeit ist eine stückweise definierte Funktion, stückweise in Bezug auf die jeweiligen Betriebszeitabschnitte. Damit verbunden ist eine höhere Genauigkeit, um beispielsweise einerseits Vorhersagen über den aktuellen Degradationsgrad des Leuchtmittels treffen zu können und darüber hinaus um exakter Betriebsparameter nachzuführen, um die Degradation des Leuchtmittels auszugleichen, beispielsweise um einen konstanten Lichtstrom bei vorgegebenem Dimmpegel über die gesamte Betriebsdauer des Leuchtmittels beizubehalten.

[0007] Die jeweiligen Betriebsdauerzeiten, nach deren Ablauf die Berechnungsfunktion geändert werden kann, können beispielsweise bei fünftausend Betriebsstunden und zehntausend Betriebsstunden liegen. Im Rahmen der Erfindung kann es auch möglich sein, die gesamte Betriebszeit noch weiter zu differenzieren und damit weitere Zeitabschnitte vorzusehen, in welchen jeweils eine weitere Funktion, abhängig von mehreren Funktionsvariablen und einem weiteren Satz von Funktionskonstanten zur Berechnung der Degradationsrate bzw. des Degradationsgrades herangezogen wird.

[0008] Weitere zweckmäßige Weiterbildungen bzw. erfindungsgemäße Merkmale sind in der allgemeinen Beschreibung, der Figurenbeschreibung sowie in den Figuren angegeben.

[0009] Bei bestimmten Leuchtmitteln, insbesondere LED-Einrichtungen, kann es zur weiteren Erhöhung der Genau-

igkeit bei der Ermittlung der Degradationsrate bzw. des Degradationsgrades zweckmäßig sein, nach Erreichung einer zweiten, zur ersten längeren Betriebsdauerzeit eine dritte, von mehreren Funktionsvariablen und einem dritten Satz von Funktionskonstanten abhängige Funktion für die Berechnung der Degradationsrate heranzuziehen. Je nach Ausführungsform kann die Gesamtbetriebszeit des jeweiligen Leuchtmittels durch Festlegung weiterer Betriebsdauerzeiten in weitere Zeitintervalle und damit Berechnungsintervalle aufgeteilt sein, wobei in jeder dieser Zeitintervallen jeweils eine, von mehreren Funktionsvariablen und einem jeweiligen Satz von Funktionskonstanten abhängige Funktion für die Berechnung der Degradationsrate herangezogen wird.

[0010] Zweckmäßigerweise kann vorgesehen sein, die Berechnung der Degradationsrate bis zum Erreichen eines vorgegebenen Degradationsschwellwerts durchzuführen, wobei das Erreichen dieses Schwellwertes eine Wartungsfunktion auslösen kann, beispielsweise eine Signalisierung zum Austauschen des Leuchtmittels. Beispielsweise kann festgelegt sein, dass das Leuchtmittel, insbesondere eine Leuchtdiodeneinrichtung, bei Erreichen eines Degradationsgrades von 80% ausgetauscht wird, was damit dem besagten Degradationsschwellwert entspricht.

[0011] Es hat sich als zweckmäßig herausgestellt die Funktionen für die Berechnung der Degradationsrate identisch anzunehmen, wobei jedoch die jeweiligen Sätze von Funktionskonstanten unterschiedlich sein können.

[0012] Es kann vorgesehen sein, dass zumindest einige der jeweiligen Sätze von Funktionskonstanten, welche im späteren Verlauf des Betriebs des jeweiligen Leuchtmittels zur Berechnung der Degradationsrate bzw. der Degradation herangezogen werden, erst nach Beginn des Betriebs des Leuchtmittels festgelegt bzw. aktualisiert werden.

[0013] Als Ansatz für die Funktion zur Berechnung der Degradationsrate α in Abhängigkeit von mehreren Funktionsvariablen, d.h. Funktionsargumente und eines jeweiligen Satzes von Funktionskonstanten ist eine Vielzahl von Funktionen denkbar.

[0014] Beispielsweise hat sich ein bilinearer Ansatz für $\alpha(T_S, I)$ in Bezug auf die Funktionsargumente, d.h. die Funktionsvariablen T_S und I als zweckmäßig herausgestellt, wobei T_S eine dem Leuchtmittel zugehörige Temperatur wie die Solderpoint-Temperatur einer LED-Einrichtung und die Funktionsvariable I der Leuchtmittelstrom ist.

[0015] Für den erfindungsgemäßen Ansatz, zumindest zwei Funktionen α_1, α_2 bereitzustellen, hat sich in einer anderen Ausführungsform die Verwendung des Ansatzes

$$\alpha_i(T_S, I, t) = A_i \exp\left(\frac{-E_{a,i}}{T_S}\right) \exp(A_{I,i} I) \quad (\text{Gl. 1})$$

als besonders zweckmäßig herausgestellt, wobei die Funktionsvariable T_S wiederum eine dem Leuchtmittel zugehörige Temperatur, beispielsweise die Solderpoint-Temperatur einer LED-Einrichtung, die Funktionsvariable I der Leuchtmittelstrom und die Funktionsvariable t die Zeit ist. Darüber hinaus umfasst die funktionale Darstellung der Degradationsrate α der für die Berechnung grundsätzlich als konstant angenommenen Funktionsparameter A_i als Vorfaktor, die Konstante $E_{a,i}$ als Aktivierungsenergie und die Konstante $A_{I,i}$ als ein Stromeinflussparameter, wobei i das jeweilige Zeitdauerintervall bezeichnet und im Falle von zwei Zeitdauerintervallen für die gesamte Betriebsdauerzeitdauer des Leuchtmittels bis zum Austausch von $i = 1 - 2$ läuft. Erkennbar wird dabei bezüglich des Einflusses des Leuchtmittelstroms auf die Degradationsrate ein exponentieller Ansatz angenommen, während für den Einfluss der dem Leuchtmittel zugeordneten Temperatur auf die Degradationsrate ein Boltzmannansatz herangezogen wird mit einer normierten Aktivierungsenergie $E_{a,i}$. Die so angesetzte Degradationsrate α ist zeitabhängig, da die Funktionsvariablen T_S und I zeitabhängig sind, d.h. zeitlich veränderbar sind.

[0016] Allgemein können die Funktionsvariablen, insbesondere die Funktionsvariablen T_S und I für die Berechnung der Degradationsrate und/oder des Degradationsgrades erfasst, insbesondere gemessen und/oder berechnet werden. Darüber hinaus ist es auch möglich, dass eine oder mehrere solcher Funktionsvariablen im Betrieb des Leuchtmittels als Sollwert vorgegeben werden, beispielsweise ein Leuchtmittelstrom oder Dimmpegs in Form eines Steuersignals.

[0017] Insbesondere in solchen Fällen, bei welchen das Leuchtmittel eine Leuchtdiodeneinrichtung ist, beispielsweise eine oder mehrere Leuchtdioden umfasst, kann es zweckmäßig sein, wenn die Funktionsvariable T_S als dem Leuchtmittel zugeordnete Temperatur direkt als Solderpoint-Temperatur an einem Lötspunkt der jeweiligen LED gemessen wird. In einer anderen Ausführungsform kann auch vorgesehen sein, eine Look-up-Tabelle in einem Speicherbereich vorzusehen, in welcher einer beispielsweise in einer Leuchte oder in einem Betriebsgerät erfassten, insbesondere gemessenen Temperatur eine am Lötspunkt herrschende Temperatur zugeordnet wird, sodass durch diese Kalibrierung und einer Messung der Temperatur an der Leuchte bzw. am Betriebsgerät auf die Lötspunkttemperatur T_S zurückgeschlossen werden kann.

[0018] In einer weiteren zweckmäßigen Ausführungsform kann auch vorgesehen sein, die Funktionsvariable T_S zu berechnen, insbesondere mit einem linearen oder nichtlinearen Ansatz, beispielsweise nach der Funktionsgleichung

$$T_s(T_{EVG_read}, I) = b_0 + b_T T_{EVG_read} + b_I I + b_{TI} T_{EVG_read} I, \quad (G1. 2)$$

wobei die Funktionsvariable T_{EVG_read} eine dem Betriebsgerät des Leuchtmittels bzw. der Leuchte zugeordnete und gemessene Temperatur oder eine Außentemperatur zur Leuchte, die Funktionsvariable I wiederum der Leuchtmittelstrom sowie die Konstanten b_0, b_T, b_I und b_{TI} jeweils thermische Funktionskonstanten bezeichnen. Die Verwendung einer innerhalb der Leuchte bzw. des Betriebsgerätes oder außerhalb dieser beiden ermittelten, insbesondere gemessenen Temperatur als Grundlage zur Bestimmung einer Leuchtmitteltemperatur weist den Vorteil auf, dass ein an anderer Stelle angebrachter Temperatursensor, beispielsweise zur Überwachung der Temperatur im Betriebsgerät oder der Außentemperatur zur Leuchte, gleichzeitig dazu verwendet werden kann, die gesuchte Größe T_s zur Bestimmung der Degradationsrate und damit der Degradation des Leuchtmittels zu ermitteln. Eine besonders genaue

[0019] Bestimmung dieser Größe T_s kann dadurch erreicht werden, dass eine entsprechende Kalibrierkurve für jede Leuchte ermittelt wird, da die Abhängigkeit der Leuchtmitteltemperatur von einer innerhalb der Leuchte erfassten Temperatur unter Umständen von der gesamten Gestaltung der Leuchte abhängen kann.

[0020] In einer weiteren Ausführungsform kann zweckmäßigerweise vorgesehen sein, die dem Leuchtmittel zugeordnete Temperatur T_s über einen vorgegebenen funktionalen Zusammenhang $T_s = \mathcal{F}(T_{EVG_read}, I, D)$ zu berechnen, wobei $\mathcal{F}$ die Funktion angibt, welche von den benannten Funktionsvariablen T_{EVG_read} , I , und der Degradation D abhängt. Durch diesen Ansatz kann ein Einfluss der Degradation selbst auf T_s mit berücksichtigt werden.

[0021] Ausgehend von der Differentialgleichung

$$\frac{d}{dt} D(t) = -\alpha(T_s, I, t) D(t) \quad (G1. 3)$$

kann zweckmäßigerweise zu jedem Zeitpunkt des Einsatzes eines Leuchtmittels in einem Betriebsgerät bzw. des Betriebes des jeweiligen Leuchtmittels durch zweitintervallweises Integrieren der Differentialgleichung nach einschlägigen Verfahren die Degradation berechnet werden. Die Integration kann beispielsweise über ein Taylor- oder Runge-Kutta-Verfahren durchgeführt werden. Besonders einfach kann die Berechnung mit einem Euler-Verfahren, angewendet auf die vorstehende Differentialgleichung durchgeführt werden:

$$D(t+dt) = D(t) \cdot (1 - \alpha \cdot dt). \quad (G1. 4)$$

[0022] Zweckmäßigerweise kann vorgesehen sein, dass im Betrieb des Leuchtmittels die Berechnung zur Aktualisierung der Werte $\alpha(T_s, I, t)$ und/oder $D(t)$ so lange unterbleibt, bis sich zumindest eine der Funktionsvariablen mit Ausnahme der Zeit, d.h. der Leuchtmittelstrom und/oder die Leuchtmitteltemperatur bzw. diesen Werten zugeordnete Werte wie eine Betriebsgerätemperatur oder ein Dimmlevel zum Betreiben des Leuchtmittels ändert, sodass der Berechnungsaufwand minimiert werden kann. Zweckmäßigerweise kann vorgesehen werden, dass eine Neuberechnung der Werte durchgeführt wird, wenn das Zeitintervall ausgehend vom Zeitpunkt der letzten Berechnung eine bestimmte Schwellendauer überschreitet. In einer anderen Ausführungsform kann auch vorgesehen sein, die Berechnung in äquidistanten Zeitabständen durchzuführen, insbesondere in vorbestimmten äquidistanten Zeitabständen.

[0023] Vorzugsweise kann vorgesehen sein, insbesondere zu Zeitpunkten, an welchen aktualisierte Werte für den Degradationsgrad und/oder die Degradationsrate bestimmt werden, die jeweiligen Istwerte der Betriebsparameter, d.h. die Werte der Funktionsvariablen zeitmarkiert, unter Umständen zusammen mit der Degradationsrate und/oder dem Degradationsgrad in einem Speicher auslesbar abzulegen. Vorzugsweise kann dabei vorgesehen sein, dass dieser Speicher über ein Netzwerk zugänglich ist, beispielsweise zugänglich für autorisierte Dritte zur Datenabrufung bzw. Abgleichs bezüglich des Verlaufs der Degradation in Abhängigkeit der Betriebsparameter, um beispielsweise eine Anpassung des Degradationsmodells für das jeweilige Leuchtmittel durchzuführen.

[0024] Um neuere Erkenntnisse bezüglich des Degradationsverhaltens des jeweiligen Leuchtmittels in den Betrieb von schon vorhandenen Beleuchtungssystemen einfließen zu lassen, kann erfindungsgemäß vorgesehen sein, dass Funktionskonstanten, beispielsweise die obenstehend erwähnte normierte Aktivierungsenergie, der Stromeinflussparameter, der angegebene Vorfaktor oder die thermischen Parameter für die Berechnung einer dem Leuchtmittel zugeordnete Temperatur in einen, insbesondere über ein Netzwerk zugänglichen, Speicher einschreibbar und auslesbar abgelegt sind. Durch diese Maßnahme kann zum einen bereitgestellt werden, dass in einem Beleuchtungssystem zentral die jeweiligen Daten abgelegt sind auf die für die Berechnung der Degradation bzw. Degradationsrate eines jeden Leuchtmittels zurückgegriffen werden. Darüber hinaus ergibt sich damit die Möglichkeit, beispielsweise für den Hersteller

von Beleuchtungskomponenten, nach der Inbetriebnahme eines Beleuchtungssystems für das jeweilige Leuchtmittel zwischenzeitlich verbesserte und für eine genauere Berechnung der Degradation verwendbare Funktionskonstanten für zukünftige Berechnungen bereitzustellen, sodass dann ab diesem Zeitpunkt eine genauere Ermittlung der Degradation bzw. der Degradationsrate des jeweiligen Leuchtmittels möglich ist. Darüber hinaus kann auch vorgesehen sein, zwischenzeitlich erfasste Ungenauigkeiten, die in der Vergangenheit durch eine Berechnung auf der Grundlage von ungenaueren Funktionskonstanten durchgeführt wurden, zu kompensieren, insbesondere unter Berücksichtigung der zentral abgelegten zeitmarkierten Betriebsparameter, sodass damit auch in der Vergangenheit aufgetretene Ungenauigkeiten in der Bestimmung der Degradationsrate bzw. des Degradationsgrades beseitigt werden können.

[0025] Es hat sich als zweckmäßig herausgestellt, die Degradationen von mehreren Leuchtmitteln, welche als Gruppe zusammen betrieben werden, zu ermitteln und damit eine Degradation für eine Leuchtmittelgruppe anzugeben. Hierdurch können insbesondere herstellungsseitige Variationen ausgeglichen werden. Eine derartige Vorgehensweise kann insbesondere dann zweckmäßig sein, wenn die Leuchtmittel der Gruppe mit den gleichen Betriebsvariablen wie Anschaltzeiten und dem Dimmpege betrieben werden.

[0026] Ein wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens kann darin bestehen, dass zu jedem Betriebszeitpunkt der aktuelle Degradationsgrad des jeweiligen Leuchtmittels bekannt ist und insofern Betriebsparameter "nachgefahren" werden können, um beispielsweise eine Konstanzhaltung eines Bezugs von Dimmpege zu zugehörigem Lichtstrom zu Beginn der Verwendung eines Leuchtmittels bis zum Betriebsende bzw. Austausch des Leuchtmittels bereitzustellen. Auf diese Weise kann beispielsweise sichergestellt sein, dass ein Dimmpege von 100% zu Beginn des Betriebs des jeweiligen Leuchtmittels auch am Betriebszeitende, vor Austausch des Leuchtmittels zum gleichen Lichtstrom führt.

[0027] In einer weiteren Ausführung können in Abhängigkeit der ermittelten Degradationsrate bzw. des ermittelten Degradationsgrades bestimmte Wartungsfunktionen ausgelöst werden, beispielsweise eine Signalisierung oder Anzeige einer aktuellen Degradation, insbesondere optisch oder akustisch.

[0028] Darüber hinaus kann das erfindungsgemäße Verfahren genutzt werden, um im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren eine genauere Vorhersage des Verlaufs der Degradation durchzuführen, insbesondere eine Vorhersage für die Zeit des weiteren Betriebs bis zum Erreichen einer Wartungssituation, welche sich beispielsweise durch das Erreichen eines Schwellwertes des Degradationsgrades auszeichnet. Zu diesem Zweck kann vorgesehen sein, dass ausgehend von aktuellen Betriebsvariablen wie Leuchtmittelstrom, Leuchtmitteltemperatur, Degradationsrate bzw. Degradationsgrad der zukünftige zeitliche Verlauf der Degradationsrate bzw. des Degradationsgrades unter Berücksichtigung der jeweiligen Funktion im jeweiligen Zeitintervall durch Extrapolation berechnet wird. Insofern kann bei der Extrapolation der Degradation bis zum Erreichen der obenstehend angegebenen ersten Betriebsdauerzeit zur Berechnung der Degradationsrate die erste Funktion, nach Erreichen der ersten Betriebsdauerzeit bis zum Erreichen der zweiten Betriebsdauerzeit die zweite Berechnungsfunktion verwendet werden.

[0029] Zweckmäßigerweise kann für die Extrapolation die obenstehend beschriebene, schrittweise Integration der angegebenen Differentialgleichung verwendet werden, wobei die Zeitintervallschritte äquidistant angenommen werden können, was jedoch nicht zwingend immer der Fall sein muss. Das Erreichen einer vorgegebenen Degradationsschwelle, beispielsweise eines Wertes von 0,8 kann den Abbruch der Berechnung festlegen und damit das Lebensdauerende bzw. den Wartungstermin für das Leuchtmittel. Da bei der beschriebenen Extrapolation ein zeitlich ununterbrochener Betrieb des Leuchtmittels ab dem Startzeitpunkt der Interpolation angenommen wird, kann zweckmäßigerweise zur Bestimmung des realen Wartungstermins das berechnete Zeitintervall vom Start der Extrapolation bis zum Erreichen der Degradationsschwelle multipliziert werden mit einem Verhältnis der Zeitdauer bis zum Erreichen des aktuellen Degradationsgrads durch die Summe der Zeitintervalle, in welchen das Leuchtmittel bis zum Erreichen des aktuellen Degradationsgrades im Betrieb war.

[0030] Die obige Aufgabe wird darüber hinaus gelöst durch ein Beleuchtungssystem zur Umsetzung eines oben beschriebenen Verfahrens zum Betrieb eines Leuchtmittels. Dabei kann das Beleuchtungssystem zumindest ein Betriebsgerät umfassen zum Betrieb zumindest eines Leuchtmittels, mit einer Betriebsparameter-Erfassungseinrichtung, insbesondere zum Erfassen, beispielsweise durch Messen und/oder Berechnen, eines Leuchtmittelstroms und/oder einer Leuchtmitteltemperatur bzw. einer der Leuchtmitteltemperatur zugeordneten Temperatur, mit einer Datenschnittstelle zum Datenaustausch mit einer Steuereinrichtung, welche eine Datenverarbeitungseinrichtung sowie eine Speichereinrichtung mit Schreib-/Lesefunktion zur Speicherung von zeitmarkierter Betriebsinformation des zumindest einen Leuchtmittels wie insbesondere Betriebszeiten, Leuchtmittelstrom, Leuchtmitteltemperatur, Degradationsrate und/oder Degradationsgrad des Leuchtmittels, aufweist, wobei die Steuereinrichtung an ein Netzwerk angeschlossen sein kann. Die Steuereinrichtung kann einen Programmspeicher aufweisen, auf dem in Form von Programmcode als Berechnungsvorschrift für die Berechnung der Degradationsrate und/oder der Degradation zumindest zwei, jeweils von mehreren Funktionsvariablen abhängige Funktionen mit einem jeweiligen Satz von Funktionskonstanten zur Berechnung der vorhandenen Degradation des Leuchtmittels abgespeichert sind. Es sei darauf hingewiesen, dass ein oder mehrere Betriebsparameter je nach Ausführungsform auch durch eine entsprechende Steuerung vorgegeben sein können, beispielsweise ein Leuchtmittelstrom durch Vorgabe eines Dimmpege.

[0031] Die Erfindung wird im Folgenden durch das Beschreiben einiger Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen erläutert, wobei

Figur 1 ein an ein Rechnernetzwerk angeschlossenes Beleuchtungssystem zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, und

Figur 2a,b den Ablauf bzw. ein Flussdiagramm zur Berechnung der Degradation eines Leuchtmittels wenn dieses ausgeschaltet ist bzw. während des Betriebs desselben

zeigt.

[0032] Ein erfindungsgemäßes Beleuchtungssystem zur Umsetzung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist in einer Prinzipdarstellung in Figur 1 angegeben. Das Beleuchtungssystem umfasst hier eine Anzahl von Betriebsgeräten 2, die zum Betrieb von Leuchtmitteln ausgebildet sind, vorliegend zum Betreiben von LED-Einrichtungen 3, 3'. Beispielsweise sind die Betriebsgeräte 2 ausgebildet, in Abhängigkeit eines vorgegebenen Dimmpegs den Strom durch die LED-Einrichtung 3, 3' und damit den von den LED-Einrichtungen erzeugten Lichtstrom einzustellen bzw. zu regeln. Eingangsseitig sind an jedem der Betriebsgeräte 2 in der beschriebenen Ausführungsform ein An-/Aus-Schalter 22 sowie ein Lichtsensor 21 angeschlossen, wobei eine im Betriebsgerät angeordnete lokale Steuereinrichtung 24 in Abhängigkeit der Eingangssignale des Schalters und/oder in Abhängigkeit eines über die Steuerschnittstelle 20 von einer zentralen Steuereinrichtung 4 erhaltenen Steuersignals den Betrieb der jeweiligen LED-Einrichtung steuert. Jede der Betriebsgeräte 2 weist einen Speicher 25 auf, in welchem beispielsweise Vorgaben in Bezug auf die Betriebsparameter wie ein vorgegebener Dimmpegel abgelegt sein können.

[0033] In der in Figur 1 dargestellten Ausführungsform betreiben zwei der angegebenen Betriebsgeräte jeweils eine einzelne LED-Einrichtung, welche eine Mehrzahl von LEDs, beispielsweise in Form einer Reihenschaltung umfassen kann, während das dritte Betriebsgerät eine Gruppe von zwei LED-Einrichtungen 3, 3' speist, die aufgrund der Parallelschaltung mit identischen Betriebsparametern betrieben werden.

[0034] Alle Betriebsgeräte sind über Steuerschnittstellen 20 an einen Steuerbus 5 angeschlossen, der in dem Beispiel als DALI (Digital Addressable Lighting Interface)-Bus ausgebildet ist. Am DALI-Bus ist darüber hinaus eine zentrale Steuereinrichtung 4 angeschlossen, die mittels einer Netzwerkschnittstelle 6 an ein Computernetz 7, hier ein öffentliches Netz, gekoppelt ist. In einem gesicherten Bereich des öffentlichen Netzes 7 ist ein Netzwerkspeicher 8 vorgesehen, auf den die zentrale Steuerung 4 zur Abfrage und zum Ablegen von Daten zugreifen kann. Darüber hinaus kann ein Zugriff zur Ausführung von Schreib-/Leseaktionen auf den Netzwerkspeicher 8 von einem Datenendgerät 9 durchgeführt werden, das wiederum über eine Netzwerkschnittstelle 6 an das öffentliche Rechnernetz 7 angeschlossen ist.

[0035] Grundsätzlich unterliegen die LED-Einrichtungen des Beleuchtungssystems unterschiedlichen Alterungseffekten, die zusammen als betriebszeitabhängige Degradation $D(t)$ bezeichnet werden. Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass die Degradation unabhängig vom eingestellten Dimmpegel ist bzw. deren Abhängigkeit vom Dimmpegel in erster Näherung vernachlässigt werden kann. Es liegt jedoch im Rahmen der Erfindung, auch Degradationsgrade in Bezug auf eine Mehrzahl von unterschiedlichen Dimmpegeln zu berücksichtigen bzw. zu bestimmen.

[0036] Alle Leuchtdiodeneinrichtungen 3, 3' des Beleuchtungssystems gemäß Figur 1 werden vom jeweiligen Betriebsgerät in Abhängigkeit von extern zugeführter Steuerinformation, insbesondere über die zentrale Steuerung 4 als auch über intern erfasste Steuerinformation, über den Messsensor 21 und/oder den Schalter 22 erfasst, gesteuert. Jeweilige Betriebsparameter, beispielsweise die An-Zeit sowie den eingestellten Dimmpegel, respektive den LED-Strom, werden in der beschriebenen Ausführungsform über eine vorgegebene Zeitdauer zunächst im jeweiligen Betriebsgerät gespeichert und danach an die zentrale Steuerung 4 über den Bus 7 weitergegeben und dort in einem jeweiligen Speicher abgelegt. In der Ausführung gemäß Fig. 1 weist jedes der Betriebsgeräte 2 einen Temperatursensor 26 auf, von dessen Messwert in noch zu beschreibender Weise auf die jeweilige Temperatur der LED-Einrichtung geschlossen wird. Zur Berechnung der Degradation wird für jede der LED-Einrichtungen der nachfolgend beschriebene Ablauf realisiert mit dem grundsätzlichen Ansatz einer Differentialgleichung

$$\frac{d}{dt}D(t) = -\alpha(T_S, I, t)D(t) \quad \text{mit } D(0) = 1,$$

wobei $D(t)$ die aktuelle Degradation der LED-Einrichtung, $\alpha(T_S, I, t)$ den aktuellen Degradationsgrad angibt und wobei T_S die LED-Temperatur, I den LED-Strom und t die Zeit angibt. Mit einem Euler-Ansatz zur Integration der Differentialgleichung ergibt sich

$$D(t + dt) = D(t) \cdot (1 - \alpha \cdot dt).$$

[0037] Für die schrittweise Integration kann beispielsweise die Schrittweite dt konstant gehalten werden. In einer besonders zweckmäßigen Ausführungsform kann jedoch auch vorgesehen sein, dass ein weiterer Integrationsschritt immer dann ausgeführt wird, wenn eine Betriebsvariable, insbesondere der LED-Strom neu erfasst wird oder wenn eine Betriebsvariable wie dieser Strom sich aufgrund eines entsprechenden Steuerungssignals ändert. Der jeweilige Zeitschritt zwischen zwei Integrationen ändert sich dann entsprechend.

[0038] Als zweckmäßiger Ansatz für die Berechnungsfunktion der Degradationsrate α hat sich die Beziehung

$$\alpha_i(T_s, I, t) = A_i \exp\left(\frac{-E_{a,i}}{T_s}\right) \exp(A_{I,i} I)$$

herausgestellt, wobei die Funktionskonstante A_i ein Vorfaktor, die Funktionskonstante $E_{a,i}$ eine normierte Aktivierungsenergie, und die Funktionskonstante $A_{I,i}$ ein Stromeinflussparameter sowie i ein Zeitdauerintervall ($i = 1, 2, 3$) bezeichnet, wobei in der beschriebenen Ausführungsform die Gesamtbetriebszeit in 3 Zeitintervalle aufgeteilt sind. Insofern wird bei der Festlegung der Degradationsrate α und damit des Degradationsgrades kein konstanter funktionaler Zusammenhang angenommen, stattdessen werden in dem beschriebenen Beispiel drei unterschiedliche funktionale Zusammenhänge α_1 , α_2 und α_3 angenommen, wobei jeweils einer innerhalb eines vorgegebenen Zeitintervalls i zugrunde gelegt wird. In der beschriebenen Ausführungsform werden drei Zeitintervalle angesetzt, ein erster Zeitabschnitt vom Betriebsbeginn bis zu einer Betriebsdauer von $T_1 = 5.000$ Stunden, ein zweiter Zeitabschnitt zwischen T_1 und einer zweiten Zeitschwelle $T_2 = 10.000$ Stunden und ein dritter Zeitabschnitt von T_2 bis zum Ende der Lebenszeit der jeweiligen LED-Einrichtung. Diese wird hier bei Erreichen eines vorgegebenen Degradationsgrades, beispielsweise $D = 0,8$ angenommen. Mit dem Vorstehenden ergibt sich damit für den Degradationsgrad die Festlegung

$$\alpha(T_s, I, t) = \begin{cases} A_0 \exp(-E_{a,0}/T_s) \exp(A_{I,0} I) & \text{für } t \leq T_1 = 5000 \text{ h} \\ A_5 \exp(-E_{a,5}/T_s) \exp(A_{I,5} I) & \text{für } T_1 < t \leq T_2 = 10000 \text{ h} \\ A_{10} \exp(-E_{a,10}/T_s) \exp(A_{I,10} I) & \text{für } t > T_2, \end{cases}$$

wobei T_s , I , t die Funktionsvariablen darstellen, welche den gleichnamigen Betriebsparameter entsprechen, und die Parameter A_0 , A_5 , A_{10} Funktionskonstanten darstellen, welche durch die Eigenschaft des jeweiligen Leuchtmittels, d.h. der LED-Einrichtung festgelegt sind und die Parameter $E_{a,0}$, $E_{a,5}$, $E_{a,10}$ die normierte Aktivierungsenergie in der jeweiligen Funktion in den angegebenen drei Zeitabschnitten darstellen.

[0039] In der vorliegenden Ausführungsform werden alle zeitmarkierten Betriebsparameter nach einer Zwischenspeicherung in dem jeweiligen Betriebsgerät 2 an die zentrale Steuerung 4 übermittelt, in welcher die Berechnung der Degradationsrate bzw. des Degradationsgrades für alle vom Beleuchtungssystem 1 umfassten LED-Einrichtungen berechnet werden. Die hierzu benötigten Funktionsvariablen T_s , I und die Zeit t stehen hierzu, abgelegt im Speicher 45 der zentralen Steuereinrichtung 4 bereit, wobei in der beschriebenen Ausführungsform der LED-Strom I aus dem DALI-Dimmlevel nach der einschlägigen Beziehung

$$I(L) = I_{100} * 10^{\left(\left[L-1\right] * \frac{3}{253} - 1\right)} * \frac{1}{100} \quad (\text{Gl. 5})$$

berechnet wird, wobei die Konstante I_{100} angibt, welcher LED-Strom bei 100% Dimmlevel fließt.

[0040] In der beschriebenen Ausführungsform wird die in die Degradationsrate eingehende Funktionsvariable der LED-Temperatur, welche auch als Löttemperatur T_s bezeichnet wird, nicht direkt, sondern indirekt über eine innerhalb des Betriebsgeräts gemessene Temperatur $T_{\text{EVG, read}}$ ermittelt. In der beschriebenen Ausführungsform wird über den funktionalen Zusammenhang

$$T_s(T_{EVG_read}, I) = b_o + b_T T_{EVG_read} + b_I I + b_{TI} T_{EVG_read} I$$

mit den thermischen Konstanten b_o , b_T , b_I und b_{TI} die Größe T_s berechnet. Es sei darauf hingewiesen, dass in anderen Ausführungsformen auch andere funktionale Zusammenhänge zur Ermittlung von T_s in Abhängigkeit des LED-Stroms und einer innerhalb des Betriebsgerätes oder beispielsweise innerhalb einer Leuchte gemessenen Temperatur herangezogen werden kann.

[0041] In einer weiteren Ausführungsform kann auch vorgesehen sein, einen funktionalen Zusammenhang zwischen den Funktionsvariablen LED-Strom und gemessener Außentemperatur (Raumtemperatur) anzunehmen, um T_s zu ermitteln.

[0042] In der beschriebenen Ausführungsform sind die obenstehend angegebenen neun Funktionskonstanten für die Ermittlung des Degradationsgrades sowie die vier Funktionskonstanten zur Ermittlung der LED-Temperatur in einem Speicher 8 innerhalb eines Netzwerks 7 abgelegt. Die zentrale Steuereinrichtung 4 weist eine Netzchnittstelle 6 auf, über welche sie auf den im öffentlichen Netz 7 angeordneten, abgesicherten Speicher 8 zugreifen kann und auf diese Weise aktuelle Werte für die genannten Funktionskonstanten abrufen kann. Eine Aktualisierung kann beispielsweise über das Datenendgerät 9 durchgeführt werden, welches über seine Netzchnittstelle 6 mit dem Rechnernetz 7 verbunden ist und Schreib-Lese-Zugriffe auf den gesicherten Speicher 8 innerhalb des Netzes 7 durchführen kann. Mit der beschriebenen Gestaltung ist es beispielsweise einem Hersteller von Leuchtmitteln, hier LED-Einrichtungen oder einem Hersteller von Beleuchtungseinrichtungen wie Lampen möglich, aktuelle Erkenntnisse in Bezug auf den Verlauf der Degradationsrate bzw. der Degradation in der Art von aktualisierten Funktionskonstanten in das jeweilige Berechnungsverfahren einfließen zu lassen. Dabei kann auch vorgesehen sein, dass das Datenendgerät über das Netzwerk 7 eine entsprechende Mitteilung an die zentrale Steuerung 4 sendet und daraufhin die zentrale Steuerung 4 die aktualisierten Funktionskonstanten aus dem Netzwerkspeicher 8 abrufen.

[0043] Im Folgenden soll die kontinuierliche Ermittlung der Degradationsrate bzw. der Degradation jeweils nach äquidistanten Zeitintervallen dt beschrieben werden, wobei jeweils die in der zentralen Steuerung abgelegten und mit einer Zeitmarke markierten Betriebsparameter, welche als Funktionsargumente bzw. Funktionsvariable eingesetzt werden, für die Berechnung herangezogen werden. Es sei darauf hingewiesen, dass die Annahme von äquidistanten Zeitintervallen zwischen zwei Berechnungen zur Vereinfachung der Darstellung gewählt sind, in einer anderen Ausführungsform kann wie beschrieben auch beispielsweise vorgesehen sein, die Berechnungen immer dann durchzuführen, wenn sich ein Betriebsparameter ändert bzw. geändert wurde, beispielsweise über die Steuerung zur Einstellung eines anderen Dimmpegs.

[0044] Die Figuren 2a, b zeigen entsprechende Ablaufdiagramme zur Durchführung der Berechnung. Eine solche Berechnung muss nicht durchgeführt werden, wenn die jeweilige LED-Einrichtung ausgeschaltet war, siehe Figur 2a. In diesem Fall erhöht sich die Betriebszeit t_n nicht, d.h. $t_n = t_{n-1}$, wobei t_{n-1} die Betriebszeit am Ende des vorhergehenden Intervalls angibt. Demnach weist die Degradation am Ende des Intervalls n den gleichen Wert wie die Degradation am Ende des vorhergehenden Intervalls auf, d.h.

$$D_n = D_{n-1}.$$

[0045] Figur 2b zeigt die Situation, wenn im vergangenen Zeitintervall die Lampe eingeschaltet war und somit am Ende des vergangenen Intervalls durch den Betrieb der LED-Einrichtung sich in diesem Intervall deren Degradation geändert hat. In Schritt 61 wird die Zeitdauer dt des vergangenen Intervalls aus den Zeitstempeln der abgespeicherten Betriebsvariablen ermittelt, d.h. $dt = TS_n - TS_{n-1}$. Dabei beschreibt TS_{n-1} den Realzeitpunkt, zu dem das Intervall $n-1$ gestartet ist und der Zeitstempel TS_n den Zeitpunkt, an welchem das Zeitintervall $n-1$ geendet hat.

[0046] In Schritt 62 wird die neue Betriebszeit ermittelt, $t_n = t_{n-1} + dt$. In Schritt 63 wird ausgehend vom im Zeitintervall $n-1$ eingestellten Dimmpegs L_{n-1} der entsprechende Betriebsstrom $I(L_{n-1})$ gemäß der obigen Gleichung (5) berechnet. In Schritt 64 wird die im vergangenen Intervall $n-1$ vorliegende Temperatur der LED-Einrichtung $T_s(T_{EVG,read,n-1}, I)$ gemäß Gleichung (2) in Abhängigkeit der im Betriebsgerät gemessenen Temperatur $T_{EVG,read,n-1}$ und dem in diesem Zeitintervall eingestellten und in Schritt 63 ermittelten LED-Strom berechnet. Mit Kenntnis dieser beiden, im Zeitintervall $n-1$ vorliegenden Werte der genannten Betriebsparameter kann in Schritt 65 die im vergangenen Intervall $n-1$ vorliegende Degradationsrate $\alpha(T_s, I, t_{n-1})$ gemäß obiger Gleichung (1) berechnet werden. Die nach Ablauf des Zeitintervalls $n-1$ herrschende Degradation kann daraufhin in Schritt 66 gemäß obiger Gleichung (4) mit $D_n = D_{n-1} \cdot (1 - \alpha \cdot dt)$ berechnet werden.

[0047] In der beschriebenen Ausführungsform werden die in den Schritten 62 bis 66 berechneten Werte wie die ermittelten bzw. gemessenen Betriebsparameter und zusammen mit diesen zeitmarkiert im Speicher 45 der zentralen Steuereinrichtung 4 abgelegt. Auch die mit Bezug auf Figur 2b beschriebene Berechnung erfolgt in der Datenverarbei-

tungseinheit 41 der zentralen Steuereinrichtung 4.

[0048] Die erläuterten Berechnungen werden im Beleuchtungssystem gemäß Figur 1 in der beschriebenen Ausführungsform für alle Leuchten, umfassend ein jeweiliges Betriebsgerät 2 mit LED-Leuchteinrichtungen 3 bzw. 3' durchgeführt. Bei der angedeuteten Leuchte, welche ein Betriebsgerät 2 sowie eine Gruppe von LED-Leuchteinrichtungen mit einzelnen LED-Leuchteinrichtungen 3, 3' aufweist, kann eine Mittelung der erfassten Werte zur Erhöhung der Genauigkeit durchgeführt werden, da beide LED-Einrichtungen 3, 3' mit den gleichen Betriebsparametern betrieben werden. Soweit die verwendeten Leuchten bzw. LED-Einrichtungen nicht identisch sind, ist für jede ein entsprechender Datensatz von Funktionskonstanten im Speicher 8 des Netzes 7 abgelegt und kann von der zentralen Steuerung 4 von dort abgerufen bzw. über das Datenendgerät 9 können diese Werte aktualisiert werden.

[0049] Soweit die Betriebszeit t_n eine vorgegebene Betriebsdauerzeit, beispielsweise die Betriebsdauerzeit T1, welche in der beschriebenen Ausführungsform 5.000 Stunden beträgt, überschritten wird, wird der Schritt 65 mit dem dann gültigen funktionalen Zusammenhang $\alpha_i(T_S, I, t)$ für $i=2$ berechnet, d.h. durch die obenstehend angegebene Funktion mit den dann gültigen Funktionskonstanten A_5 , $E_{a,5}$ und $A_{l,5}$.

[0050] In gleicher Weise ändern sich die Funktionskonstanten wiederum, wenn die Betriebsdauer der beschriebenen Ausführungsform die Betriebszeit T2 überschreitet. Danach werden die Funktionskonstanten weiter verwendet, bis ein vorgegebener Degradationsgrad, beispielsweise $D=0,8$ erreicht ist, wobei im Ansprechen auf das Erreichen dieser Degradationsschwelle die zentrale Steuereinrichtung 4 eine Wartungsfunktion auslöst, die darin bestehen kann, ein entsprechendes optisches Signal in einer Wartungstafel auszugeben.

[0051] Um dem Anwender möglichst frühzeitig Wartungsinformationen, beispielsweise den Zeitpunkt für den Austausch eines Leuchtmittels bereitzustellen, kann auch eine Extrapolation des Degradationsgrades in die Zukunft durchgeführt werden. In der beschriebenen Ausführungsform wird diese Berechnung wiederum in der zentralen Steuereinrichtung 4 durchgeführt. Die Berechnung erfolgt ähnlich wie mit Bezug auf Figur 2b beschrieben, wobei von den zum Zeitpunkt der Durchführung der Extrapolation eingestellten bzw. erfassten Betriebsparametern ausgegangen werden kann, d.h. von der aktuellen Betriebszeit t_0 , dem aktuellen Degradationsgrad D_0 , dem aktuell eingestellten Strom, der durch die LED-Einrichtung fließt sowie der entsprechend dem obigen Schritt 64 ermittelten LED-Temperatur T_S . Über die obenstehend mit Bezug auf Figur 2b beschriebenen Schritte 62 bis 66 kann dann die Degradation in die Zukunft extrapoliert werden, wobei die Intervallzeit dt als konstant angenommen wird und für die Extrapolation vergleichsweise groß, beispielsweise mehrere Tage, angesetzt wird. Darüber hinaus wird für die Extrapolation davon ausgegangen, dass die Temperatur T_S bzw. $T_{EVG,read,l}$ konstant ist, d.h. sich das System im thermischen Gleichgewicht befindet.

[0052] Die Schritte 62 bis 66 werden nun solange durchlaufen, bis das Abbruchkriterium in Form einer vorgegebenen Degradationsschwelle von $D_n=0,8$ erreicht ist. Die so ermittelte Betriebszeit markiert das Lebensdauerende der betreffenden LED-Einrichtung und damit einen Wartungstermin, in welchem das Leuchtmittel auszutauschen ist.

[0053] Unter der Voraussetzung konstanter Betriebsparameter für das Leuchtmittel ist auch die Degradationsrate innerhalb der Zeitintervalle konstant, sodass dann die Differentialgleichung der Degradation auch analytisch gelöst werden kann. Dies erfordert weniger Rechenleistung als die numerische Lösung. Dabei erfolgt die Lösung stückweise, da in der Zeit von 0 bis zur ersten Betriebsdauerzeit T1 eine andere Degradationsrate gültig ist als in der Zeit zwischen T1 und T2. Diese variable Degradationsrate trotz identisch angenommener Betriebsbedingungen spiegelt die oft komplexen Alterungsmechanismen der LED wider.

[0054] In einem erweiterten Ansatz kann ausgehend von der wie beschrieben ermittelten Betriebszeit bis zum Erreichen der Degradationsschwelle die Realzeit ermittelt werden unter der Annahme, dass das Verhältnis der Summe der Zeitintervalle, in welchen die LED-Einrichtung betrieben wurde, zu der real vergangenen Zeitdauer in der Zukunft gleich ist wie in der Vergangenheit. Damit ergibt sich der reale Zeitpunkt für die Wartung durch Multiplikation dieses Verhältnisses mit der Betriebszeit, die vom aktuellen Zeitpunkt bis zum Erreichen der Degradationsschwelle vergehen wird.

[0055] In einer nicht dargestellten Ausführungsform können weitere Schwankungen wie beispielsweise der Jahresgang der Temperatur oder der Tages- und Jahresgang der Bestromung bei der beschriebenen Extrapolation berücksichtigt werden. Im einfachsten Fall geschieht dies, indem die über beispielsweise ein ganzes Jahr aufgezeichneten Betriebsparameter in der Extrapolation immer wieder durchlaufen werden. Bei hinreichend vorhandenem Datenbestand können komplexere Methoden eingesetzt werden, in denen die bisherigen Daten analysiert und modelliert werden. Beispielsweise können Betriebsparameter die voraussichtlich periodisch sind, wie die Temperatur in ihrem Jahresgang, mittels Fourier-Zerlegung analysiert werden und als Fourier-Reihe für die Extrapolation verwendet werden.

Bezugszeichenliste

[0056]

1	Beleuchtungssystem
2	Betriebsgerät
3, 3'	LED-Einrichtung

	4	Zentrale Steuereinrichtung
	5	Steuerbus
	6	Netzwerkschnittstelle
	7	Computernetzwerk
5	8	Netzspeicher
	9	Server
	20	Steuerschnittstelle
	21	Sensor
	22	Schalter
10	23	Betriebsparameter-Erfassungseinrichtung
	24	Lokale Steuereinrichtung
	25	Speicher
	26	Temperatursensor
	40	Steuerschnittstelle
15	41	Datenverarbeitungseinheit
	45	Speicher
	T1, T2	Betriebszeiten
	T	Betriebszeit
	T _S	Leuchtmitteltemperatur
20	I	Leuchtmittelstrom
	α	Degradationsrate
	D	Degradationsgrad, Degradation
	$\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_N$	Berechnungsfunktion für die Degradationsrate
	A _l , E _{a,i} , A _l , i	Funktionskonstanten
25	α_S	Degradationsschwellwert

Patentansprüche

- 30 1. Verfahren zum Betrieb eines Leuchtmittels, wobei eine Mehrzahl von Leuchtmittel- Betriebsvariablen wie Leuchtmittelstrom (I) und/oder Leuchtmitteltemperatur (T_S) abgespeichert wird und auf der Grundlage einer, von mehreren Funktionsvariablen und einem Satz von Funktionskonstanten abhängigen Funktion zur Berechnung der Degradationsrate (α) die Degradation (D) des Leuchtmittels berechnet wird und der Betrieb des Leuchtmittels in Abhängigkeit der berechneten Degradation gesteuert und/oder in Abhängigkeit der ermittelten Degradation eine Wartungsfunktion ausgeführt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** bis zum Erreichen einer ersten Betriebsdauerzeit (T1) des Leuchtmittels eine, von mehreren Funktionsvariablen (T_S, I, t) und einem ersten Satz von Funktionskonstanten (A₀, E_{a,0}, A_{l,0}) abhängige erste Funktion (α_1) für die Berechnung der Degradationsrate (α) und nach Erreichung der ersten Betriebsdauerzeit (T1) eine zweite, von mehreren Funktionsvariablen (T_S, I, t) und einem zweiten Satz von Funktionskonstanten (A₅, E_{a,5}, A_{l,5}) abhängige zweite Funktion (α_2) für die Berechnung der Degradationsrate (α) herangezogen wird.
- 35 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach Erreichung einer zweiten, zur ersten längeren Betriebsdauerzeit (T2) eine dritte, von mehreren Funktionsvariablen (T_S, I, t) und einem dritten Satz von Funktionskonstanten (A₁₀, E_{a,10}, A_{l,10}) abhängige Funktion (α_3) für die Berechnung der Degradationsrate (α) herangezogen wird.
- 40 3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Berechnung der Degradationsrate (α) bis zum Erreichen eines vorgegebenen Degradationsschwellwerts (α_S) durchgeführt wird.
- 45 4. Verfahren nach Anspruch 1, 2, oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Funktionen ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \dots \alpha_N$) für die Berechnung der Degradationsrate (α) identisch, jedoch die jeweiligen Sätze von Funktionskonstanten unterschiedlich sind.
- 50 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest eine der von mehreren Funktionsvariablen abhängigen Funktionen ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \dots \alpha_N$) für die Berechnung der Degradationsrate α durch
- 55

$$\alpha_i(T_S, I, t) = A_i \exp\left(\frac{-E_{a,i}}{T_S}\right) \exp(A_{I,i} I)$$

gegeben ist, wobei die Funktionsvariable T_S eine dem Leuchtmittel zugeordnete Temperatur (Solderpoint-Temperatur), die Funktionsvariable I der Leuchtmittelstrom, die Funktionsvariable t die Betriebszeit, die Funktionskonstante A_i ein Vorfaktor, die Funktionskonstante $E_{a,i}$ eine normierte Aktivierungsenergie, und die Funktionskonstante $A_{I,i}$ ein Stromeinflussparameter sowie i ein Zeitdauerintervall ($i=1, 2, \dots, N$) bezeichnet.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Funktionsvariable T_S berechnet wird nach der Funktionsgleichung

$$T_s(T_{EVG_read}, I) = b_0 + b_T T_{EVG_read} + b_I I + b_{TI} T_{EVG_read} I,$$

wobei die Funktionsvariable T_{EVG_read} eine dem Betriebsgerät des Leuchtmittels zugeordnete Temperatur, sowie die Funktionskonstanten b_0 , b_T , b_I und b_{TI} jeweils einen thermische Parameter bezeichnen.

7. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Funktionsvariable T_S als Solderpointtemperatur des als LED-Einrichtung (3, 3') ausgebildeten Leuchtmittels gemessen wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Berechnung der aktuellen Degradation (α) des Leuchtmittels die Differential-

gleichung $\frac{d}{dt} D(t) = -\alpha(T_S, I, t) D(t)$ numerisch gelöst wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Degradationsrate $\alpha(T_S, I, t)$ und/oder die Degradation $D(t)$ $\alpha(T_S, I, t)$ des Leuchtmittels fortlaufend berechnet werden.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Berechnung zur Aktualisierung der Werte $\alpha(T_S, I, t)$ und/oder $D(t)$ innerhalb eines Zeitintervalls solange unterbleibt, bis sich im Betrieb des Leuchtmittels zumindest eine der Funktionsvariablen (T_S, I, t) ändert oder das Zeitintervall eine vorgegebene Schwellendauer überschreitet.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Funktionskonstanten ($A_i, E_{a,i}, A_{I,i}$) in einem, insbesondere über ein Netzwerk (7) zugänglichen, Speicher (8) auslesbar abgelegt sind.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Funktionskonstanten ($A_i, E_{a,i}, A_{I,i}$) im Zeitverlauf des Betriebes des Leuchtmittels aktualisiert und zur Berechnung der Degradationsrate (α) und/oder der Degradation (D) des zumindest einen Leuchtmittels in einem Netzwerk (8) zentral bereitgestellt werden.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Degradationsraten (α) und/oder die Degradationen (D) von als Gruppe zusammen betriebenen Leuchtmitteln zur Ermittlung einer Gruppendegradationsrate bzw. einer Gruppendegradation herangezogen, insbesondere gemittelt werden.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** Betriebsinformation zu dem Leuchtmittel, wie insbesondere Betriebszeiten (t), Leuchtmittelstrom (I), Leuchtmitteltemperatur (T_S), Degradationsrate (α) und/oder Degradationsgrad (D) zeitmarkiert in einem Netzwerk (8) zentral abgelegt werden.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14,

dadurch gekennzeichnet, dass ausgehend von aktuellen Betriebsvariablen der zukünftige zeitliche Verlauf der Degradationsrate (α) bzw. des Degradationsgrades (D) unter Berücksichtigung der jeweiligen Funktion im jeweiligen Zeitintervall ($[0 \dots T1]$, $[T1 \dots T2]$...) durch Extrapolation berechnet wird.

5 16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15,

dadurch gekennzeichnet, dass ausgehend von einem aktuellen Degradationsgrad (D) und einem aktuellen Dimm-
pegel zur Konstanthaltung eines Bezuges von Dimmpegel und des zugehörigen Lichtstromes über eine Betriebs-
dauer des zumindest einen Leuchtmittels eine Anpassung zumindest einer Betriebsvariablen wie des Leuchtmittel-
stromes (I) durchgeführt wird.

10 17. Beleuchtungssystem (1) umfassend zumindest ein Betriebsgerät (2) zum Betrieb zumindest eines Leuchtmittels,
mit einer Betriebsparametererfassungseinrichtung (23) und einer Schnittstelle (20) zum Datenaustausch mit einer
Steuereinrichtung (4), welche eine Datenverarbeitungseinrichtung sowie eine Speichereinrichtung mit Schreib-/Le-
sefunktion zur Speicherung von zeitmarkierter Betriebsinformation des zumindest einen Leuchtmittels, wie insbe-
sondere Betriebszeiten (t), Leuchtmittelstrom (I), Leuchtmitteltemperatur (T_S), Degradationsrate (α) und/oder De-
gradationsgrad (D) des Leuchtmittels, aufweist, wobei die Steuereinrichtung an ein Netzwerk (7) angeschlossen ist
15 und wobei in einem mit der Datenverarbeitungseinrichtung verbindbaren Speicher (8) als Berechnungsvorschrift
für die Berechnung der Degradationsrate (α) und/oder der Degradation (D) zumindest zwei, jeweils von mehreren
Funktionsvariablen (T_S, I, t) abhängigen Funktionen ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \dots \alpha_N$) mit einem jeweiligen Satz von Funktionskons-
tanten zur Berechnung der vorhandene Degradation (D) des Leuchtmittels abgespeichert sind.

20 18. Beleuchtungssystem nach Anspruch 17, umfassend zumindest ein Betriebsgerät, **dadurch gekennzeichnet, dass**
die Datenverarbeitungseinrichtung ausgebildet ist, über die Gesamtbetriebszeit des Leuchtmittels bis zum Erreichen
einer ersten Betriebsdauerzeit (T_1) als Berechnungsvorschrift eine erste der zumindest zwei Funktionen (α_1, α_2)
25 für die Berechnung der Degradationsrate (α) und nach Erreichung der ersten Betriebsdauerzeit (T_1) eine zweite
der zumindest zwei Funktionen (α_1, α_2) für die Berechnung der Degradationsrate (α) heranzuziehen.

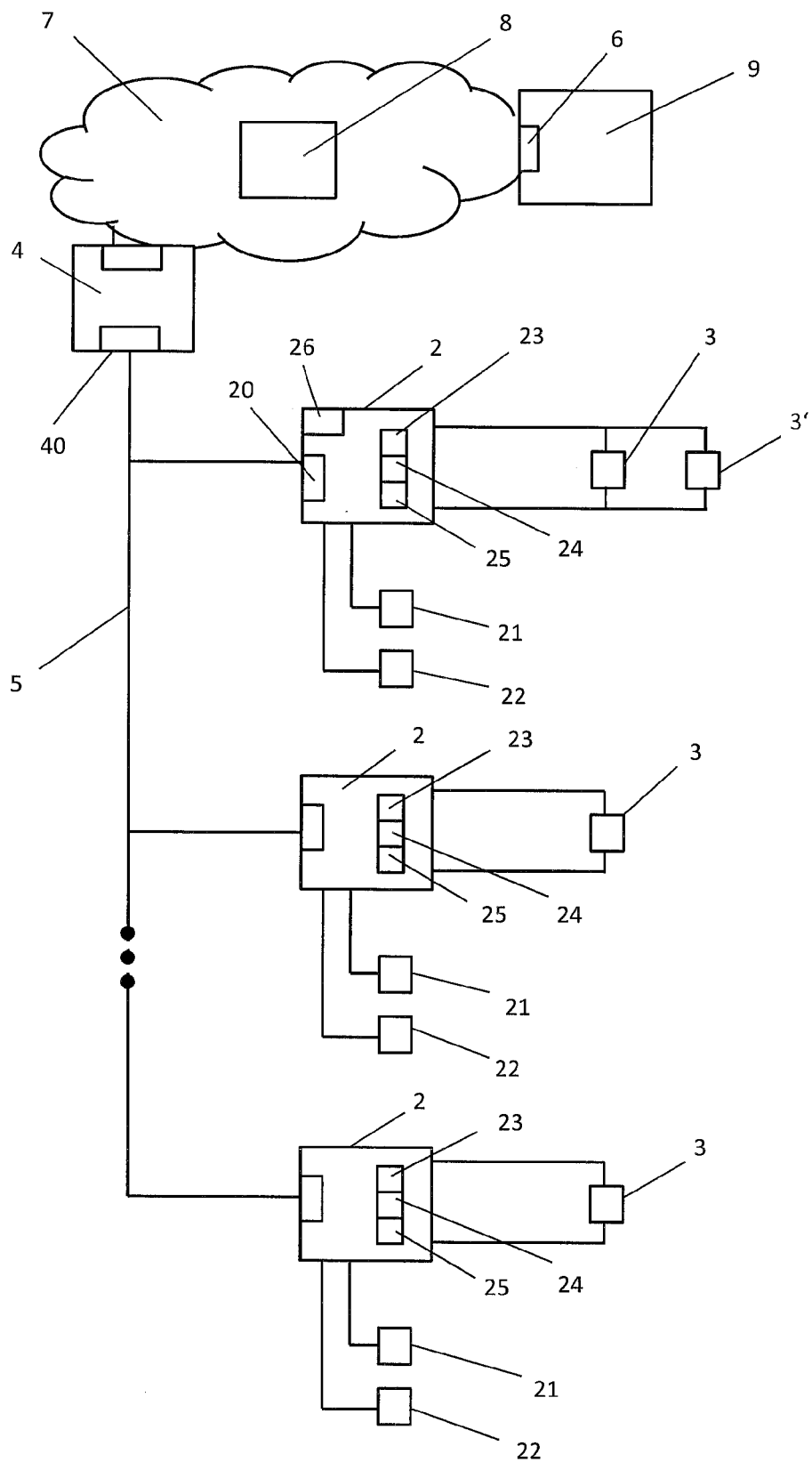


Fig. 1

LED-Einrichtung im Intervall dt ausgeschaltet

$$t_n = t_{n-1}$$

$$D_n = D_{n-1}$$

Fig. 2a

LED-Einrichtung im Intervall dt eingeschaltet

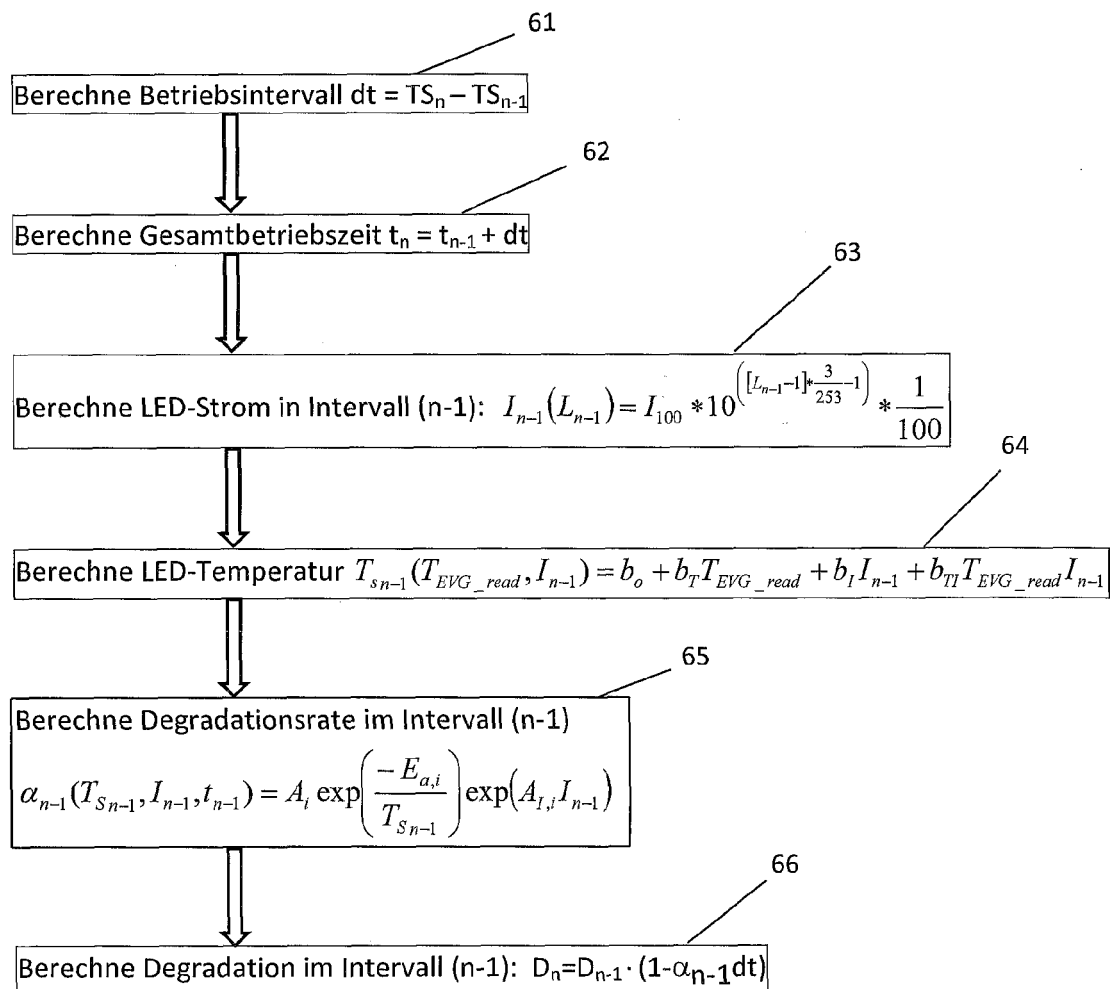


Fig. 2b



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 17 16 0361

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
Y	EP 0 952 757 A2 (MANNESMANN VDO AG [DE]) 27. Oktober 1999 (1999-10-27) * das ganze Dokument *	1-18	INV. H05B33/08 H05B37/03
Y	EP 2 123 129 A2 (EASTMAN KODAK CO [US]) 25. November 2009 (2009-11-25) * Absatz [0020] - Absatz [0024]; Abbildungen 1, 2 *	1-18	
Y	WO 2006/022867 A2 (DIALIGHT CORP [US]; YOUNG GARRETT [US]) 2. März 2006 (2006-03-02) * Seite 3 - Seite 4; Abbildungen 1, 2 *	1-18	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			H05B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 1. August 2017	Prüfer Plamann, Tobias
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 17 16 0361

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

01-08-2017

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0952757 A2	27-10-1999	DE 19818621 A1	28-10-1999
		EP 0952757 A2	27-10-1999
EP 2123129 A2	25-11-2009	AT 533329 T	15-11-2011
		CN 101647319 A	10-02-2010
		EP 2123129 A2	25-11-2009
		TW 200904249 A	16-01-2009
		US 2008224966 A1	18-09-2008
		WO 2008115349 A2	25-09-2008
WO 2006022867 A2	02-03-2006	AU 2005278108 A1	02-03-2006
		CA 2575054 A1	02-03-2006
		CN 101124703 A	13-02-2008
		EP 1776847 A2	25-04-2007
		JP 5430852 B2	05-03-2014
		JP 2008509538 A	27-03-2008
		US 2006028155 A1	09-02-2006
		US 2007040518 A1	22-02-2007
		WO 2006022867 A2	02-03-2006

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

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

- DE 19818621 A1 [0002]