

Beleuchtungsvorrichtung und Beleuchtungsverfahren für zumindest eine Pflanze

- 5 Die Erfindung betrifft eine Beleuchtungsvorrichtung für zumindest eine Pflanze, mit einer Kunstlicht-Einheit zum Bereitstellen eines Kunstlichts für das Beleuchten der Pflanze und mit einer Sonnenlicht-Einheit zum Bereitstellen eines Sonnenlichts für das Beleuchten der Pflanze. Die Erfindung betrifft auch ein entsprechendes Verfahren.
- 10 Bis 2050 werden 66 % der Weltbevölkerung in Städten leben. Das sind mehr als 6 Milliarden Menschen, mit steigender Tendenz. Gleichzeitig sind bereits 80 % der weltweiten Ackerflächen in landwirtschaftlicher Nutzung. Die nachhaltige Sicherung der städtischen Nahrungsmittelversorgung bei begrenzten Ressourcen wird zunehmend zur Herausforderung – insbesondere in dicht
- 15 besiedelten Städten mit limitiertem Zugang zu umliegenden landwirtschaftlichen Gebieten, die zukünftig zudem in verstärktem Zielkonflikt mit Bebauungsflächen stehen werden. Des Weiteren sind intensive Anbaupraktiken, der

massive Einsatz von Chemikalien und zunehmend ungünstigere klimatische Bedingungen für die zukünftige Nahrungsmittelproduktion ein großes Problem.

5 Vor diesem Hintergrund wird weltweit an innovativen Anbaumethoden und Technologien gearbeitet, welche diese Probleme adressieren und den Fokus auf eine Einbettung der Nahrungsmittelproduktion in die urbane Struktur legen. Ein besonders vielversprechender Ansatz liegt dabei im Vertical Farming, der vertikalen Pflanzenproduktion oder -bewirtschaftung in einem geschlossenen System unter Ausschluss abiotischer Umweltfaktoren wie Niederschläge oder Temperatur. Trotz des entscheidenden Vorteils eines maximalen Flächenertrags unter kontrolliert reproduzierbaren Innenraum- oder Indoor-Bedingungen verhindern aktuell insbesondere die hohen Energieaufwendungen und Gesamtbetriebskosten eine flächendeckende Anwendung der Technologie. Mit einem Energiekostenanteil von bis zu 80 % stellt die Pflanzenbeleuchtung dabei den größten Kostentreiber dar.

20 Entsprechend stellt sich die Aufgabe, eine Beleuchtungsvorrichtung für zumindest eine, also eine oder mehrere Pflanzen, bereitzustellen, welche energiesparend in der Innenraumlandwirtschaft (Indoor Farming) genutzt werden kann.

25 Diese Aufgabe wird durch die unabhängigen Patentansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen ergeben sich aus den abhängigen Patentansprüchen, der Beschreibung und der Figur.

30 Ein Aspekt betrifft eine Beleuchtungsvorrichtung für zumindest eine Pflanze, also eine oder mehrere Pflanzen, mit einer Kunstlicht-Einheit zum Bereitstellen eines Kunstlichts für das Beleuchten der Pflanze(n) und mit einer Sonnenlicht-Einheit zum Bereitstellen eines Sonnenlichts für das Beleuchten der Pflanze(n). Die Kunstlicht-Einheit kann dabei eine einstellbare Kunstlicht-Einheit sein, welche in der spektralen Verteilung und/oder der Intensität des bereitgestellten oder erzeugten Kunstlichtes einstellbar ist und beispielsweise lichtemittierende Dioden (LEDs) als Kunstlichtquellen aufweisen. Die Sonnenlicht-Einheit kann beispielsweise einen Sonnenlichtkollektor oder dergleichen umfassen.

Die Beleuchtungsvorrichtung umfasst auch eine Misch-Einheit zum Erzeugen eines Mischlichts aus dem Kunstlicht und dem Sonnenlicht, sowie eine Verteil-Einheit zum Verteilen des Mischlichts und Beleuchten der Pflanze(n) mit dem verteilten Mischlicht, sowie eine Einstell- oder Regel-Einheit zum automatischen Einstellen (oder Regeln) einer Eigenschaft des Mischlichts. Das Einstellen im Sinne der Erfindung kann also ein Regeln oder Steuern umfassen oder sein. Das Einstellen kann insbesondere ein dynamisches Einstellen sein, sodass die Eigenschaft des Mischlichts flexibel an sich ändernde Bedingungen, wie sie weiter unten noch ausgeführt werden, anpassbar ist. Insbesondere kann das Einstellen ein Einstellen zumindest einer Eigenschaft des Kunstlichts und/oder ein Einstellen einer Eigenschaft des Sonnenlichts umfassen. Das Einstellen des Kunstlichts kann beispielsweise durch ein Einstellen, also Steuern oder Regeln, der Kunstlicht-Einheit bewirkt werden, beispielsweise ein Dimmen. Das Einstellen des Sonnenlichts kann beispielsweise durch das Einstellen, also Steuern oder Regeln einer Filter-Einheit, wie sie weiter unten beschrieben ist, erzielt werden. Das Sonnenlicht, welches in der Misch-Einheit mit dem Kunstlicht gemischt wird, kann also auch ein gefiltertes und somit modifiziertes Sonnenlicht sein.

Das hat den Vorteil, dass eine spezifische Nutzung, insbesondere wellenlängen- und/oder intensitätsspezifische Nutzung, von Sonnenlicht unter kontrollierten Bedingungen im geschlossenen Raum ermöglicht wird. Es kann somit das Sonnenlicht mit der künstlichen Beleuchtung zu einer spezifischen Pflanzenlichtmischung supplementiert werden oder aber auch für das Pflanzenwachstum ungünstige Eigenschaften aus dem Sonnenlicht herausgefiltert werden. Die Pflanzenlichtmischung, also die Mischung des Lichts, mit welchem die Pflanze beleuchtet wird, kann also an die jeweiligen Bedürfnisse der Pflanze angepasst werden und so ein Wachstum verbessern. Dies kann auch, wie weiter unten beschrieben, sensorbasiert erfolgen, was eine besonders vorteilhafte dynamische Optimierung des Mischlichts an der Pflanze ermöglicht. Über die ergänzende künstliche Beleuchtung werden nicht nur signifikant Kosten im Energiebereich gespart, sondern auch durch die optimierte Ansteuerung der Leuchtmittel in der Kunstlicht-Einheit, die in den üblichen Systemen an der Leistungsgrenze betriebene lichtemittierende Dioden sind, in ihrer Lebenszeit verlängert werden. Dies führt auch zu reduziertem Abfallauf-

kommen und schont somit die Ressourcen. Dadurch, dass die beschriebene Beleuchtungsvorrichtung keine weiteren Voraussetzungen an das die Innenraum-Landwirtschaft stellt, kann sie im gesamten Feld des Indoor-Farming eingesetzt werden und somit eine wettbewerbsfähige regionale Lebensmittelproduktion ermöglichen.

Die beschriebene Beleuchtungsvorrichtung überwindet somit die Nachteile der im Indoor-Farming bisher üblichen sonnenundurchlässigen Gebäudehülle mit dem ausschließlichen Betrieb von energieintensivem Kunstlicht. Der beschriebene Aufbau ermöglicht auch das Regeln der Beleuchtungsvorrichtung in einem geschlossenen Regelkreis, welcher beispielsweise, wie weiter unten beschrieben, eine Sonnenlichtsammlung und -weiterleitung, eine optische Filterung des Sonnenlichts, eine Mischung von Sonnen- und Kunstlicht, eine sensorbasierte Regelung der Eigenschaften des Mischlichts mit für das Pflanzenwachstum begünstigenden Lichtmischungen sowie die homogene Verteilung des Mischlichts umfassen kann. Es können somit durch die Mischung von Sonnen- und Kunstlicht optimierte Bedingungen für das Pflanzenwachstum in jeder Wachstumsphase geschaffen werden, wobei überdies der Energieverbrauch minimiert wird.

In einer vorteilhaften Ausführungsform ist hier vorgesehen, dass die einstellbare (insbesondere regelbare) Eigenschaft eine spektrale Verteilung und/oder eine Intensität umfasst. Das hat den Vorteil, dass das Mischlicht besonders einfach und kostengünstig an die biologischen Bedingungen angepasst werden kann.

In einer anderen vorteilhaften Ausführung ist vorgesehen, dass die Einstell-Einheit ausgebildet ist, eine Eigenschaft des Mischlichts dynamisch einzustellen, insbesondere durch ein Einstellen der Eigenschaft des Sonnenlichts und/oder einer Eigenschaft des Kunstlichts. Das hat den Vorteil der flexiblen Anpassung der Beleuchtung an sich beispielsweise im Tagesverlauf ändernde Bedingungen, welche sowohl durch einen Wachstumszyklus der Pflanze, als auch durch einen astronomischen Zyklus oder einen meteorologischen Einfluss bedingt sein können.

In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform ist vorgesehen, dass die

Einstell-Einheit ausgebildet ist, die Eigenschaft des Mischlichts gemäß einer hinterlegten Vorschrift einzustellen. Eine derartige hinterlegte Vorschrift kann beispielsweise auch als vorgegebene Mischlichtrezeptur bezeichnet werden und umfasst insbesondere eine vorgegebenen spektrale Verteilung und/oder eine vorgegebene Intensität des Lichtes. Die hinterlegte Vorschrift oder Rezeptur kann auch als (hinterlegte) Sollwertvorgabe verstanden oder bezeichnet werden. Die hinterlegte Vorschrift kann auch eine zeitliche Veränderung des Mischlichts umfassen, beispielsweise in Form von Funktionen, welche einen zeitlichen Verlauf einer Intensität und/oder spektralen Verteilung, welche das Mischlicht haben soll, umfasst. So können beispielsweise Wachstumsphasen in Pflanzen bei der Beleuchtung berücksichtigt werden, oder auch allgemein Präferenzen der von der Beleuchtungsvorrichtung zu beleuchtenden Pflanzensorte oder Pflanzenart, was wiederum ein verbessertes Pflanzenwachstum bzw. eine erhöhte Wirksamkeit der Beleuchtung mit minimierten Energieverbrauch mit sich bringt.

Dabei kann vorgesehen sein, dass die Vorschrift von einer Messgröße, insbesondere einer Uhrzeit und/oder Jahreszeit und/oder einer Temperatur und/oder einer Luftfeuchtigkeit und/oder einer Bodenfeuchtigkeit und/oder einer Nährstoffkonzentration und/oder einer Pflanzensorte und/oder einer Pflanzenart und/oder zu induzierenden Pflanzeninhaltsstoffen und/oder einem Datum abhängt. Damit kann eine besonders genaue Anpassung der Beleuchtung erfolgen.

In einer weiteren besonders vorteilhaften Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Beleuchtungsvorrichtung auch eine Sensor-Einheit zum Detektieren einer spektralen Verteilung und/oder einer Intensität des Sonnenlichts und/oder des Mischlichts und/oder des Kunstlichts aufweist. Dabei ist die Einstell-Einheit ausgebildet, die Eigenschaft des Mischlichts in Abhängigkeit der detektierten spektralen Verteilung und/oder der detektierten Intensität einzustellen oder zu regeln. In besonders vorteilhafter Weise kann dabei durch einen Abgleich der detektierten spektralen Verteilung und/oder Intensität mit der hinterlegten Vorschrift, also der vorgegebenen Mischlichtrezeptur, ermittelt werden, welche spektralen Bestandteile verstärkt und welche spektralen Bestandteile gedämpft werden müssen. Die entsprechend zur Erzeugung eines optimalen Beleuchtungsspektrums möglicherweise erforderliche dynami-

- 5 sche Einstellung oder Modulation des Sonnenlichts, beispielsweise durch Filterung mittels der weiter unten beschriebenen Filter-Einheit, und/oder die möglicherweise erforderliche Anreicherung durch das Kunstlicht kann dabei durch ein entsprechendes Optimierungsverfahren berechnet werden. Da spektrale Verteilung und/oder Intensität effizient und kostengünstig durch die handelsüblichen Spektralsensoren detektiert werden kann, kann auch die Spektralanalyse des variablen Sonnenlichts bzw. der anderen Lichter effizient und kostengünstig erfolgen.
- 10 Entsprechend ist in einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform in der Beleuchtungsvorrichtung auch eine durch die Einstell-Einheit einstellbare Filter-Einheit zum optischen Filtern des Sonnenlichts und/oder des Mischlichts und/oder des Kunstlichts vorgesehen. Besonders vorteilhaft ist hier das optische Filtern des Sonnenlichts und/oder des Mischlichts, da deren spektrale
- 15 Komponenten im Gegensatz zum Kunstlicht nicht beliebig erzeugbar sind. Damit können auf einfache Weise auch unerwünschte Komponenten des Lichts, welche möglicherweise ein Pflanzenwachstum beeinträchtigen, reduziert werden und so die Wirksamkeit der Beleuchtung insgesamt verbessert werden.
- 20 In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Verteil-Einheiten mehrere Leucht-Einheiten umfasst, auf welche das Mischlicht homogen verteilt wird und welche das Mischlicht dann auf die Pflanze(n) abstrahlen. Dabei sind die Leucht-Einheiten insbesondere bei bestimmungsgemäßem Gebrauch, also beispielsweise in einem Schwerfeld der Erde betrachtet, übereinander angeordnet. Gerade bei dieser Anordnung übereinander, der vertikalen Anordnung, kann nämlich einerseits viel Platz gespart werden, andererseits sind Beschattungseffekte in den üblichen Beleuchtungseinheiten stark einschränkend, so dass das bei den Pflanzen ankommende Licht hier
- 25 typischerweise besonders ungleichmäßig ist. Daher wird hier der Vorteil der homogenen Beleuchtung, welche ein gleichmäßiges Wachstum der unterschiedlichen Pflanzen oder Pflanzenteile bewirkt, verstärkt.
- 30 Ein weiterer Aspekt betrifft auch ein Pflanzenkultivierungssystem mit einer Beleuchtungsvorrichtung nach einer oder mehrerer der beschriebenen Ausführungsformen sowie mit einer oder mehreren der folgenden Vorrichtungen:
- 35

5 Einer Temperiertvorrichtung zum Einstellen einer Temperatur für durch die
Beleuchtungsanordnung beleuchtete Pflanze(n); einer Luftbefeuchtungsanord-
nung zum Einstellen einer Luftfeuchtigkeit für die durch die Beleuchtungs-
anordnung beleuchtete Pflanze(n); einer Bodenbefeuchtungsanordnung
zum Einstellen einer Bodenfeuchtigkeit für die durch die Beleuchtungsanord-
nung beleuchtete Pflanze(n); einer Düngevorrichtung zum Einstellen einer
Nährstoffkonzentration für die durch die Beleuchtungsanordnung beleucht-
ete Pflanze(n). Das hat den Vorteil, dass durch die Beleuchtungsanordnung
über eine zentralisierte oder abhängige, auch interdependente Steuerung der
10 unterschiedlichen Steuervorrichtungen das Pflanzenwachstum verbessert
wird und die Beleuchtung in ihrer Effizienz weiter gesteigert wird.

15 Ein zusätzlicher Aspekt betrifft auch ein Verfahren zum Beleuchten zumindest
einer Pflanze, mit den Verfahrensschritten des Bereitstellens eines Kunstlichts
für das Beleuchten der Pflanze, des Bereitstellens eines Sonnenlichts für das
Beleuchten der Pflanze; des Erzeugens eines Mischlichts aus dem Kunstlicht
und dem Sonnenlicht; dem Einstellen einer Eigenschaft des Mischlichts; und
dem Verteilen des Mischlichts und Beleuchten der Pflanze mit dem verteilten
Mischlicht.

20 Vorteile und vorteilhafte Ausführungsformen des Verfahrens entsprechen hier
Vorteilen und vorteilhaften Ausführungsformen der Beleuchtungsanordnung
bzw. des Pflanzenkultivierungssystems.

25 Die vorstehend in der Beschreibung genannten Merkmalskombinationen so-
wie die nachfolgend in der Figurenbeschreibung genannten und/oder in der
Figur alleine gezeigten Merkmale und Merkmalskombinationen sind nicht nur
in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombina-
tionen verwendbar, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen. Es sind
30 somit auch Ausführungen von der Erfindung als umfasst und offenbart anzu-
sehen, die in der Figur nicht explizit gezeigt und erläutert sind, jedoch durch
separierte Merkmalskombinationen aus den erläuterten Ausführungen her-
vorgehen und erzeugbar sind. Es sind auch Ausführungen und Merkmalskom-
binationen als offenbart anzusehen, die somit nicht alle Merkmale eines ur-
35 sprünglich formulierten unabhängigen oder abhängigen Anspruchs aufweisen.
Es sind darüber hinaus Ausführungen und Merkmalskombinationen, insbe-

sondere durch die oben dargelegten Ausführungen, als offenbart anzusehen, die über den in den Rückbezügen der Ansprüche dargelegten Merkmalskombinationen hinausgehen oder von diesen abweichen.

5 Ausführungsbeispiele der Erfindung wird nachfolgend anhand einer schematischen Zeichnung näher erläutert.

Dabei zeigt Fig. 1 eine beispielhafte Ausführungsform einer Beleuchtungs-
vorrichtung für zumindest eine Pflanze.

10

Die dargestellte Beleuchtungsanordnung 1 dient vorliegend der Beleuchtung
mehrerer Pflanzen 2 und umfasst eine Kunstlicht-Einheit 3 zum Bereitstellen
eines Kunstlichts 3' sowie eine Sonnenlicht-Einheit 4 zum Bereitstellen eines
Sonnenlichts 4', welche beide dem Beleuchten der Pflanze 2 dienen. Die Be-
leuchtungsanordnung 1 weist weiterhin auch eine Misch-Einheit 5 zum Er-
zeugen eines Mischlichts 5' aus dem Kunstlicht 3' und dem Sonnenlicht 4' auf,
sowie eine Verteil-Einheit 6 zum Verteilen des Mischlichts 5' und Beleuchten
15 der Pflanzen 2 mit dem verteilten Mischlicht 5'. Vorliegend weist die Verteil-
Einheit 6 auch mehrere Leucht-Einheiten 7 auf, durch welche das Mischlicht
homogen verteilt. Die Leucht-Einheiten 7 sind dabei vorliegend übereinander,
d. h. in y-Richtung übereinander, und jeweils (in y-Richtung) oberhalb der zu
beleuchtenden Pflanzen 2 angeordnet.

20

Die Beleuchtungsanordnung 1 weist auch eine Einstell-Einheit 8 zum Einstel-
len einer Eigenschaft des Mischlichts 5' auf. Dies erfolgt vorliegend mittelbar
dadurch, dass die Einstell-Einheit 8 die Kunstlicht-Einheit 3 und somit über das
(hier unmittelbar einstellbare) Kunstlicht 3' eine Eigenschaft wie beispielswei-
se eine spektrale Verteilung und/oder eine Intensität des Mischlichts 5' mit-
telbar einstellt. Da die Beleuchtungsanordnung 1 vorliegend auch eine Sen-
sor-Einheit 9 zum Detektieren einer spektralen Verteilung und/oder einer In-
tensität vorliegend des Mischlichts aufweist und die Einstell-Einheit 8 ausge-
bildet ist, die Eigenschaft des Mischlichts in Abhängigkeit der detektierten
spektralen Verteilung bzw. Intensität des Mischlichts einzustellen, also vorlie-
gend die Kunstlicht-Einheit 3 in Abhängigkeit der detektierten Spektralvertei-
lung bzw. Intensität zu steuern, wird im gezeigten Beispiel ein durch den
Ringpfeil 10 symbolisierter geschlossener Regelkreis realisiert. Dieser Regel-
35

5 kreis kann beispielsweise auch durch eine entsprechende Filter-Einheit zum optischen Filtern eines der Lichter 3', 4', 5' erweitert werden, wodurch dann nicht nur eine Ergänzung oder Supplementierung des Sonnenlichts 4' durch das Kunstlicht 3' realisiert werden kann, sondern auch ein Abdämpfen bestimmter spektraler Komponenten des Sonnenlichts 4' und damit auch des Mischlichts 5'.

10 Im gezeigten Beispiel ist die Einstell-Einheit 8 auch ausgebildet, die Eigenschaft des Mischlichts gemäß einer hinterlegten Vorschrift 11 einzustellen. Die hinterlegte Vorschrift 11 ist dabei vorliegend an die Art der Pflanzen 2 angepasst und kann dabei von einer Messgröße 12 abhängen, vorliegend einer Bodenfeuchtigkeit.

15