

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
28. Juni 2018 (28.06.2018)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2018/114259 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01N 21/55 (2014.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/080837

(22) Internationales Anmeldedatum:
29. November 2017 (29.11.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2016 226 033.2
22. Dezember 2016 (22.12.2016) DE

(71) Anmelder: DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT-
UND RAUMFAHRT E. V. [DE/DE]; Linder Höhe, 51147
Köln (DE).

(72) Erfinder: OFFERGELD, Matthias; Simrockstraße 33,
50823 Köln (DE). RÖGER, Marc; Haydnstraße 1, 74182
Obersulm (DE). STADLER, Hannes; Petternicher Straße
16, 52428 Jülich (DE).

(74) Anwalt: DOMPATENT VON KREISLER SELTING
WERNER - PARTNERSCHAFT VON PATENTAN-
WÄLTEN UND RECHTSANWÄLTEN MBB; Deich-
mannhaus am Dom, Bahnhofsvorplatz 1, 50667 Köln (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN,
KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,
NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,

(54) Title: METHOD FOR DETERMINING RELATIVE DEGREES OF REFLECTANCE OF AN ABSORBER SURFACE OF A
RECEIVER OF A SOLAR TOWER SYSTEM

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG VON RELATIVEN REFLEXIONSGRADEN EINER
ABSORBERFLÄCHE EINES RECEIVERS EINER SOLARTURMANLAGE

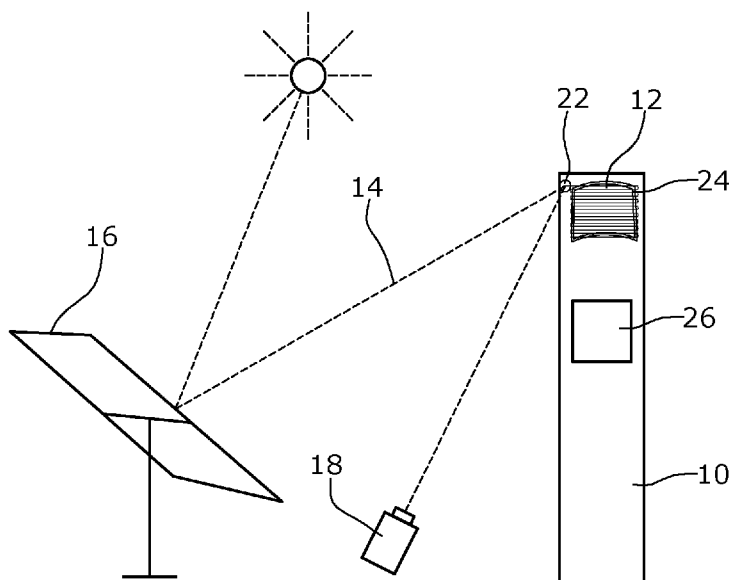


Fig.1

(57) Abstract: The invention relates to a method for determining relative degrees of reflectance of an absorber surface (12) of a receiver of a solar tower system, comprising the following steps: a) providing a light beam (14) directed onto the absorber surface (12), wherein a light spot (22) is created on the absorber surface (12); b) continuously or successively moving the light spot (22) over the absorber surface (12) along a predefined or random path (20); c) during step b), simultaneously capturing a plurality of images of the absorber surface (12) by means of at least one camera (18); d) determining a maximum grey-scale value $G_{i,max}$ for each absorber segment

SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

i of the absorber surface (12) previously divided into absorber segments in the images captured in step c); and e) determining the relative degree of reflectance for each absorber segment from the maximum grey-scale value $G_{i,max}$.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung beschreibt ein Verfahren zur Bestimmung von relativen Reflexionsgraden einer Absorberfläche (12) eines Receivers einer Solarturmanlage mit folgenden Schritten: a) Bereitstellen eines auf die Absorberfläche (12) gerichteten Lichtstrahlenbündels (14), wobei auf der Absorberfläche (12) ein Lichtfleck (22) entsteht, b) kontinuierliche oder schrittweise Bewegung des Lichtflecks (22) über die Absorberfläche (12) entlang einer vorgegebenen oder stochastischen Bahn (20), c) während Schritt b): gleichzeitige Aufnahme einer Vielzahl von Bildern der Absorberfläche (12) mittels mindestens einer Kamera (18), d) Bestimmen eines maximalen Grauwertes ($G_{i,max}$) für jedes Absorbersegment i der zuvor in Absorbersegmente unterteilten Absorberfläche (12) in den in Schritt c) aufgenommenen Bildern, e) Bestimmen des relativen Reflexionsgrades für jedes Absorbersegment aus den maximalen Grauwerten ($G_{i,max}$).

Verfahren zur Bestimmung von relativen Reflexionsgraden einer Absorberfläche eines Receivers einer Solarturmanlage

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung von relativen Reflexionsgraden einer Absorberfläche eines Receivers einer Solarturmanlage.

Bei Solarturmanlagen trifft Sonnenlicht auf eine Vielzahl von einzelnen Spiegeln, die sogenannten Heliostaten. Die Heliostaten werden ausgerichtet, so dass das Sonnenlicht auf den Receiver reflektiert wird, der sich an der Spitze eines Turmes befindet.

Das konzentrierte Sonnenlicht wird von dem Receiver absorbiert und in thermische Energie umgewandelt. Die somit entstehende Hochtemperaturwärme kann entweder direkt als Prozesswärme genutzt werden oder mithilfe eines Wärmekraftprozesses zur Stromerzeugung eingesetzt werden.

Kernstück des Receivers ist der sogenannte Absorber, der beispielsweise aus metallischen Rohrbündeln oder offenporigen keramischen Elementen bestehen kann. Am Absorber wird die konzentrierte Solarstrahlung in die thermische Energie umgewandelt. Die flächenbezogene Strahlungsleistung wird als Strahlungsflussdichte bezeichnet. Die Bestimmung der Strahlungsflussdichteverteilung an der Absorberoberfläche ist von großem Interesse, da zum einen über diese eine getrennte Bestimmung der Wirkungsgrade von Heliostatfeld und Receiver ermöglicht wird, was für die Abnahme von neu errichteten Solarturmanlagen sowie für die Weiterentwicklung von Heliostaten und Receiver von Bedeutung ist. Zum anderen ermöglicht die Bestimmung der Strahlungsflussdichteverteilung die Überwachung und Regelung der Strahlungsflussdichteverteilung für einen effizienten Betrieb der Solarturmanlage.

Zur Bestimmung der Strahlungsflussdichteverteilung kann die vom Absorber reflektierte Strahlung genutzt werden. Hierbei besteht die Schwierigkeit, dass bei einem derartigen Messansatz die Reflexionsgrade der einzelnen Abschnitte des Absorbers bekannt sein muss. Die Bestimmung der Reflexionsgrade stellt jedoch eine große Herausforderung dar.

Erste Ansätze für eine Strahlungsflussdichtebestimmung sehen daher vor, dass für einzelne Abschnitte des Absorbers, die als Absorbersegmente bezeichnet werden, relative Reflexionsgrade bestimmt werden, die sich auf einen Referenzwert beziehen. Der relative Reflexionsgrad gibt an, wie stark der Reflexionsgrad eines Segmentes von dem konstanten Referenzwert abweicht. Über einen Kalibrierungswert kann dann die Strahlungsflussdichte errechnet werden.

Für die Strahlungsflussdichtebestimmung ist somit insbesondere die Bestimmung des relativen Reflexionsgrades von Bedeutung.

Bei einem derartigen Ansatz besteht jedoch das Problem, dass über die Absorberoberfläche gesehen unterschiedliche relative Reflexionsgrade bestehen, die insbesondere durch Materialungleichmäßigkeiten und einer Abhängigkeit des Reflexionsgrades von der Einfallsrichtung der Strahlung und der Beobachtungsrichtung hervorgerufen werden.

Daher wurden erste Versuche durchgeführt, bei denen ein Materialkorrekturwert ermittelt wird, indem Messungen bei bewölktem Himmel durchgeführt werden.

Eine Richtungskorrektur kann beispielsweise über im Labor exemplarisch untersuchte Materialproben des Absorbermaterials mittels eines Gonioreflektometers erfolgen.

Unter anderem ist ein Problem dadurch gegeben, dass an Orten, an denen Solarturmanlagen angeordnet sind, zumeist nur an sehr wenigen Tagen im Jahr Bewölkung herrscht, so dass eine Messung für die Materialkorrektur nur schwierig durchführbar ist.

Die Richtungskorrektur über eine Labormessung kann zwar für die Materialprobe vergleichsweise genau sein, jedoch können Materialunregelmäßigkeiten oder sich über die Zeit durch Umwelteinflüsse veränderndes Material zu Abweichungen zwischen realem Absorber und Materialprobe hinsichtlich der Richtungsabhängigkeit des Reflexionsgrades führen.

Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein verbessertes Verfahren zur Bestimmung von relativen Reflexionsgraden für Absorber von Solarturmanlagen zu schaffen. Ferner sollte möglichst eine Richtungskorrektur über Labormessungen vermieden werden.

Die Erfindung ist definiert durch die Merkmale des Patentanspruchs 1.

Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Bestimmung von relativen Reflexionsgraden einer Absorberfläche eines Receivers einer Solarturmanlage sind folgende Schritte vorgesehen:

- a) Bereitstellen eines auf die Absorberfläche gerichteten Lichtstrahlenbündels, wobei auf der Absorberfläche ein Lichtfleck entsteht,
- b) kontinuierliche oder schrittweise Bewegung des Lichtflecks über die Absorberfläche entlang einer vorgegebenen oder stochastischen Bahn
- c) während Schritt b): gleichzeitige Aufnahme einer Vielzahl von Bildern der Absorberfläche mittels mindestens einer Kamera

- 4 -

- d) Bestimmen eines maximalen Grauwertes $G_{i,max}$ für jedes Absorbersegment i der zuvor in Absorbersegmente i unterteilten Absorberfläche in den in Schritt c) aufgenommenen Bildern
- e) Bestimmen des relativen Reflexionsgrades für jedes Absorbersegment i aus den maximalen Grauwerten $G_{i,max}$.

Dem erfindungsgemäßen Verfahren liegt die Erkenntnis zugrunde, dass die Strahlungsflussdichte, die während einer Bildaufnahme in Schritt c) auf ein Absorbersegment trifft, sich durch die Lichtfleckbewegung in Schritt b) über die Zeit ändert und zu einem bestimmten Zeitpunkt ihren Maximalwert erreicht. In den in Schritt c) aufgenommen Bildern ist somit ein Bild vorhanden, in dem die auf ein Absorbersegment auftreffende Strahlungsflussdichte dem Maximalwert oder annähernd dem Maximalwert entspricht. Dies ist durch den maximalen Grauwert $G_{i,max}$ wiedergegeben. Es wird ferner davon ausgegangen, dass die auf die einzelnen Absorbersegmente auftreffende maximale Strahlungsflussdichte annähernd konstant ist. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass die in Schritt d) bestimmten maximalen Grauwerte für jedes Absorbersegment durch die gleiche oder annähernd die gleiche maximale Strahlungsflussdichte hervorgerufen worden sind. Dadurch ist ferner sichergestellt, dass die bestimmten maximalen Grauwerte proportional zu den relativen Reflexionsgraden sind. Das erfindungsgemäße Verfahren ist somit von besonderem Vorteil gegenüber herkömmlichen Verfahren, bei denen Messungen bei Bewölkung vorgenommen werden, wobei keine gleiche oder annähernd gleiche Strahlungsflussdichte sichergestellt ist.

Durch die Bewegung des Lichtflecks über die Absorberfläche kann darüber hinaus erreicht werden, dass jedes Absorbersegment im Rahmen des Verfahrens mit der gleichen oder nahezu gleichen Strahlungsflussdichte bestrahlt worden ist und somit in den bestimmten relativen Reflexionsgraden bereits Materialunterschiede enthalten sind.

Das erfindungsgemäße Verfahren vereinfacht somit die Bestimmung der relativen Reflexionsgrade und verbessert die Genauigkeit bei der Bestimmung der relativen Reflexionsgrade.

Der Grauwert bezeichnet in der Bildverarbeitung nach allgemeiner Definition die scheinbare Helligkeit eines einzelnen Bildpunktes. Somit entspricht der Grauwert dem Signalwert eines Kamerasensors für einen Bildpunkt, so dass der Grauwert sowohl bei monochromen als auch farbigen Aufnahmen vorliegt. Unter Grauwert wird in diesem Zusammenhang somit nicht nur der Signalwert bei monochromen Aufnahmen, sondern auch einzelne Farbwerte oder Kombinationen von Farbwerte verstanden.

Der relative Reflexionsgrad wird ermittelt, indem der maximale Grauwert $G_{i,max}$ auf einen konstanten Referenzwert bezogen wird. Dies kann beispielsweise der Durchschnittswert der maximalen Grauwerte über die gesamte Absorberfläche sein.

Die Absorberfläche kann beispielsweise durch eine Vielzahl von Absorbermodulen gebildet sein. Dabei kann die Unterteilung der Absorberfläche so vorgesehen sein, dass jeweils ein Absorbermodul ein Absorbersegment bildet. Die Unterteilung kann auch so erfolgen, dass jeweils ein auf einem einzelnen Bildpixel abgebildetes Teilstück der Absorberfläche ein Absorbersegment bildet.

Vorzugsweise ist vorgesehen, dass das auf die Absorberfläche gerichtete Lichtstrahlenbündel von einem Heliostaten reflektierte solare oder künstliche Strahlung ist. Somit kann einer der Heliostaten der Solarturmanlage für die Bereitstellung des Lichtstrahlenbündels dienen. Als Strahlenquelle für das Lichtstrahlenbündel kann die Sonne dienen oder auch eine künstliche Lichtquelle, die beispielsweise an dem Turm der Solarturmanlage angeordnet ist.

Der vorrichtungstechnische Aufwand für die Durchführung des Verfahrens kann somit gering gehalten werden.

Heliostaten weisen darüber hinaus bereits einen sehr genauen Antrieb auf, so dass mittels eines Heliostaten eine sehr genaue Führung zur Erzeugung der kontinuierlichen oder schrittweisen Bewegung des Lichtflecks über die Absorberfläche in Schritt b) erfolgen kann.

Der Heliostat kann auch ein zusätzlicher Heliostat der Solarturmanlage sein. Grundsätzlich kann mittels des Heliostaten das Lichtstrahlenbündel fokussiert werden. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, dass ein nicht fokussiertes Lichtstrahlenbündel mittels des Heliostaten auf die Absorberfläche gerichtet wird, was zu einem Lichtfleck mit einer gleichmäßigeren Strahlungsflussdichteverteilung führt. Es besteht auch die Möglichkeit, dass einer der Heliostaten der Solarturmanlage einen Zusatzspiegel aufweist, über den das Lichtstrahlenbündel auf die Absorberfläche reflektiert wird. Der Zusatzspiegel kann als fokussierender oder nicht fokussierender Spiegel ausgeführt sein.

Die Verwendung einer künstlichen Lichtquelle hat den Vorteil, dass das erfindungsgemäße Verfahren auch nachts durchgeführt werden kann, wodurch der Anlagenbetrieb am Tage nicht beeinträchtigt wird und Störeinflüsse durch Umgebungslicht vermieden wird.

Grundsätzlich besteht auch die Möglichkeit, dass das Lichtstrahlenbündel durch eine künstliche Strahlungsquelle hervorgerufen wird und direkt, das heißt ohne Heliostat, auf die Absorberfläche gerichtet wird. Bei einem derartigen Verfahren ist jedoch ein erhöhter Aufwand für die künstliche Lichtquelle, die mobil ausgebildet sein kann, notwendig.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann grundsätzlich vorgesehen sein, dass die kontinuierliche oder schrittweise Bewegung des Lichtflecks über die Absorberfläche in Schritt b) durch eine Verstellung des Heliostaten erfolgt.

Bei einem Verfahren, bei dem reflektierte solare Strahlung für die Bereitstellung des Lichtstrahlenbündels verwendet wird, kann vorgesehen sein, dass während den Schritten b) und c) die Direktnormalstrahlung (DNI) zur Bestimmung von DNI-Werten gemessen wird, wobei bei der Bestimmung der maximalen Grauwerte $G_{i,max}$ in Schritt d) eine Normierung mittels der DNI-Werte erfolgt. Somit kann eine höhere Genauigkeit bei dem erfindungsgemäßen Verfahren erreicht werden, da aufgrund von Veränderungen der DNI hervorgerufene Änderungen der maximalen Strahlungsflussdichte, die in dem Lichtfleck vorliegen, berücksichtigt werden. Die Änderung der DNI kann beispielsweise durch eine Veränderung des Sonnenstandes oder eventuell eine leichte Bewölkung bei der Messung hervorgerufen werden.

Beispielsweise können die bestimmten DNI-Werte den in Schritt c) aufgenommenen Bildern zugeordnet werden. Dies kann beispielsweise direkt oder mittels eines Zeitstempels erfolgen.

In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass bei der Bestimmung der maximalen Grauwerte $G_{i,max}$ in Schritt d) in jedem Bild für jedes Absorbersegment ein über die Fläche des Absorbersegments gemittelter Grauwert G_i bestimmt wird und anschließend aus allen Bildern jedes Absorbersegments der größte Grauwert G_i als maximaler Grauwert $G_{i,max}$ für das jeweilige Absorbersegment bestimmt wird.

Alternativ kann vorgesehen sein, dass bei der Bestimmung der maximalen Grauwerte $G_{i,max}$ in Schritt d) aus allen Bildern für jedes Pixel ein maximaler Pixelgrauwert $G_{p,max}$ bestimmt wird und aus diesen maximalen Pixelgrauwerten $G_{p,max}$ ein neues Bild erstellt wird. Anschließend kann in dem neuen Bild eine Mittelung der maximalen Pixelgrauwerte $G_{p,max}$ jeweils über die Fläche der Absorbersegmente erfolgen, wobei die gemittelten Werte jeweils als maximaler Grauwert $G_{i,max}$ für das jeweilige Absorbersegment bestimmt werden.

Ein derartiges Verfahren hat gegenüber dem alternativen Verfahren, bei dem die maximalen Grauwerte über die gemittelten Grauwerte in jedem Bild bestimmt werden, den Vorteil, dass ein geringerer Aufwand bei der Bildverarbeitung besteht. Das Verfahren, bei dem über die maximalen Pixelgrauwerte die maximalen Grauwerte der Absorbersegmente ermittelt werden, hat jedoch den Nachteil, dass die einzelnen Pixel einem Absorbersegment genau zugeordnet sein müssen. Bei mehreren Aufnahmen hintereinander besteht daher eine Empfindlichkeit gegenüber einer Bewegung der Kamera, beispielsweise durch ein Wackeln der Kamera. Eventuelle Kamerabewegungen zwischen den Aufnahmen können jedoch über entsprechende Bildverschiebungen ausgeglichen werden.

Vorzugsweise ist vorgesehen, dass ein Korrekturbild der Absorberfläche ohne Bestrahlung mit dem Lichtbündel erstellt wird und Grauwerte in dem Korrekturbild ermittelt werden, wobei bei der Bestimmung der maximalen Grauwerte $G_{i,max}$ in Schritt d) eine Korrektur mittels der Grauwerte des Korrekturbildes erfolgt. Bei einer Aufnahme des Korrekturbildes der Absorberfläche ohne Bestrahlung mit dem Lichtbündel wird das Hintergrundlicht von der Absorberfläche reflektiert und in dem Korrekturbild aufgenommen. Somit kann über diesen Verfahrensschritt bei der Bestimmung der maximalen Grauwerte Hintergrundlicht eliminiert werden. Dadurch kann die Genauigkeit bei der Bestimmung der relativen Reflexionsgrade erhöht werden.

Vorzugsweise ist vorgesehen, dass für jedes der Absorbersegmente ein Einfallswinkels β_i des Lichtstrahlenbündels auf das Absorbersegment bestimmt wird, wobei bei der Bestimmung der maximalen Grauwerte $G_{i,max}$ in Schritt d) eine Korrektur über den Einfallswinkel β_i erfolgt. Der Einfallswinkel β_i kann beispielsweise vorher rechnerisch ermittelt werden, beispielsweise aus der Geometrie des Heliostats und der Absorbergeometrie. Die Annahme einer konstanten maximalen Strahlungsflussdichte, die die maximalen Grauwerte $G_{i,max}$ hervorrufen, gilt nur für Flächen, die orthogonal zur Bestrahlungsrichtung angeordnet sind. Durch eine Korrektur über den Einfallswinkel β_i , die üblicherweise

über einen Faktor $\cos \beta_i$ erfolgt, kann eine von einer orthogonalen Bestrahlungsrichtung abweichende Bestrahlungsrichtung berücksichtigt werden.

Dadurch ist das erfindungsgemäße Verfahren von höherer Genauigkeit und auch für beispielsweise gekrümmte Absorberflächen geeignet.

Vorzugsweise ist vorgesehen, dass vor, bei oder nach der kontinuierlichen oder schrittweisen Bewegung des Lichtflecks über die Absorberfläche in Schritt b) der Lichtfleck auf einen die Absorberfläche umgebenden Strahlenschutz gelenkt wird, wobei Bilder des Strahlenschutzes aufgenommen werden, wobei über einen Vergleich der Bilder des Strahlenschutzes eine Ortsabhängigkeit der Strahlungsflussdichteverteilung des Lichtflecks vom Ort auf der Absorberfläche ermittelt wird und wobei bei der Bestimmung der maximalen Grauwerte $G_{i,\max}$ in Schritt d) eine Korrektur über die ermittelte Ortsabhängigkeit erfolgt.

Es hat sich herausgestellt, dass sich die Strahlungsflussdichteverteilung im Lichtfleck während der Bewegung des Lichtflecks über die Absorberfläche verändert. Dies ist beispielsweise dadurch begründet, dass ein das Lichtstrahlenbündel reflektierender Heliostat seine relative Ausrichtung zur Sonne oder einer künstlichen Lichtquelle verändert und zum anderen die Distanz zwischen Heliostat und dem Auftreffbereich des Lichtstrahlenbündels auf der Absorberfläche variiert. Der die Absorberfläche umgebende Strahlenschutz ist in unmittelbarer örtlicher Nähe zu den Randbereichen der Absorberfläche, so dass Rückschlüsse auf die Abhängigkeit der maximalen Strahlungsflussdichte vom Ort des Lichtflecks gezogen werden können.

Vorzugsweise ist vorgesehen, dass in Schritt b) die Bahn mäanderförmig ist. Beispielsweise kann der Lichtfleck zeilenweise, d.h. in horizontalen Bahnabschnitten, über die Absorberfläche geführt werden. Grundsätzlich kann der Lichtfleck auch in anderen Mäanderformen bewegt werden, wie beispielsweise in einer spaltenweisen Bewegung, d.h. in vertikalen Bahnabschnitten. Die Bahn kann auch eine vollständig andere Form aufweisen, wie beispielsweise

eine Spiralform. Grundsätzlich können auch Teile der Bahn außerhalb der Absorberfläche verlaufen.

Grundsätzlich kann auch vorgesehen sein, dass bei der kontinuierlichen oder schrittweisen Bewegung des Lichtflecks über die Absorberfläche entlang einer vorgegebenen Bahn in Schritt b) das Lichtstrahlenbündel auf einige Abschnitte der Absorberfläche oder auf die komplette Absorberfläche zweifach oder mehrfach gelenkt wird. Mit anderen Worten: Einige Abschnitte können mehrfach bestrahlt werden. Grundsätzlich besteht auch die Möglichkeit, dass der Lichtfleck mehrfach die komplette Absorberfläche überfährt. Dadurch können Umwelteinflüsse, die beispielsweise durch Wind oder vor der Kamera vorbeifliegende Tiere verursacht werden, eliminiert werden. Beispielsweise können bei einer mäanderförmigen Bahn zunächst eine zeilenweise Bewegung des Lichtflecks und anschließend eine spaltenweise erfolgen.

Zur Eliminierung von Störeinflüssen durch Tiere kann auch vorgesehen sein, dass für jedes Absorbersegment neben dem maximalen Grauwert $G_{i,max}$ die x größten Grauwerte aus allen Bildern bestimmt werden, wobei x beispielsweise eine ganze Zahl zwischen 5 und 10 ist. Durch Vergleich dieser größten Grauwerte kann festgestellt werden, ob es durch Tiere verursachte „Ausreißer“ der Grauwerte gibt. Derartige Werte werden dann bei der Maximalwertbildung nicht berücksichtigt.

Es kann vorgesehen sein, dass bei der kontinuierlichen oder schrittweisen Bewegung des Lichtflecks über die Absorberfläche in Schritt b) die zu Beginn von dem Lichtstrahlenbündel bestrahlten Abschnitte der Absorberfläche am Ende erneut bestrahlt werden und dass über einen Vergleich der zu Beginn und am Ende aufgenommene Bilder eine Sonnenstandabhängigkeit der maximalen Strahlungsflussdichte des Lichtflecks ermittelt wird, wobei bei der Bestimmung der maximalen Grauwerte $G_{i,max}$ in Schritt d) eine Korrektur für alle Abschnitte der Absorberfläche über die ermittelte Sonnenstandabhängigkeit und eine zeitliche Interpolation der ermittelten Sonnenstandabhängigkeit erfolgt.

Während der Bewegung des Lichtflecks über die Absorberfläche ändert sich der Sonnenstand. Wenn die Zeitdauer für die Schritte b) und c) vergleichsweise groß ist, beispielsweise mehrere Minuten, kann der sich ändernde Sonnenstand einen Einfluss auf die Strahlungsflussdichteverteilung in dem Lichtfleck haben. Durch die Ermittlung der Sonnenstandabhängigkeit kann dieser Effekt bei der Bestimmung der maximalen Grauwerte berücksichtigt werden.

Der Reflexionsgrad der Absorberfläche weist eine deutliche Abhängigkeit sowohl von der Einfallsrichtung des Lichtstrahlenbündels als auch von der Beobachtungsrichtung, die durch die Kameraposition und die Absorbergeometrie vorgegeben ist, auf. Um diese Richtungsabhängigkeit zu berücksichtigen, kann vorgesehen sein, dass Richtungskorrekturwerte anhand des Absorbermaterials bestimmt werden. Dies kann grundsätzlich über eine Vermessung einer Materialprobe, beispielsweise in einem Gonioreflektometer, erfolgen. Über diese Richtungskorrekturwerte können zusätzliche relative Reflexionsgrade für verschiedene Richtungen ermittelt werden. Über die relativen Reflexionsgrade für verschiedene Richtungen kann beispielsweise die Genauigkeit der Bestimmung einer Strahlungsflussdichteverteilung erhöht werden.

In einer besonders bevorzugten Variante des Verfahrens ist vorgesehen, dass die Schritte a) bis c) wiederholt werden, wobei bei jeder Wiederholung das auf die Absorberfläche gerichtete Lichtstrahlenbündel von einer anderen Position in einem Heliostatfeld der Solarturmanlage bereitgestellt wird. Beispielsweise können für die Schritte a) bis c) unterschiedliche Heliostaten eingesetzt werden. Dadurch, dass das Lichtstrahlenbündel von unterschiedlichen Positionen auf die Absorberfläche gerichtet wird, ist zwangsläufig eine unterschiedliche Einfallsrichtung der Strahlung bzw. Beobachtungsrichtung des Absorbersegments in Bezug auf die Einfallsrichtung der Strahlung gegeben, wodurch die zuvor beschriebene Richtungsabhängigkeit der relativen Reflexionsgrade der Absorberfläche berücksichtigt wird. Somit kann auf eine Bestimmung von Richtungskorrekturwerten mittels eines Gonioreflektometers ver-

zichtet werden. Die sich anschließenden Schritte d) und e) können nach jeder Wiederholung durchgeführt werden, wobei dann für die in dem zuletzt durchgeführten Schritt c) aufgenommenen Bilder die maximalen Grauwerte und entsprechend die relativen Reflexionsgrade für die Absorberfläche bestimmt werden. Auch ist es beispielsweise möglich, dass zunächst alle oder ein Teil der Wiederholungen der Schritte a) bis c) erfolgt und dann die Schritte d) und e) durchgeführt werden und für alle in den wiederholt durchgeführten Schritten c) aufgenommenen Bilder die maximalen Grauwerte und entsprechend die relativen Reflexionsgrade für verschiedene Richtungen für die Absorberfläche bestimmt werden.

Die Heliostaten einer Solarturmanlage weisen zumeist Unterschiede auf, so dass Unterschiede in den jeweils durch die Heliostaten hervorgerufenen Lichtflecken und auch Unterschiede bei der maximalen Strahlungsflussdichte der Lichtflecke bestehen.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann daher vorsehen, dass für die Durchführung des Verfahrens nur Heliostaten verwendet oder vorgesehen werden, die eine vergleichbare maximale Strahlungsflussdichte besitzen. Hierbei kann vorgesehen sein, dass für die Auswahl der für die Wiederholung verwendeten oder vorgesehenen Heliostaten eine Vielzahl der Heliostaten nacheinander auf ein Target gerichtet werden, wobei ein Bild oder Bilder mittels der Kamera und/oder einer zweiten Kamera von dem Target aufgenommen werden, wobei diese Bilder zur Bestimmung der relativen maximalen Strahlungsflussdichte im Lichtfleck der Heliostaten ausgewertet werden und als die für die Wiederholungen verwendeten oder vorgesehenen Heliostaten Heliostaten mit vergleichbarer maximaler Strahlungsflussdichte ausgewählt werden. Unter vergleichbarer maximaler Strahlungsflussdichte wird hierbei verstanden, dass diese entweder identisch sind oder minimale Unterschiede aufweisen. Somit sind die bei der Bestrahlung der Absorberfläche mittels der unterschiedlichen Heliostaten aufgenommenen Bilderreihen in vorteilhafter Weise vergleichbar, so dass eine sehr genaue Bestimmung der relativen Reflexionsgrade möglich ist. Mittels des

genannten Verfahrensschritts können auch Unterschiede bei der relativen maximalen Strahlungsflussdichte festgestellt werden, die dann bei der Bestimmung der maximalen Grauwerte $G_{i,max}$ korrigiert werden können.

Grundsätzlich besteht auch die Möglichkeit, dass Heliostaten unabhängig von ihrer maximalen Strahlungsflussdichte ausgewählt werden, sondern anhand beispielsweise anderer Kriterien wie Ort des Heliostats im Feld oder Qualität des Heliostats.

In diesem Fall kann vorgesehen sein, dass die für die Wiederholungen verwendeten oder vorgesehenen Heliostaten nacheinander auf ein Target gerichtet werden, wobei ein Bild oder Bilder mittels der Kamera oder einer zweiten Kamera aufgenommen werden, wobei diese Bilder zur Bestimmung der relativen maximalen Strahlungsflussdichte in den Lichtflecken der Heliostaten ausgewertet werden und bei der Bestimmung der maximalen Grauwerte $G_{i,max}$ in Schritt d) eine Korrektur über den Unterschied der relativen maximalen Strahlungsflussdichte in den Lichtflecken der Heliostaten erfolgt. Somit wird die Genauigkeit der Bestimmung der relativen Reflexionsgrade erhöht und es können auch Heliostaten anhand anderer Bewertungskriterien als eine vergleichbare maximale Strahlungsflussdichte eingesetzt werden.

Als Target für die Bestimmung der maximalen Strahlungsflussdichte im Lichtfleck können separate Targets, die an dem Turm der Solarturmanlage angeordnet sind, der Strahlenschutz, der die Absorberfläche umgibt oder auch die Turmfassade eingesetzt werden. Der Reflexionsgrad des Targets sollte ein möglichst geringe Richtungsabhängigkeit aufweisen. Vorzugsweise wird ein gekrümmtes Target verwendet, um unter Umständen den Einfluss der Richtungsabhängigkeit des Reflexionsgrades des Targets abzuschwächen.

Es besteht auch die Möglichkeit, dass ein bewegliches Target zum Einsatz kommt. Dieses kann für die Bestimmung der maximalen Strahlungsflussdichte des Lichtflecks für jeden Heliostaten genau ausgerichtet werden, so dass die

Einfallsrichtung des Strahlenbündels bei diesen Bestimmungen stets konstant ist. Als zweite Kamera kann beispielsweise auch eine mobile Kamera verwendet werden, um bei der Bildaufnahme der Lichtflecke der unterschiedlichen Heliostaten stets eine konstante Beobachtungsrichtung zu gewährleisten.

Das Bild oder die Bilder für die Bestimmung der maximalen Strahlungsflussdichte im Lichtfleck kann bzw. können unmittelbar vor oder nach der Bewegung des Lichtflecks in Schritt b) erstellt werden. Die Bilder können auch während einer Bewegung des Lichtflecks über das Target aufgenommen werden. Es besteht auch die Möglichkeit, dass der Lichtfleck auf dem Target kurzzeitig stehen bleibt und ein einzelnes Bild aufgenommen wird. Bei der Bildaufnahme der Lichtflecken der verschiedenen Heliostaten sollten die Lichtflecke möglichst exakt auf dieselbe Stelle auf dem Target ausgerichtet werden können, so dass vergleichbare Ergebnisse erzielt werden.

Bei dem Einsatz einer zweiten Kamera als mobile Kamera kann auf die Bestrahlung eines Targets verzichtet werden. Die Position der mobilen Kamera während Schritt c) wird für jeden einzelnen eingesetzten Heliostaten immer so angepasst, dass es für jeden Heliostaten einen Bereich der Absorberfläche gibt, in dem zuvor definierte Einstrahlungs- und Beobachtungsrichtungen vorliegen. Beispielsweise kann die mobile zweite Kamera immer in unmittelbarer Nähe des verwendeten Heliostaten aufgestellt werden. Bei den Aufnahmen der mobilen zweiten Kamera kann beispielsweise immer der Bereich des Absorbers mit den vorgegebenen Einstrahlungs- und Beobachtungsrichtungen betrachtet werden. Durch eine Mittelung der Werte über die einzelnen Absorbersegmente innerhalb dieses Bereichs können individuelle Schwankungen zwischen Absorbersegmenten kompensiert werden. Die Abweichungen zwischen den Absorbersegmenten sind ein Maß für die maximale Strahlungsflussdichte im Lichtfleck des Heliostaten.

Es besteht auch die Möglichkeit, dass ein Radiometer im Bereich der Absorberfläche installiert ist und dass aus Strahlungsflussdichtewerten, die während

des Verfahrensschritts b) vom Radiometer aufgezeichnet werden, der Maximalwert bestimmt wird.

Zusätzlich kann der Einfallswinkel der Strahlung von jeweiligen Heliostaten auf die Radiometerfläche berücksichtigt werden. Auch über die Messergebnisse des Radiometers können die Unterschiede der maximalen Strahlungsflussdichte in den Lichtflecken der Heliostaten bestimmt werden.

Weitere Methoden hierfür sind möglich, beispielsweise ray tracing-Simulationen, basierend auf Heliostatformmessungen, z. B. über Deflektometrie oder Photogrammetrie.

Es besteht auch die Möglichkeit, dass ein Vergleich einer gemessenen und einer simulierten Receiverintrittsleistung (Strahlungsleistung auf Absorberfläche) verwendet wird, um Unterschiede bei der maximalen Strahlungsflussdichte im Lichtfleck der Heliostaten zu ermitteln. Hierbei kann der Lichtfleck eines für die Schritte a) und b) eingesetzten Heliostaten so positioniert werden, dass er vollständig oder mit größtmöglichem Anteil auf die Absorberfläche trifft. Durch Integration der gemessenen Strahlungsflussdichteleistung über die Absorberfläche erhält man die gemessene Receiverintrittsleistung. Zusätzlich kann die Receiverintrittsleistung simuliert werden. Sofern die unterschiedlichen Strahlungsflussdichtemaxima in den Lichtflecken der eingesetzten Heliostaten noch nicht kompensiert worden sind, besteht in der Regel eine Diskrepanz zwischen der gemessenen und simulierten Receiverintrittsleistung. Diese Diskrepanz ist bei verschiedenen verwendeten Heliostaten in der Regel unterschiedlich groß, so dass ein Maß für die maximale Strahlungsflussdichte im Lichtfleck der Heliostaten vorliegt. Aus dem Verhältnis der gemessenen und der simulierten Strahlungsflussdichte kann ein Korrekturfaktor bestimmt werden, über den somit eine Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Heliostaten gewährleistet werden kann.

Anhand eines Beispiels wird der zuletzt genannte Schritt erläutert:

Zwei beispielhafte Heliostaten A und B sind an unterschiedlichen Positionen angeordnet und weisen unterschiedliche Strahlungsflussdichtemaxima in ihren Lichtflecken auf. Sowohl mit Heliostat A als auch für Heliostat B sind die Verfahrensschritte a) bis e) durchgeführt worden, um relative Reflexionsgrade zu ermitteln. Es ist angenommen, dass ein Kalibrierungsfaktor nur für Strahlung aus Richtung des Heliostaten A bestimmt ist. Bestrahlt man die Absorberfläche nun mit Heliostat A und vergleicht die gemessene und die simulierte Receivereintrittsleistung, so besteht kein signifikanter Unterschied zwischen diesen beiden Größen. Verwendet man nun stattdessen den Heliostaten B, so ändern sich die relativen Reflexionsgrade, nicht aber der Kalibrierungsfaktor. Während der Verfahrensschritt a) bis d) mit Heliostat B erscheint ein Absorbersegment mit einem anderen Grauwert als mit Heliostat A. Dies ist u.a. dadurch begründet, dass sich die maximalen Grauwerte proportional zum Unterschied der maximalen Strahlungsflussdichte in den Lichtflecken der Heliostaten B und A ändern. Gäbe es diesen Unterschied nicht und die Strahlungsflussdichtemaxima in den Lichtflecken der Heliostaten A und B wären identisch, so würden sich die gemessene und die simulierte Receivereintrittsleistung auch bei Heliostat B nicht signifikant voneinander unterscheiden. Da aber von einem Unterschied der Strahlungsflussdichtemaxima auszugehen ist, kommt es in gleichem Maße zu einer Abweichung zwischen der gemessenen und der simulierten Receivereintrittsleistung bei Heliostat B. Aus dem Verhältnis zwischen gemessener und simulierter Receivereintrittsleistung kann ein Korrekturfaktor ermittelt werden, durch den die unterschiedlichen Strahlungsflussdichtemaxima in den Lichtflecken der beiden Heliostaten A und B kompensiert werden können.

Die Erfindung sieht ferner ein Verfahren zur Strahlungsflussdichtebestimmung zur Bestimmung der Strahlungsflussdichteverteilung auf Absorberflächen eine Solarturmanlage vor, bei dem in einem ersten Schritt das erfindungsgemäße Verfahren zur Bestimmung relativer Reflexionsgrade durchgeführt wird und

anschließend mittels der bestimmten relativen Reflexionsgrade der Absorbersegmente die Strahlungsflussdichte bestimmt wird.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird im Folgenden anhand der nachfolgenden Figuren erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Solarturmanlage

Fig. 2 eine schematische Darstellung der Absorberfläche des Receiverturmes

Die Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines Receiverturmes 10 einer Solarturmanlage, beispielsweise eines Solarturmkraftwerks. Wie schematisch dargestellt ist, wird eine Absorberfläche 12 durch ein Lichtstrahlbündel 14 bestrahlt. Das Lichtstrahlbündel 14 wird durch einen Heliostat 16 der Solarturmanlage bereitgestellt, indem dieser solare Strahlung reflektiert. Eine Kamera 18 nimmt Bilder der Absorberfläche 12 während der Bestrahlung mittels des Lichtstrahlbündels 14 auf. Das Lichtstrahlbündel 14 erzeugt einen Lichtfleck 22, der, wie am besten aus Fig. 2 hervorgeht, entlang einer vorgegebenen Bahn 20 über die Absorberfläche 12 gelenkt wird. Die Bahn ist in dem in Fig. 2 dargestellten Ausführungsbeispiel mäanderförmig ausgebildet.

Die Absorberfläche 12 ist in mehrere Absorbersegmente unterteilt. Für jedes Absorbersegment wird ein maximaler Grauwert in den aufgenommenen Bildern bestimmt. Aus den maximalen Grauwerten für die Absorbersegmente können jeweils relative Reflexionsgrade bestimmt werden.

Die Unterteilung der Absorberfläche 12 in Absorbersegmente kann grundsätzlich beliebig vorgenommen werden. Ein Receiver einer Solarturmanlage kann eine Vielzahl von Absorbermodulen aufweisen, die die Absorberfläche 12 bilden. Die Unterteilung der Absorberfläche 12 in Absorbersegmente kann grund-

sätzlich so vorgesehen sein, dass jeweils ein Absorbermodul ein Absorbersegment bildet.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann eine Vielzahl von Korrekturen der maximalen Grauwerte vorgenommen werden, um die Genauigkeit der Bestimmung der relativen Reflexionsgrade zu erhöhen. Diese können, wie zuvor beschrieben worden ist, Korrekturen durch eine Normierung mittels zuvor bestimmter DNI-Werte sein. Auch besteht die Möglichkeit, dass ein Einfallswinkel β_i des Lichtstrahlenbündels auf das Absorbersegment bestimmt wird, um somit eine Korrektur über den Einfallswinkel vorzunehmen.

Ferner kann eine Ortsabhängigkeit der Strahlungsflussdichteverteilung des Lichtflecks bestimmt werden. Hierzu kann der Lichtfleck auf einen die Absorberfläche 12 umgebenden Strahlenschutz 24 gelenkt werden. Der Strahlenschutz 24 wird in den Fign. 1 und 2 schematisch als Rahmen um die Absorberfläche 12 dargestellt.

Der Lichtfleck 22 kann auch mehrfach über die Absorberfläche 12 gelenkt werden. Beispielsweise kann die in Fig. 2 dargestellte Bahn 20, die eine horizontale, also zeilenweise Mäanderform aufweist, anschließend in einer vertikalen, also spaltenweisen Mäanderform fortgeführt werden. Ferner kann eine Sonnenstandsabhängigkeit der Strahlungsflussdichteverteilung des Lichtflecks ermittelt werden, um hierüber die maximalen Grauwerte zu korrigieren. Hierzu kann die zu Beginn der mäanderförmigen Bahn bestrahlten Absorbersegmente nach Beendigung nochmals bestrahlt werden und die zu Beginn und am Ende aufgenommenen Bilder werden verglichen. Daraus kann auf eine Sonnenstandsabhängigkeit geschlossen werden.

Das Verfahren kann auch mit mehreren Heliostaten 16 durchgeführt werden, die nacheinander ein Strahlenbündel 14 auf die Absorberfläche 12 strahlen.

Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren, bei dem mehrere Heliostaten 16 eingesetzt werden, können, um die maximale Strahlungsflussdichte der durch die einzelnen Heliostaten 16 erzeugten Lichtflecke 22 bestimmen zu können, die Strahlenbündel 14 auf ein Target 26, das beispielsweise unterhalb der Absorberfläche 12 an dem Receiverturm 10 angeordnet ist, gerichtet werden, so dass der Lichtfleck 22 auf diesem Target 26 angeordnet ist. Hiervon werden mittels der Kamera 18 Bilder aufgenommen, wobei diese Bilder der Lichtflecken der unterschiedlichen Heliostaten verglichen werden, um Unterschiede in der relativen maximalen Strahlungsflussdichte der Heliostaten festzustellen. Hierüber kann ebenfalls eine Korrektur bei der Bestimmung erfolgen.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann insbesondere in einem Verfahren zur Strahlungsflussdichtebestimmung zur Bestimmung der Strahlungsflussdichteverteilung auf Absorberflächen 12 einer Solarturmanlage 10 eingesetzt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung von relativen Reflexionsgraden einer Absorberfläche (12) eines Receivers einer Solarturmanlage mit folgenden Schritten:
 - a) Bereitstellen eines auf die Absorberfläche (12) gerichteten Lichtstrahlenbündels (14), wobei auf der Absorberfläche (12) ein Lichtfleck (22) entsteht,
 - b) kontinuierliche oder schrittweise Bewegung des Lichtflecks (22) über die Absorberfläche (12) entlang einer vorgegebenen oder stochastischen Bahn (20)
 - c) während Schritt b): gleichzeitige Aufnahme einer Vielzahl von Bildern der Absorberfläche (12) mittels mindestens einer Kamera (18)
 - d) Bestimmen eines maximalen Grauwertes $G_{i,max}$ für jedes Absorbersegment i der zuvor in Absorbersegmente i unterteilten Absorberfläche (12) in den in Schritt c) aufgenommenen Bildern
 - e) Bestimmen des relativen Reflexionsgrades für jedes Absorbersegment i aus den maximalen Grauwerten $G_{i,max}$.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das auf die Absorberfläche (12) gerichtete Lichtstrahlenbündel (14) von einem Heliostaten (16) reflektierte solare oder künstliche Strahlung ist.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die kontinuierliche oder schrittweise Bewegung des Lichtflecks (22) über die Absor-

berfläche (12) in Schritt b) durch eine Verstellung des Heliostaten (16) erfolgt.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass während den Schritten b) und c) die Direktnormalstrahlung zur Bestimmung von DNI-Werten gemessen wird, wobei bei der Bestimmung der maximalen Grauwerte $G_{i,max}$ in Schritt d) eine Normierung mittels der DNI-Werte erfolgt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Bestimmung der maximalen Grauwerte $G_{i,max}$ in Schritt d) in jedem Bild für jedes Absorbersegment ein über die Fläche des Absorbersegments gemittelter Grauwert G_i bestimmt wird und anschließend aus allen Bildern jedes Absorbersegments der größte Grauwert G_i als maximaler Grauwert $G_{i,max}$ bestimmt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Bestimmung der maximalen Grauwerte $G_{i,max}$ in Schritt d) aus allen Bildern für jedes Pixel ein maximaler Pixelgrauwert $G_{p, max}$ bestimmt wird und aus diesen maximalen Pixelgrauwerten $G_{p, max}$ ein neues Bild erstellt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass in dem neuen Bild eine Mittelung der maximalen Pixelgrauwerten $G_{p, max}$ jeweils über die Fläche des Absorbersegments erfolgt und der gemittelte Wert als maximaler Grauwert $G_{i,max}$ für das jeweilige Absorbersegment festgelegt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass ein Korrekturbild der Absorberfläche ohne Bestrahlung mit dem Lichtbündel (14) erstellt wird und Grauwerte in dem Korrekturbild ermittelt werden, wobei bei der Bestimmung der maximalen Grauwerte

$G_{i,max}$ in Schritt d) eine Korrektur mittels der Grauwerte des Korrekturbildes erfolgt.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass für jedes der Absorbersegmente ein Einfallswinkel β_i des Lichtstrahlenbündels auf das Absorbersegment bestimmt wird, wobei bei der Bestimmung der maximalen Grauwerte $G_{i,max}$ in Schritt d) eine Korrektur über den Einfallswinkel β_i erfolgt.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass vor, bei oder nach der kontinuierlichen oder schrittweisen Bewegung des Lichtflecks (22) über die Absorberfläche in Schritt b) der Lichtfleck auf einen die Absorberfläche (12) umgebenden Strahlenschutz (24) gelenkt wird, wobei Bilder des Strahlenschutzes (24) aufgenommen werden, wobei über einen Vergleich der Bilder des Strahlenschutzes (24) eine Ortsabhängigkeit der Strahlungsflussdichteverteilung des Lichtflecks (22) vom Ort auf der Absorberfläche (12) ermittelt wird und wobei bei der Bestimmung der maximalen Grauwerte $G_{i,max}$ in Schritt d) eine Korrektur über die ermittelte Ortsabhängigkeit erfolgt.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt b) die Bahn (20) mäanderförmig oder spiralförmig ist.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass bei der kontinuierlichen oder schrittweisen Bewegung des Lichtflecks über die Absorberfläche (12) in Schritt b) das Lichtstrahlenbündel (14) auf einige Abschnitte der Absorberfläche (12) oder auf die komplette Absorberfläche (12) zweifach oder mehrfach gelenkt wird.
13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass bei der kontinuierlichen oder schrittweisen Bewegung des Lichtflecks (22) über die Absorberfläche (12) in Schritt b) die zu Beginn von dem Lichtstrah-

lenbündel (14) bestrahlten Abschnitte der Absorberfläche (12) am Ende erneut bestrahlt werden und dass über einen Vergleich der zu Beginn und am Ende aufgenommenen Bilder eine Sonnenstandabhängigkeit der maximalen Strahlungsflussdichte des Lichtflecks (22) ermittelt wird, wobei bei der Bestimmung der maximalen Grauwerte $G_{i,max}$ in Schritt d) eine Korrektur für alle Abschnitte der Absorberfläche (12) über die ermittelte Sonnenstandabhängigkeit und eine zeitliche Interpolation der ermittelten Sonnenstandabhängigkeit erfolgt.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Schritte a) bis c) wiederholt werden, wobei bei jeder Wiederholung das auf die Absorberfläche (12) gerichtete Lichtstrahlenbündel (14) von einem anderen Heliostaten (16) reflektierte solare oder künstliche Strahlung ist.
15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass zur Auswahl der für die Wiederholungen verwendeten oder vorgesehenen Heliostaten (16) eine Vielzahl der Heliostaten (16) nacheinander auf ein Target (26) gerichtet werden, wobei ein Bild oder Bilder mittels der Kamera (18) oder einer zweiten Kamera aufgenommen werden, wobei diese Bilder zur Bestimmung der relativen maximalen Strahlungsflussdichte in den Lichtflecken (22) der Heliostaten (16) ausgewertet werden und als die für die Wiederholungen verwendeten oder vorgesehenen Heliostaten (16) Heliostaten (16) mit vergleichbarer maximaler Strahlungsflussdichte ausgewählt werden.
16. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass für die Wiederholungen verwendete oder vorgesehene Heliostaten (16) nacheinander auf ein Target (26) gerichtet werden, wobei ein Bild oder Bilder mittels der Kamera (18) oder einer zweiten Kamera aufgenommen werden, wobei diese Bilder zur Bestimmung der relativen maximalen Strahlungsflussdichte in den Lichtflecken (22) der Helios-

taten (16) ausgewertet werden und bei der Bestimmung der maximalen Grauwerte $G_{i,max}$ in Schritt d) eine Korrektur über Unterschiede der relativen maximalen Strahlungsflussdichte in den Lichtflecken (22) der Heliostaten (16) erfolgt.

17. Verfahren zur Strahlungsflussdichtebestimmung zur Bestimmung der Strahlungsflussdichteverteilung auf eine Absorberfläche (12) einer Solarturmanlage, wobei in einem ersten Schritt das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16 durchgeführt wird und anschließend mittels der bestimmten relativen Reflexionsgrade der Absorbersegmente die Strahlungsflussdichteverteilung bestimmt wird.

-1/1-

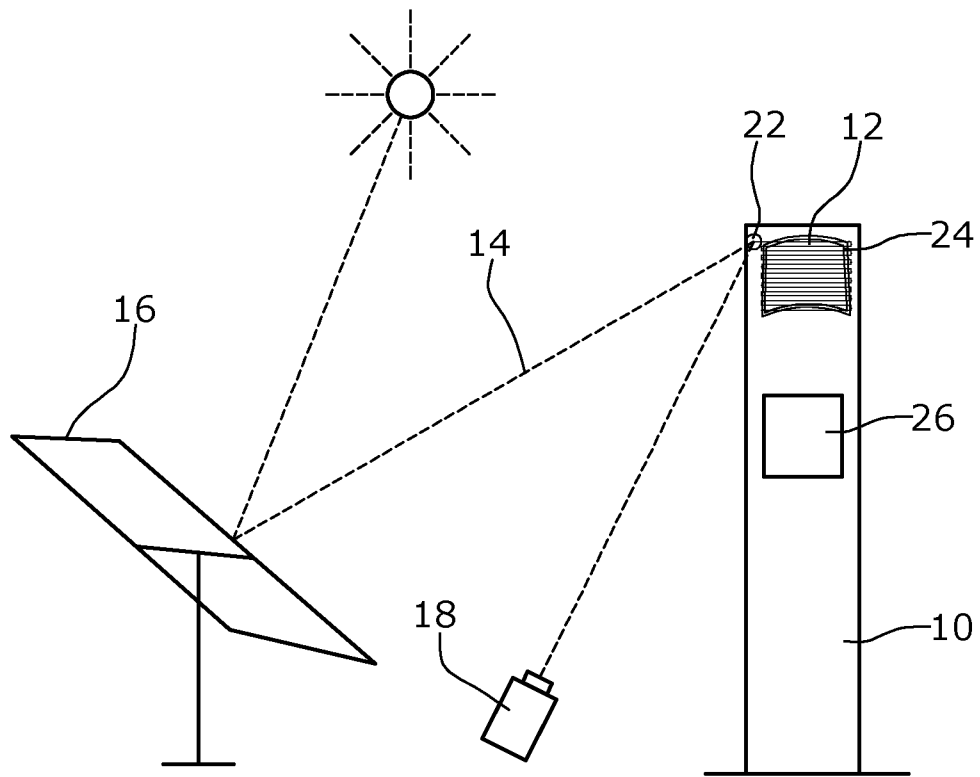


Fig.1

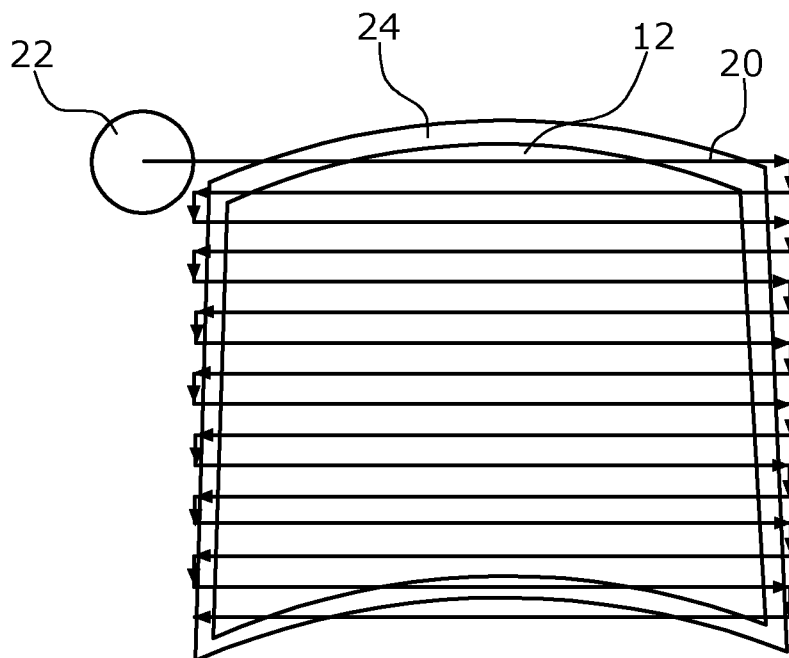


Fig.2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/080837A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01N21/55
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	L. BARTELMMESS ET AL: "Characterization of High Temperature Solar Thermal Selective Absorber Coatings at Operation Temperature", ENERGY PROCEDIA, vol. 49, 17 September 2013 (2013-09-17), pages 2070-2079, XP055448615, NL ISSN: 1876-6102, DOI: 10.1016/j.egypro.2014.03.219 Zusammenfassung; Abschnitte 2. und 2.2; Fig. 2 ----- -/--	1



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 February 2018

Date of mailing of the international search report

26/02/2018

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Weinberger, Thorsten

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/080837

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	TUQUABO TESHAMICHAEL ET AL: "Angular solar absorptance of absorbers used in solar thermal collectors", APPLIED OPTICS, vol. 38, no. 19, 1 July 1999 (1999-07-01), pages 4189-6050, XP055448616, WASHINGTON, DC; US ISSN: 0003-6935, DOI: 10.1364/AO.38.004189 Abschnitte 1. und 2. -----	1
A	CHRISTOPH PRAHL ET AL: "Air-borne shape measurement of parabolic trough collector fields", AIP CONFERENCE PROCEEDINGS, vol. 1850, 11 October 2016 (2016-10-11), - 14 October 2016 (2016-10-14), pages 020013-1, XP055448690, NEW YORK, US ISSN: 0094-243X, DOI: 10.1063/1.4984338 Zusammenfassung; Abschnitt "Introduction"; the whole document -----	1
A	ULMER S, HEINZ B, POTTIER K, LÜPFERT E: "Slope Error Measurements of Parabolic Troughs Using the Reflected Image of the Absorber Tube", JOURNAL OF SOLAR ENERGY ENGINEERING, vol. 131, 1 February 2009 (2009-02-01), pages 011014-1-011014-4, XP9503364, Zusammenfassung; Abschnitt "Introduction"; figure 1 -----	1
A	DE 10 2013 104710 A1 (WERTH MESSTECHNIK GMBH [DE]) 7 November 2013 (2013-11-07) abstract -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/080837

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102013104710 A1	07-11-2013	NONE	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G01N21/55
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G01N

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	L. BARTELMLESS ET AL: "Characterization of High Temperature Solar Thermal Selective Absorber Coatings at Operation Temperature", ENERGY PROCEDIA, Bd. 49, 17. September 2013 (2013-09-17), Seiten 2070-2079, XP055448615, NL ISSN: 1876-6102, DOI: 10.1016/j.egypro.2014.03.219 Zusammenfassung; Abschnitte 2. und 2.2; Fig. 2 ----- -/-	1



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

12. Februar 2018

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

26/02/2018

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Weinberger, Thorsten

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	TUQUABO TESHAMICHAEL ET AL: "Angular solar absorptance of absorbers used in solar thermal collectors", APPLIED OPTICS, Bd. 38, Nr. 19, 1. Juli 1999 (1999-07-01), Seiten 4189-6050, XP055448616, WASHINGTON, DC; US ISSN: 0003-6935, DOI: 10.1364/AO.38.004189 Abschnitte 1. und 2. -----	1
A	CHRISTOPH PRAHL ET AL: "Air-borne shape measurement of parabolic trough collector fields", AIP CONFERENCE PROCEEDINGS, Bd. 1850, 11. Oktober 2016 (2016-10-11), - 14. Oktober 2016 (2016-10-14), Seiten 020013-1, XP055448690, NEW YORK, US ISSN: 0094-243X, DOI: 10.1063/1.4984338 Zusammenfassung; Abschnitt "Introduction"; das ganze Dokument -----	1
A	ULMER S, HEINZ B, POTTIER K, LÜPFERT E: "Slope Error Measurements of Parabolic Troughs Using the Reflected Image of the Absorber Tube", JOURNAL OF SOLAR ENERGY ENGINEERING, Bd. 131, 1. Februar 2009 (2009-02-01), Seiten 011014-1-011014-4, XP9503364, Zusammenfassung; Abschnitt "Introduction"; Abbildung 1 -----	1
A	DE 10 2013 104710 A1 (WERTH MESSTECHNIK GMBH [DE]) 7. November 2013 (2013-11-07) Zusammenfassung -----	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/080837

Im Recherchenbericht
angeführtes Patentdokument

Datum der
Veröffentlichung

Mitglied(er) der
Patentfamilie

Datum der
Veröffentlichung

DE 102013104710 A1 07-11-2013 KEINE
