

(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
20. November 2014 (20.11.2014)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2014/184295 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G06T 7/60 (2006.01) G06T 7/00 (2006.01)
G06K 9/00 (2006.01) G06T 17/20 (2006.01)

90762 Fuerth (DE). **KOSTKA, Günther**; David-Morgenstern-Weg 7a, 91056 Erlangen (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2014/059949

(74) **Anwälte: ZINKLER, Franz** et al.; Postfach 246, 82043 Pullach (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:
15. Mai 2014 (15.05.2014)

(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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, 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.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2013 209 109.5 16. Mai 2013 (16.05.2013) DE

(71) **Anmelder: FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.** [DE/DE]; Hansastraße 27c, 80686 München (DE).

(72) **Erfinder: SCHMITT, Peter**; Vogelherd 60, 91058 Erlangen (DE). **UHRMANN, Franz**; Dorfstr. 4, 91056 Erlangen (DE). **KUBE, Matthias**; Sommerstrasse 11,

(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** DEVICE AND METHOD FOR THE PARAMETERISATION OF A PLANT

(54) **Bezeichnung :** VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUM PARAMETRISIEREN EINER PFLANZE

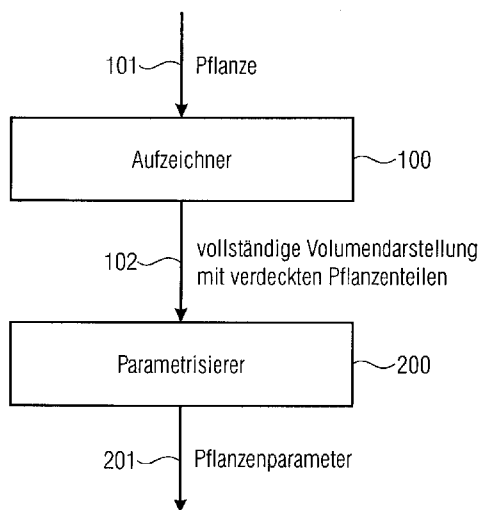


FIG 1

(57) **Abstract:** The invention relates to a device for the parameterisation of a plant (101), comprising a recorder (100) for recording a three-dimensional data set (102) of said plant which comprises not just the volume elements of uncovered plant elements but also the volume elements of plant elements which are covered by other elements, as well as a parameterisation unit (200) for the parameterisation of the three-dimensional data set in order to obtain plant parameters (201).

(57) **Zusammenfassung:** Eine Vorrichtung zum Parametrisieren einer Pflanze (101) umfasst einen Aufzeichner (100) zum Aufzeichnen eines dreidimensionalen Datensatzes (102) der Pflanze, der nicht nur Volumenelemente von unverdeckten Elementen der Pflanze, sondern auch Volumenelemente von durch andere Elemente verdeckten Elementen der Pflanze aufweist, und einen Parametrisierer (200) zum Parametrisieren des dreidimensionalen Datensatzes, um Pflanzenparameter (201) zu erhalten.

- 101 Plant
- 100 Recorder
- 102 Complete volume representation comprising covered plant sections
- 200 Parameterisation unit
- 201 Plant parameter

WO 2014/184295 A1



GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, 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)*
- *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)*

Vorrichtung und Verfahren zum Parametrisieren einer Pflanze

Beschreibung

5

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf die Erfassung von Pflanzen und insbesondere auf die Parametrisierung von Pflanzen für die Agrartechnik.

10

Die Erfassung von Pflanzen ist in der Agrartechnik von Bedeutung, wobei hier die sogenannte Phänotypisierung von Pflanzen zu nennen ist. Für die dreidimensionale Erfassung von Objekten sind verschiedene Verfahren gebräuchlich, wie beispielsweise Streifenlichtverfahren oder Lichtschnittverfahren. Diese Verfahren bieten eine hohe räumliche dreidimensionale Auflösung. Sie sind jedoch bezüglich der Beleuchtung auf definierte Umgebungsbedingungen angewiesen. Beim Streifenlichtverfahren müssen nacheinander verschiedene Lichtmuster auf das Objekt projiziert werden, während beim Lichtschnittverfahren zu einem gegebenen Zeitpunkt nur eine Höhenlinie erfasst wird. Das Objekt muss also zur dreidimensionalen Erfassung abgescannt werden.

15

20

Eine Parameterextraktion und insbesondere eine modellbasierte Parameterextraktion sind besonders zur Phänotypisierung von Pflanzen nötig. Als Phänotypisierung wird die Ableitung einer strukturellen Beschreibung aus dem Erscheinungsbild einer Pflanze bezeichnet. Die Phänotypisierung ist aktuell Forschungsgegenstand in der modernen Agrarwissenschaft, da sie mittlerweile ein wichtiges Werkzeug in landwirtschaftlichen Bereichen, wie der Pflanzenzucht oder dem Pflanzenbau darstellt.

25

30

35

Zur Phänotypisierung sind zwei Schritte notwendig. Der erste Schritt besteht in der Erfassung. Zunächst erfasst ein Messsystem die strukturellen Eigenschaften einer Pflanze quantitativ. Für die schnelle automatisierte Aufnahme der Pflanzenstruktur eignen sich bildgebende Verfahren, wobei insbesondere für die Erfassung der Oberflächengeometrie einer Pflanze meist aktive oder passive typischerweise optische 3D-Erfassungsverfahren eingesetzt werden. Darunter fallen beispielsweise Laserlichtschnitt- oder Time-Of-Flight-Sensorsysteme bzw. stereoskopische Systeme mittels optischer Kameras. Der zweite Schritt besteht in der Merkmalsextraktion. Die gemessenen Werte entsprechen in der Regel nicht anschaulichen Merkmalen der Pflanzenstruktur. Im zweiten Schritt findet deshalb eine Transformation der Messwerte in relevante Merkmale statt. Da die erfasste Datenmenge im Allgemeinen sehr groß ist, findet in diesem Schritt üblicherweise eine Datenreduktion statt. Für die Ableitung komplexer Blattparameter aus einer gemessenen Punktwolke eignet sich aufgrund der flexiblen Anpassung an verschiedene Anwendungszwecke

eine modellbasierte Merkmalsextraktion. Diese Parameter können beispielsweise dafür herangezogen werden, um die Auswirkungen in einer Veränderung am Genom der Pflanze auf deren Erscheinungsbild zu beschreiben.

- 5 In der EP2422297B1 ist ein Konzept dargestellt, bei dem eine Pflanze dreidimensional in Farbe erfasst wird und anschließend ein Blattmodell an die Messdaten angepasst wird. Das Blattmodell wird durch eine Anzahl von Parametern beschrieben. Die bei der Anpassung des Modells an die Messdaten berechneten Parameter dienen der Beschreibung der Pflanze. Hierdurch kann beispielsweise die Auswirkung einer Veränderung des Genoms der Pflanze auf die Wuchsform der Pflanze parametrisch beschrieben werden.

- 10 Beim Einsatz der bildgebenden optischen Messmethoden zur Erfassung der 3D-Struktur ist es problematisch, dass nur der optisch zugängliche Teil der Pflanze erfasst werden kann. Objektbereiche, die durch andere Teile verdeckt werden, können optisch nicht erfasst werden. Dies ist besonders bei der Erfassung von Pflanzen unerwünscht, da sich Blätter oft gegenseitig verdecken, wie es insbesondere bei dichtem Blattstand oder dicht bestockter Pflanzenstruktur vorkommt.

- 20 Fehlende Objektbereiche führen zu falschen Messwerten. Beispielsweise entspricht die ermittelte Blattfläche einer nur teilweise erfassten Pflanze nicht der tatsächlichen Blattfläche. Zum anderen macht eine nur teilweise erfasste Pflanze den Einsatz von komplexen Merkmalsextraktionsverfahren unter Verwendung eines modellbasierten Ansatzes unmöglich, wenn diese auf Vorbedingungen über vollständig erfasste Blätter aufbauen. Wirken sich beispielsweise Änderungen am Genom der Pflanze nur auf diejenigen Blätter aus, die optisch nicht zugänglich sind, kann der Einfluss der Änderung des Genoms auf die Wuchsform mit dieser Vorgehensweise nicht erfasst werden.

- 30 Generell kann man sagen, dass eine vollständige Erfassung mit optischen Mitteln bei Pflanzen, die nicht aus sehr wenigen Blättern bestehen, aufgrund von unvermeidbaren Verdeckungen unmöglich ist.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein verbessertes Konzept zum Parametrisieren einer Pflanze zu schaffen.

- 35 Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung zum Parametrisieren einer Pflanze nach Patentanspruch 1, ein Verfahren zum Parametrisieren einer Pflanze nach Patentanspruch 11 oder ein Computerprogramm nach Patentanspruch 12 gelöst.

Die vorliegende Erfindung basiert auf der Erkenntnis, dass im Gegensatz zu unvollständigen optischen Erfassungen ein dreidimensionaler Datensatz der Pflanze zu erfassen ist, der nicht nur Volumenelemente von nach außen sichtbaren Elementen der Pflanze, sondern auch Volumenelemente von verdeckten Elementen der Pflanze aufweist. Zu diesem Zweck können beispielsweise computertomographische Verfahren, wie beispielsweise Röntgen-CT-Verfahren oder die Magnetresonanztomographie eingesetzt werden. Hierdurch wird die Pflanze vollständig erfasst, und die dabei entstehenden Messdaten beschreiben Einzelelemente, wie beispielsweise Blätter, Stiele, Zweige, Stämme, Blüten oder Früchte der Pflanze vollständig, unabhängig davon, ob das entsprechende Einzelelement durch ein anderes Einzelelement der Pflanze verdeckt worden ist oder nicht. Damit kann in einer anschließenden z.B. modellbasierten Parameterextraktion auch für verdeckte Teile der Pflanze eine korrekte Parametrisierung zur Beschreibung der Wuchsform der Pflanze durchgeführt werden.

Da die Röntgen-Computertomographie beispielsweise auf Röntgendurchstrahlungsbildern beruht, können Strukturen einer Pflanze, die optisch verdeckt sind, erfasst werden. Ähnliches gilt für die Magnetresonanztomographie und für andere Durchstrahlungsverfahren bzw. andere dreidimensionale vollständige Erfassungsverfahren. Es hat sich herausgestellt, dass die Röntgen-Computertomographie erlaubt, mittels einer geeigneten Konfiguration pflanzliche Strukturen kontrastreich und detailliert im Röntgenbild abzubilden, so dass die pflanzlichen Strukturen in der dreidimensionalen Rekonstruktion mittels eines Prozessors, der die verschiedenen Schichtbilder aufarbeitet, gut vom Hintergrund, der beispielsweise Luft ist, getrennt werden können.

Darüber hinaus wird es bevorzugt, die Parameterextraktion mittels modellbasierter Extraktion unter Verwendung eines allgemeinen oder speziellen Blattmodells durchzuführen, wobei ein allgemeines Blattmodell nicht für eine spezielle Blattform maßgeschneidert ist, während ein spezielles Blattmodell z.B. durch Vorwissen über die untersuchte Pflanze zusätzlich geprägt ist. So haben z.B. Tomaten einerseits oder Rüben andererseits deutlich unterschiedliche Blattformen, und daher kann es von Vorteil sein, wenn es von vorherein bekannt ist, dass die untersuchte Pflanze z.B. eine Tomate ist, das für Tomaten geeignete Blattmodell zu verwenden, während dann, wenn von vorherein bekannt ist, dass die zu untersuchende Pflanze eine Rübe ist, das Blattmodell für Rüben eingesetzt wird. Die modellbasierte Merkmalsextraktion ist darüber hinaus vorteilhaft, da sie den hohen Detailgrad der dreidimensionalen vollständigen Datenbeschreibung berücksichtigen kann, um vielfältige und präzise Blattmerkmale zu extrahieren. Zum anderen liefert dieses Konzept auch bei wenig detaillierten Messdaten zuverlässige Blattmerkmale. Wenige detaillierte Messdaten können z.B. dadurch erhalten werden, dass eine Computertomographie mit Röntgen-

strahlen durchgeführt wird, bei denen die auf die Pflanze ausgestrahlte Röntgendosis relativ reduziert ist, z. B. wenn eine geringere Ortsauflösung gewählt wird.

Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird daher für die Gewinnung der Computertomographie-Daten ein Einsatz von Röntgenkameras mit entsprechend grober Pixelauflösung bevorzugt. Hierdurch kann die zur Gewinnung der Messdaten erforderliche Strahlungsdosis stark reduziert werden. Dies kann erforderlich sein, um insbesondere bei mehrfachen Messungen, z.B. zur Ermittlung des zeitlichen Verlaufs des Pflanzenwachstums eine Schädigung der Pflanzen durch die Röntgenstrahlung zu vermeiden. Eine Schädigung der Pflanze durch Röntgenstrahlung könnte sich auf das zu beobachtende Pflanzenwachstum auswirken, was zu vermeiden ist. Eine besonders niedrige Strahlungsdosis kann beispielsweise beim Einsatz von Röntgenkameras erreicht werden, bei denen ein Szintillatorschirm vorhanden ist, der die Röntgenstrahlung in sichtbares Licht wandelt, wobei das sichtbare Licht des Szintillatorschirms auf eine oder mehrere CCD-Kameras abgebildet wird. Durch analoges oder digitales Binning, also durch analoge oder digitale Addition benachbarter Pixelinformationen zu einem Superpixel kann die zur Bildgewinnung erforderliche Strahlungsdosis unter entsprechendem Verlust an Ortsauflösung stark reduziert werden. Nachdem CCD-Kameras jedoch eine sehr hohe Auflösung haben, ist eine Auflösungsreduktion der CCD-Kameras z.B. um den Faktor 10 oder um den Faktor 20 sehr unproblematisch, insbesondere wenn dann anschließend mittels modellbasierter Parameterextraktion die Pflanzenparameter gewonnen werden, zumal Vorwissen über die Pflanze bzw. die Pflanzenblätter bereits im zur Parameterextraktion verwendeten Modell Eingang gefunden hat.

Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird die dreidimensionale Pflanzenstruktur zunächst durch ein Röntgen-CT-System oder durch ein Magnetresonanztomographie-System erfasst. Dann wird der volumetrische Datensatz in eine Wolke von dreidimensionalen Punkten umgewandelt, indem beispielsweise mittels des Marching-Cubes-Verfahrens oder eines alternativen Verfahrens, wie beispielsweise eines Schwellwertverfahrens eine explizite Isoflächendarstellung der Pflanzenoberfläche extrahiert wird. Bei einem weiteren Schritt werden dann die dreidimensionalen Punkte der Wolke von dreidimensionalen Punkten in Einzelelemente, wie beispielsweise Einzelblätter segmentiert, beispielsweise durch Finden von Punktclustern. Dies ist insbesondere bei der vollständig erfassten 3D-Rekonstruktionsdarstellung, die nicht nur die optisch zugänglichen, sondern auch die verdeckten Strukturen umfasst, wesentlich genauer und einfacher möglich als bei unvollständig erfassten Oberflächendaten. In einem weiteren Schritt werden dann die Blattparameter mittels eines generellen oder bereits für die einzelne Pflanze angepassten Modells extrahiert.

Weitere bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen dargestellt.

5 Nachfolgend werden Bezug nehmend auf die beiliegenden Zeichnungen Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung detailliert erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Blockdiagramm der Vorrichtung zum Parametrisieren einer Pflanze;

10 Fig. 2a ein Blockdiagramm einer bevorzugten Implementierung des Aufzeichners von Fig. 1;

Fig. 2b eine Darstellung eines bevorzugten Aufbaus der Röntgen-Kamera von Fig. 2a;

15 Fig. 3 ein Blockschaltbild einer bevorzugten Implementierung des Parametrisierers von Fig. 1;

Fig. 4 eine bevorzugte Anwendung der extrahierten Parameter am Beispiel eines Phänotypisierers;

20

Fig. 5 eine bevorzugte Implementierung des Segmentierers von Fig. 3;

Fig. 6 eine bevorzugte Implementierung des Einzelement-Modell-Anpassers von Fig. 3;

25

Fig. 7a eine Darstellung der dreidimensionalen Punktwolke der Pflanzenoberfläche, wie sie z.B. durch den Punktwolkenumwandler von Fig. 3 erhalten wird;

Fig. 7b eine vergrößerte Polygondarstellung eines Blatts, wie es durch den Punktwolkenumwandler von Fig. 3 erhalten wird, wenn dieser das Marching-Cubes-Verfahren anwendet; und

30

Fig. 8 eine zweidimensionale Darstellung einer CT-Volumendarstellung, also einer vollständigen Volumendarstellung mit verdeckten Strukturen einer Pflanze, wie sie von dem Aufzeichner von Fig. 1 beispielsweise erhalten wird.

35

Fig. 1 zeigt eine Vorrichtung zum Parametrisieren einer Pflanze. Ein Aufzeichner 100 ist ausgebildet, um einen dreidimensionalen Datensatz einer Pflanze 101 aufzuzeichnen. Der

dreidimensionale Datensatz hat nicht nur Volumenelemente von nach außen bzw. optisch sichtbaren Elementen der Pflanze, sondern umfasst auch Volumenelemente von verdeckten Elementen der Pflanze. Der dreidimensionale Datensatz erfasst somit nicht nur eine Darstellung unverdeckter Elemente der Pflanze, sondern auch Volumenelemente von durch
5 andere Pflanzenelemente verdeckten Elementen der Pflanze. Dieser Datensatz wird auch als vollständiger Datensatz bezeichnet.

Diese vollständige Volumendarstellung, die z.B. als Voxel-Gitter gegeben sein kann, wobei jedes Voxel sowohl eine dreidimensionale Koordinate bezogen auf eine Ursprungskoordinate als auch wenigstens einen oder mehrere Intensitätswerte aufweist, wird dann in
10 einen Parametrisierer 200 eingespeist, der ausgebildet ist, um den dreidimensionalen Datensatz, beispielsweise das Voxel-Gitter zu parametrisieren, um Pflanzenparameter 201 zu erhalten. Die vollständige Volumendarstellung, also die Volumendarstellung 102 mit unverdeckten und verdeckten Pflanzenteilen wird also durch den Parametrisierer 200 in
15 Pflanzenparameter 201 umgewandelt. Damit wird die für die Phänotypisierung beispielsweise nötige Datenreduktion auf relevante Pflanzenparameter erreicht. Wenn beispielhaft davon ausgegangen wird, dass der Aufzeichner eine Volumendarstellung mit 1000 Elementen in der Länge, 1000 Elementen in der Breite und 1000 Elementen in der Höhe liefert, so hat die Volumendarstellung 10^9 Voxel. Wenn ferner z.B. davon ausgegangen wird,
20 dass die Pflanze 10 Blätter umfasst, und für jedes der 10 Blätter z.B. 10 Parameter gewonnen werden, so werden aus den 1 Milliarde Voxeln am Ausgang des Blocks 100 von Fig. 1 lediglich 100 Parameterwerte am Ausgang des Blocks 200.

Fig. 2a zeigt eine Implementierung des Aufzeichners 100 von Fig. 1. Insbesondere ist der
25 Aufzeichner 100 von Fig. 1 ausgebildet, um ein Röntgen-CT-Verfahren oder ein Magnetresonanztomographie-Verfahren auszuführen, um die dreidimensionale Volumendarstellung zu erhalten. Hier liefert ein Röntgen- oder MRT-System 110 die Volumendarstellung 102 bzw. 111 in Fig. 2b. Die Volumendarstellung hat einzelne Volumenelemente, wobei jedes Volumenelement eine Koordinate bezogen auf ein und denselben Ursprung und vorzugsweise nur eine einzige Intensität aufweist. Fig. 2b zeigt eine bevorzugte Implementierung einer Röntgenkamera 110 von Fig. 2a. Die Röntgenkamera umfasst eine Röntgenquelle 113, die Röntgenstrahlen 114 durch eine Pflanze 101 hindurch strahlt. Die Röntgenstrahlen gelangen auf einen Szintillatorschirm 10. Die Kamera umfasst ferner einen Kameraträger 12 mit einem Array von Kamerabefestigungen 14. Die Kamerabefestigungen sind ausgebildet, um in einer Kamerabefestigung eine Einzelkamera 16 befestigen
35 zu können. Vorzugsweise ist der Kameraträger 12 als Platte mit in einem vorbestimmten Muster angeordneten Bohrungen ausgebildet, wobei an jeder Bohrung z.B. eine Justierschraube vorgesehen ist, um eine zylindrische Kamera, deren Durchmesser etwas kleiner

als der Durchmesser der Bohrung ist, in die Bohrung einzusetzen und mittels einer Justierschraube zu justieren. Alternative Möglichkeiten sind ebenfalls verwendbar, beispielsweise Kameraträger mit leicht konischen Bohrungen, um Einzelkameras mit einem leicht konischen Außendurchmesser in den konischen Bohrungen zu platzieren, so dass keine Justierschrauben oder sonstige Befestigungen nötig sind, da lediglich der Einpressdruck der Kamera in den Kameraträger ausreichend ist.

Die Kamera umfasst ein Array von optischen Einzelkameras 16, wobei jede optische Einzelkamera an einer zugeordneten Kamerabefestigung 14 angebracht ist. Jede Einzelkamera umfasst ferner einen Lichtsensor und vorzugsweise eine Optikabbildungseinrichtung, wobei der Lichtsensor und die Optikabbildungseinrichtung wirksam sind, um eine Teilfläche der Schirmfläche des Schirms 10 mit einer bestimmten Auflösung aufzunehmen. Jede Einzelkamera 16 liefert somit ein Einzelbild mit einer bestimmten Auflösung.

Es sei darauf hingewiesen, dass Optikanordnungen beliebig umgesetzt werden können. Aus Kostengründen wird als Optikanordnung eine Linsenanordnung bevorzugt, die je nach Ausführung eine oder mehrere Linsen umfassen kann. Alternative Optikanordnungen umfassen Spiegelanordnungen, Fiberoptiken, etc. oder auch eine Kombination verschiedener optischer Abbildungseinrichtungen.

Die Kamera umfasst ferner eine Bildverarbeitungseinrichtung 18 zum Bearbeiten der digitalen Einzelbilder des Arrays von optischen Einzelkameras 16, um die optische Aufnahme des Schirms mit der vorbestimmten Gesamtauflösung zu erzeugen. Im Einzelnen ist die Bildverarbeitungseinrichtung 18 wirksam, um die digitalen Einzelbilder einer Korrektur zu unterziehen, um Ausrichtungsungenauigkeit und/oder Parameterschwankungen in dem Array von optischen Einzelkameras 16 zu reduzieren und vorzugsweise komplett zu eliminieren. Für die Korrektur eines Einzelbildes wird bei einer Kalibrierung, die einer Aufnahme vorausgeht, eine bestimmte Korrekturvorschrift 20 verwendet, die typischerweise in der Bildverarbeitungseinrichtung 18 auf einem geeigneten Speichermedium abgespeichert ist oder sogar fest verdrahtet ist. So findet die Korrektur mit der bei der Kalibrierung bestimmten Vorschrift mit einer Korrekturauflösung statt, die höher als die vorbestimmte Gesamtauflösung der am Ende gewünschten optischen Gesamtaufnahme ist, und die niedriger oder gleich der Einzelaufklärung ist, mit der die optischen Einzelkameras Einzelbilder liefern, obgleich dies nicht wesentlich ist. Die Bildverarbeitungseinrichtung ist schließlich wirksam, um korrigierte Einzelbilder oder ein korrigiertes Gesamtbild zu erhalten. Das Zusammensetzen der Einzelbilder zu dem Gesamtbild kann somit nach der Korrektur der Einzelbilder mit der für jedes Einzelbild, d.h. heißt für jede Einzelkamera bestimmten Korrekturvorschrift stattfinden. Am Ausgang der Bildverarbeitungseinrichtung 18 wird somit

nach der CT- bzw. MRT-Rekonstruktion eine Volumenaufnahme mit allen Informationen, also auch mit den verdeckten Strukturen erhalten. Es wird bei dieser Implementierung ausgenutzt, dass durch den Einsatz mehrerer Kameras die zur Verfügung stehenden Bildelemente (Pixel) proportional zur Anzahl der Kameras wachsen. Häufig wird jedoch keine
5 größere Pixelanzahl benötigt als diejenige, die eine einzige Kamera liefern würde. Werden nunmehr beispielsweise vier optische Kameras eingesetzt, können in diesem Fall jeweils vier Pixel aufaddiert werden. Besonders vorteilhaft ist dies, wenn die Ladung bereits auf dem Sensor aufaddiert werden kann, wie es bei CCD-Sensoren durch das sogenannte analoge Binning geschieht. In diesem Fall muss die Ladung nur einmal elektronisch ausgelesen werden, und es entsteht somit nur einmal das durch diesen Vorgang erzeugte elektronische Rauschen. Damit wird das insgesamt Signal/Rausch-Verhältnis besser, als wenn jedes Pixel einzeln ausgelesen wird und digital addiert wird.
10

Aufgrund der Tatsache, dass das Signal/Rausch-Verhältnis durch das analoge Binning wesentlich erhöht wird, kann damit die Dosis der Röntgenquelle 113 reduziert werden, um wiederum zu einem geforderten Signal/Rausch-Verhältnis am Ausgang der Einzelkameras, die ein analoges Binning durchführen, um aus einzelnen Pixeln örtlich schlecht aufgelöstes Superpixel zu erhalten.
15

Die einzelnen CCD-Kameras haben somit eine hohe Auflösung. Nach dem analogen Binning wird eine niedrigere Auflösung erhalten, jedoch mit einem stark verbesserten Signal/Rausch-Verhältnis, so dass die Strahlendosis der Röntgenquelle 113 entsprechend reduziert werden kann, um insbesondere dann, wenn mehrere Aufnahmen der Pflanze nötig sind, die Pflanzen zu schonen bzw. sicherzustellen, dass eine Schädigung der Pflanze durch die Röntgenstrahlung im Hinblick auf das zu beobachtende Pflanzenwachstum ausgeschlossen wird.
20
25

Bei dem in Fig. 2b gezeigten Ausführungsbeispiel, das insgesamt die Röntgenkamera 110 darstellt, ist der Schirm 10 ein Szintillator-Schirm, in dem Röntgenlicht in sichtbares Licht umgewandelt wird. Hinter dem Szintillator-Schirm 10 befindet sich das Array der Einzelkameras 16, wobei jede Einzelkamera jeweils einen Teil des Szintillator-Schirms aufnimmt bzw. abbildet. Für spezielle Aufgaben, bei denen gewöhnlich eine Zeilenkamera eingesetzt wird, degeneriert das Array von optischen Einzelkameras zu einem eindimensionalen Array, das eine lineare Anordnung optischer Einzelkameras umfasst. Die von den einzelnen optischen Kameras abgebildeten Bereiche können entweder unmittelbar aneinander angrenzen oder überlappen sich geringfügig, um den Justage-Aufwand, der typischerweise auf mechanischer Seite anfallen wird, zu reduzieren. Haben die Teilbilder bzw. Einzelbilder eine Überlappung, so wird es bevorzugt, eine elektronische Korrektur durchzuführen,
30
35

wie es bereits dargestellt worden ist. Bezüglich weiteren Ausgestaltungen der Kamera wird auf die EP 1586193 B1 verwiesen, die hierin durch Bezugnahme aufgenommen ist.

Fig. 3 zeigt eine Implementierung des Parametrisierers 200 gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

5

Der Parametrisierer umfasst einen Punktwolkenumwandler 220, einen Segmentierer 240 und einen Einzelelement-Modell-Anpasser 260. Der Punktwolkenumwandler 220 ist ausgebildet, um die dreidimensionale Volumendarstellung 102 mit verdeckten und unverdeckten Pflanzenelementen zu empfangen. Der Punktwolkenumwandler 220 erzeugt aus den
10 einzelnen Voxel-Elementen eine Punktwolke 221, die Punkte auf einer Oberfläche der Pflanze aufweist. Jeder Punkt ist nunmehr nur noch durch seine Koordinate dargestellt, die von der Koordinate eines entsprechenden Volumenelements abgeleitet ist oder dieser entspricht. In einer der Implementierungen besteht die Ableitung der Koordinate eines Punkts der Punktwolke 221 darin, dass der Mittelpunkt bzw. Schwerpunkt eines Volumenelements
15 als Koordinate des Punkts genommen wird. Die Punktwolke 221 muss jedoch nicht einer 1:1-Übereinstimmung mit einzelnen Volumenelementen entsprechen. Stattdessen wird, beispielsweise beim Marching-Cubes-Verfahren auch eine Interpolation vorgenommen, so dass dann, wenn bestimmt wird, dass zwei benachbarte Pixel so sind, dass das ein Pixel ein Luftpixel ist und das andere Pixel ein Pflanzenpixel ist, unter bestimmten Voraussetzungen,
20 wie sie in der Technik bekannt sind, eine Interpolation zwischen diesen beiden Voxeln durchgeführt wird, wobei die Punktwolke dann durch interpolierte Volumenelemente dargestellt ist. Eine Ableitung der Koordinaten eines Volumenelements kann somit auch eine Interpolation von benachbarten Volumenelementen sein. Das Marching-Cubes-Verfahren ist ein bekannter Algorithmus zur Berechnung von Isoflächen in der 3D-
25 Computergraphik. Er nähert eine Voxelgraphik durch eine Polygongraphik an. Die erste Beschreibung befindet sich in "William E. Lorensen, Harvey E. Cline: "Marching Cubes: A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm", Computer Graphics, Vol. 21, Nr. 4, Juli 1987, Seiten 163-169.

30 Es können jedoch auch alternative Vorgehensweisen im Punktwolkenumwandler genommen werden, wie beispielsweise eine einfache Schwellwertentscheidung anhand der Intensität. So stellt eine höhere Intensität eines Volumenelements dar, dass hier Luft war, während eine niedrigere Intensität eines Volumenelements zum Ausdruck bringt, dass hier in der Pflanze bereits eine Absorption der Röntgenstrahlung stattgefunden hat und es sich
35 hiermit somit um ein Volumenelement handelt, das zur Pflanze bzw. zur Pflanzenoberfläche gehört. Eine Schwellwertentscheidung würde daher darin bestehen, sämtliche Volumenelemente, die eine Intensität größer als einen bestimmten Wert haben, zu eliminieren, so dass nur noch die Volumenelemente verbleiben, die zu einem Pflanzenelement gehören.

Insbesondere bei Blättern oder flachen Pflanzenelementen stellen die Voxel bereits nahezu eine Oberfläche dar, da ein Blatt typischerweise eine Dicke von einem oder wenigen Voxeln haben wird. Andere Blattstrukturen, wie z. B. das in Fig. 8 deutlich sichtbare Blattgerippe, das auch Blattadern genannt wird, haben eine volumetrische Struktur und nicht
5 eine Flächenstruktur. Auch das Blattgerippe kann bereits wertvolle Parameter ergeben, die zur Phänotypisierung nützlich sind. Dann wird aus den volumetrischen Daten direkt oder nach Punktwolkenumwandlung eine Segmentierung und Parameterextraktion durchgeführt, um das Pflanzengerippe parametrisch zu beschreiben.

10 Das Ergebnis des Punktwolkenumwandlers 220 besteht in einer Wolke von dreidimensionalen Punkten, die entweder als einzelne Punkte gegeben sein können. oder bereits, wie es im Marching-Cubes-Verfahren der Fall ist, eine explizite Isoflächendarstellung bzw. Polygonflächendarstellung der Pflanzenoberfläche sein können. Das Marching-Cubes-Verfahren wird insbesondere deswegen bevorzugt, weil es zusätzlich zur Unterscheidung
15 zwischen Volumenelementen von Pflanze einerseits und als Hintergrund andererseits auch eine Interpolation durchführt und somit gerade die Grenze bzw. Grenzfläche zwischen Pflanze und Hintergrund, also Luft angibt. Bei der bevorzugten Implementierung des Punktwolkenumwandlers wird somit aus dem kompletten Volumendatensatz eine komplette Oberfläche der Pflanze vor dem Hintergrund erhalten, wobei diese Oberfläche sämtliche Blätterstiele, Zweige, etc. umfasst.
20

Diese Flächendarstellung wird dann in den Segmentierer 240 eingespeist, der ausgebildet ist, um die dreidimensionale Punktwolke, wie sie vom Block 220 erhalten wird, in Einzelelemente umzuwandeln, wie es bei 241 dargestellt ist. Die Einzelelemente können je
25 nach Implementierung mehrere kleinere Punktwolken für z.B. ein Blatt, einen Stiel, einen Stamm, einen Zweig, eine Blüte oder eine Frucht der Pflanze sein, oder können bereits Polygonflächen, in welcher Darstellung auch immer, sein.

Die segmentierte Darstellung 241 wird dann in den Einzelement-Modell-Anpasser 260
30 eingespeist, der ausgebildet ist, um unter Verwendung eines allgemeinen oder bereits durch Vorwissen über die Pflanze spezifizierten Einzelement-Modells die Parameter für jedes Einzelement zu extrahieren, und zwar durch Anpassen des Einzelement-Modells an das entsprechende segmentierte Einzelement.

35 Der Einzelement-Modell-Anpasser liefert ausgangseitig die Parameter 260 für jedes Einzelement, z.B. die Parameter für jedes Blatt. Je nach Implementierung der vorliegenden Erfindung und Anwendung können die Parameter insbesondere für ein Blatt, eine Blattlänge, eine Blattbreite, eine Blattfläche, eine Neigung des Blatts bezüglich des Stiels,

eine Ausrichtung des Blatts bezüglich einer Pflanzenhauptachse, also in der Draufsicht eine Ausrichtung nach oben, unten, links oder rechts etc., eine Verdrehung bezüglich einer Blattachse, eine Blattwölbung, eine Blattform oder eine Blattumrandung sein. Weitere Parameter sind insbesondere Hinweise auf Fehler in der Blattumrandung, beispielsweise durch Schädlingsbefall, etc. Weitere nützliche Pflanzenparameter umfassen Wellungen am Rand oder in der Fläche des Blatts, eine Faltung der Blatthälften, oder eine Einrollung des Blatts entlang oder quer zur Blattachse.

Die in Fig. 3 gewonnenen Parameter 261 für viele Blätter können dann in einen Phänotypisierer 400 eingespeist werden. Der Phänotypisierer 400 liefert eine parametrische Beschreibung der ganzen Pflanze, die als Werte beispielsweise die Anzahl der Blätter, den Mittelwert und/oder die Standardabweichung der einzelnen Blattparameter in Zuordnung zu einer bestimmten Genom-Veränderung, beispielsweise angibt. Daher ist es für einen Agrarwissenschaftler nunmehr möglich, anhand der parametrischen Beschreibung der ganzen Pflanze am Ausgang des Blocks 400 von Fig. 4 eine einfache Zuordnung und Erkenntnis dahin gehend zu gewinnen, welche Genom-Veränderung zu welcher Auswirkung auf Blattausrichtung, Blattfläche etc. führt. Insbesondere ist die Blattausrichtung dahin gehend von großem Interesse, weil eine Ausrichtung näher zur Sonne bzw. im optimalen rechten Winkel zur Sonne eine hohe Photosynthese-Aktivität des Blatts bedingt, und damit zu einem größeren und schnelleren Wuchs des Blatts.

Obgleich in Fig. 3 eine Implementierung dargestellt worden ist, bei der die Segmentierung nach der Punktwolkenumwandlung erfolgt, kann bei einer anderen Implementierung alternativ oder zusätzlich eine Segmentierung direkt mit der dreidimensionalen Darstellung erfolgen, um dann die segmentierten Elemente in eine Punktwolke umzuwandeln, die nur noch aus einem Einzelement besteht, oder um direkt das noch aus Voxeln bestehende Einzelement zu parametrisieren. Zur Segmentierung des dreidimensionalen Datensatzes kann beispielsweise ausgenutzt werden, dass Stiele von Blättern normalerweise dünner als das Blatt sind, so dass eine Segmentierung durch „Abschneiden“ oder „Auftrennen des Datensatzes an einer dünnen Stelle erfolgen kann.

Fig. 5 zeigt ein Flussdiagramm für eine bevorzugte Implementierung des Segmentierers 240 von Fig. 3. In einem Schritt 242 wird eine Mehrzahl von Polygonflächen bestimmt, zu der ein Punkt der Punktwolke 221 gehört. In einem Schritt 243 wird dann eine Normale auf jeder dieser Polygonflächen berechnet. Die Polygonflächen sind Dreiecksflächen oder Flächen mit mehr Ecken, beispielsweise vier, fünf, sechs, ... Ecken. Eine Normale auf der Polygonfläche wird dazu verwendet, um die Ausrichtung dieser Polygonfläche zu quantifizieren. Hierauf wird in einem Schritt 244 die Größe jeder dieser Polygonflächen berechnet.

Die Größe jeder Polygonfläche führt zu einer entsprechenden Gewichtung bzw. zu einem entsprechenden Gewichtungsfaktor 245, der dieser Polygonfläche zugeordnet ist, während die einzelnen Normalen auf den entsprechenden Polygonflächen bei 246 gezeigt sind. Sowohl die Gewichtungsfaktoren 245 als auch die Normalen 246 werden in dem Schritt 247
5 eingesetzt, um eine gewichtete Mittelung der einzelnen Flächennormalen 246 durchzuführen. Je größer die Fläche einer Polygonfläche ist, umso höher ist der Gewichtungsfaktor für diese Polygonfläche, so dass in dem Schritt der gewichteten Mittelung 247 die Polygonflächen bzw. die Normalen der Polygonflächen einen stärkeren Einfluss haben, für die eine höhere Größe berechnet worden ist. Dadurch wird eine Normale 248 für jeden Punkt der
10 Punktwolke 221 von Fig. 3 erhalten. Anhand der Betrachtung der Normalen für die entsprechenden Punkte, und insbesondere auch für benachbarte Punkte, wie es bei 249 dargestellt ist, wird dann in dem Schritt 250 die tatsächliche Segmentierung durchgeführt, in dem die einzelnen Normalen für benachbarte Punkte untersucht werden.

15 Im Schritt 244, wo die Mehrzahl der Polygonflächen bestimmt wird, zu der ein Punkt gehört, kann eine Kugel mit einem bestimmten Durchmesser um einen Punkt herum gebildet werden, um sämtliche Polygonflächen zu erhalten, zu denen ein Punkt gehört. Alternativ kann auch ein Kreis gebildet werden, wenn ein zweidimensionaler Bereich der Pflanzenoberfläche vorliegt, wie es für Oberflächen oftmals der Fall sein wird. Darüber hinaus sei
20 darauf hingewiesen, dass der Schritt des Mitteln 247 je nach Implementierung auch ungewichtet durchgeführt werden kann, so dass dann die Größe der Polygonflächen nicht zwingend in die Berechnung eingeht.

Im Schritt 250 des Segmentierens können die einzelnen Normalen benachbarter Punkte
25 untersucht werden, wobei je nach Implementierung eine Schwellwertentscheidung oder ein aufwendigeres Verfahren eingesetzt werden kann. Eine Möglichkeit besteht darin, zwischen benachbarten Punkten Differenzen der Normalenausrichtung zu berechnen, um dann, wenn die Differenz innerhalb einer bestimmten Abweichung ist, zu bestimmen, dass die Punkte zur selben Oberfläche gehören, während dann, wenn die Differenzen zwischen
30 benachbarten Punkten größer als eine Abweichung gemäß einen bestimmten Schwellwert ist, zu unterschiedlichen Einzelementen gehören. Wenn man beispielsweise ein Blatt betrachtet, das an einem Stiel angeordnet ist, so wird gerade an der Stelle, an der das Blatt aus dem Stiel austritt, eine sehr deutliche Normalenänderung sein, weil hier eine spezielle Kante vorliegt. Andererseits haben Blätter typischerweise auch Blattwölbungen, so dass
35 bestimmte Abweichungen von Punkt zu Punkt der Blattnormalen, wenn diese langsam bzw. relativ langsam stattfinden, darauf hindeuten, dass alle diese Punkte zu einem speziellen Blatt gehören. Je nach Blatt und Aufwand können weitere Kriterien mit einbezogen werden, wie beispielsweise Vorwissen über eine erwartete Blattform etc., um damit die

Plausibilität der Segmentierungsentscheidung im Block 250 zu überprüfen und zu verifizieren und ggf. eine Entscheidung zu korrigieren.

Beim Marching-Cubes-Verfahren liegt beispielsweise bereits eine Polygondarstellung vor.
5 Falls dies nicht der Fall ist, kann trotzdem mit Normalen gearbeitet werden. Hierzu wird um einen Punkt die lokale Nachbarschaft mit einer Kugel um den Punkt gefunden. Alle Punkte, die in der Kugel mit definiertem Radius sind, bilden diese lokale Nachbarschaft. Dann wird in diese Nachbarschaft eine Ebene gefittet, und die Normale auf diese Ebene ist dann die dem Punkt zugeordnete Normale. Dann wird die Segmentierung aufgrund der
10 Normalen wie beschrieben durchgeführt.

Fig. 6 zeigt eine bevorzugte Implementierung des Einzelement-Modell-Anpassers 260 von Fig. 3. So wird ein parametrisiertes Einzelement bzw. ein Blattmodell mit variablen Parametern für ein besonderes Einzelement in einem Block 262 bereitgestellt. Hierauf
15 wird das Modell aus dem Block 262 zusammen mit der Punktwolke 263, die durch den Schritt 250 von Fig. 5 erhalten worden ist, in einen Blattmodellfitter 264 eingespeist. Der Blattmodellfitter ist ausgebildet, um die Parameter des im Block 262 bereitgestellten Modells so lange nach bestimmten Optimierungskriterien zu variieren, bis eine kleinste Abweichung zwischen dem Modell und der Realität, also der Punktwolke 263 des Einzelements erreicht ist. Insbesondere kann eine Variation der variablen Parameter dahin gehend
20 stattfinden, dass z.B. nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate eine kleinste Abweichung zwischen den einzelnen Punkten des parametrisierten Modells und der Punktwolke 263 des Einzelements erreicht ist. Das Ergebnis besteht dann in den Parametergrößen 265, die beim Blattmodellfitten 264 herausgekommen sind. Diese Ergebnisparameter können dann ausgegeben werden, und stellen die Pflanzenparameter 201 von Fig. 1 dar. Andere Blattmodellfitting-Verfahren können eingesetzt werden, wie beispielsweise Modelle, die im Sinne eines an entsprechenden Stützpunkten fixierten "Gummibandes" arbeiten, dahin gehend, dass auch Abweichungen am Blattrand oder in der Blattfläche bezüglich einer erwarteten Geometrie erhalten werden, die man bei einem einfacheren Modell nicht erfassen könnte. Wenn beispielsweise ein Blatt, z.B. aufgrund eines Schädlingsbefalls eine Einkerbung hat, die z.B. dadurch hervorgerufen worden ist, dass Schädlinge das Stück des Blatts am Rand entfernt haben, so würde ein solches Modell diesen Rand bzw. diese Abweichung von der optimalen Geometrie ebenfalls parametrisieren. Ein solches Modell hat im Gegensatz zu einem einfacheren Modell mit erwarteter Blattgeometrie zusätzlich noch
30 freie Parameter, bzw. es können im Optimierungsprozess zusätzliche Parameter eingesetzt werden, so dass die Anzahl der ausgegebenen Parameter bei einem solchen Modell von der Punktwolke des Einzelements 263 abhängt und nicht von vorherein vorgegeben ist. Wei-

tere Fitting-Verfahren, die alternativ zu den zwei vorher beschriebenen Verfahren arbeiten, können ebenfalls eingesetzt werden, um die Ergebnisparameter 201 von Fig. 1 zu erhalten.

Fig. 7a zeigt eine Darstellung der 3D-Punktwolke einer Pflanzenoberfläche, wie sie am Ausgang des Blocks 220 von Fig. 3 erhalten worden ist. Hier sind deutlich vier Blätter 701, 702, 703, 704 zu sehen, die bereits vom Hintergrund separiert sind. Die in Fig. 7a dargestellte dreidimensionale Punktwolke ist jedoch noch nicht in die einzelnen Blätter segmentiert. Ferner ist auch das Wachstumssubstrat, also beispielsweise die Erde 705 ebenfalls nicht segmentiert. Die Erde 705 kann jedoch z.B. anhand der nötigen Geometrieparameter, also anhand von Höhen-Werten, die unter einem bestimmten Schwellwert sind, ohne Weiteres eliminiert werden, wenn dies nötig ist.

Dagegen zeigt Fig. 8 eine zweidimensionale Darstellung einer kompletten CT-Volumendarstellung mit verdeckten und unverdeckten Strukturen für die in Fig. 7a gezeigte Pflanze, wobei ebenfalls wieder deutlich die vier Blätter zu sehen sind. Bei komplizierteren Pflanzen, wo ein dichter Blattstand dahin gehend existiert, dass in jeder Blickrichtung Blattelemente verdeckt sind, würde die komplette Rekonstruktion im Sinne von Fig. 8 auch alle diese verdeckten Strukturen enthalten.

Fig. 7b zeigt eine vergrößerte Polygondarstellung eines Blatts, wie es aus dem Marching-Cubes-Verfahren erhalten wird, wobei schematisch in Fig. 7b einzelne Polygonflächen unterschiedlicher Größe gezeigt sind, wobei diese Darstellung in Fig. 7b bzw. der zugrunde liegende Datensatz dazu verwendet werden kann, um eine Segmentierung dahin gehend zu erreichen, dass das Blatt von seinem Stiel abgetrennt wird bzw. von dem Hintergrund 705 abgetrennt wird, um dann mit dem einzelnen Blatt, also dem Einzelelement ein Parameter-Fitting-Verfahren, wie es anhand des Blocks 264 in Fig. 6 beschrieben worden ist, durchzuführen.

Obwohl manche Aspekte im Zusammenhang mit einer Vorrichtung beschrieben wurden, versteht es sich, dass diese Aspekte auch eine Beschreibung des entsprechenden Verfahrens darstellen, sodass ein Block oder ein Bauelement einer Vorrichtung auch als ein entsprechender Verfahrensschritt oder als ein Merkmal eines Verfahrensschrittes zu verstehen ist. Analog dazu stellen Aspekte, die im Zusammenhang mit einem oder als ein Verfahrensschritt beschrieben wurden, auch eine Beschreibung eines entsprechenden Blocks oder Details oder Merkmals einer entsprechenden Vorrichtung dar. Einige oder alle der Verfahrensschritte können durch einen Hardware-Apparat (oder unter Verwendung eines Hardware-Apparats), wie zum Beispiel einen Mikroprozessor, einen programmierbaren Computer oder eine elektronische Schaltung ausgeführt werden. Bei einigen Ausführungsbeispiele

len können einige oder mehrere der wichtigsten Verfahrensschritte durch einen solchen Apparat ausgeführt werden.

5 Je nach bestimmten Implementierungsanforderungen können Ausführungsbeispiele der Erfindung in Hardware oder in Software implementiert sein. Die Implementierung kann unter Verwendung eines digitalen Speichermediums, beispielsweise einer Floppy-Disk, einer DVD, einer Blu-ray Disc, einer CD, eines ROM, eines PROM, eines EPROM, eines EEPROM oder eines FLASH-Speichers, einer Festplatte oder eines anderen magnetischen oder optischen Speichers durchgeführt werden, auf dem elektronisch lesbare Steuersignale
10 gespeichert sind, die mit einem programmierbaren Computersystem derart zusammenwirken können oder zusammenwirken, dass das jeweilige Verfahren durchgeführt wird. Deshalb kann das digitale Speichermedium computerlesbar sein.

Manche Ausführungsbeispiele gemäß der Erfindung umfassen also einen Datenträger, der
15 elektronisch lesbare Steuersignale aufweist, die in der Lage sind, mit einem programmierbaren Computersystem derart zusammenzuwirken, dass eines der hierin beschriebenen Verfahren durchgeführt wird.

Allgemein können Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung als Computerprogrammprodukt mit einem Programmcode implementiert sein, wobei der Programmcode dahin gehend wirksam ist, eines der Verfahren durchzuführen, wenn das Computerprogrammprodukt auf einem Computer abläuft.
20

Der Programmcode kann beispielsweise auch auf einem maschinenlesbaren Träger gespeichert sein.
25

Andere Ausführungsbeispiele umfassen das Computerprogramm zum Durchführen eines der hierin beschriebenen Verfahren, wobei das Computerprogramm auf einem maschinenlesbaren Träger gespeichert ist.
30

Mit anderen Worten ist ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens somit ein Computerprogramm, das einen Programmcode zum Durchführen eines der hierin beschriebenen Verfahren aufweist, wenn das Computerprogramm auf einem Computer abläuft.
35

Ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Verfahren ist somit ein Datenträger (oder ein digitales Speichermedium oder ein computerlesbares Medium), auf dem

das Computerprogramm zum Durchführen eines der hierin beschriebenen Verfahren aufgezeichnet ist.

5 Ein weiteres Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens ist somit ein Datenstrom oder eine Sequenz von Signalen, der bzw. die das Computerprogramm zum Durchführen eines der hierin beschriebenen Verfahren darstellt bzw. darstellen. Der Datenstrom oder die Sequenz von Signalen kann bzw. können beispielsweise dahin gehend konfiguriert sein, über eine Datenkommunikationsverbindung, beispielsweise über das Internet, transferiert zu werden.

10

Ein weiteres Ausführungsbeispiel umfasst eine Verarbeitungseinrichtung, beispielsweise einen Computer oder ein programmierbares Logikbauelement, die dahin gehend konfiguriert oder angepasst ist, eines der hierin beschriebenen Verfahren durchzuführen.

15 Ein weiteres Ausführungsbeispiel umfasst einen Computer, auf dem das Computerprogramm zum Durchführen eines der hierin beschriebenen Verfahren installiert ist.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel gemäß der Erfindung umfasst eine Vorrichtung oder ein System, die bzw. das ausgelegt ist, um ein Computerprogramm zur Durchführung zumindest eines der hierin beschriebenen Verfahren zu einem Empfänger zu übertragen. Die Übertragung kann beispielsweise elektronisch oder optisch erfolgen. Der Empfänger kann beispielsweise ein Computer, ein Mobilgerät, ein Speichergerät oder eine ähnliche Vorrichtung sein. Die Vorrichtung oder das System kann beispielsweise einen Datei-Server zur Übertragung des Computerprogramms zu dem Empfänger umfassen.

25

Bei manchen Ausführungsbeispielen kann ein programmierbares Logikbauelement (beispielsweise ein feldprogrammierbares Gatterarray, ein FPGA) dazu verwendet werden, manche oder alle Funktionalitäten der hierin beschriebenen Verfahren durchzuführen. Bei manchen Ausführungsbeispielen kann ein feldprogrammierbares Gatterarray mit einem Mikroprozessor zusammenwirken, um eines der hierin beschriebenen Verfahren durchzuführen. Allgemein werden die Verfahren bei einigen Ausführungsbeispielen seitens einer beliebigen Hardwarevorrichtung durchgeführt. Diese kann eine universell einsetzbare Hardware wie ein Computerprozessor (CPU) sein oder für das Verfahren spezifische Hardware, wie beispielsweise ein ASIC.

35

Die oben beschriebenen Ausführungsbeispiele stellen lediglich eine Veranschaulichung der Prinzipien der vorliegenden Erfindung dar. Es versteht sich, dass Modifikationen und Variationen der hierin beschriebenen Anordnungen und Einzelheiten anderen Fachleuten ein-

leuchten werden. Deshalb ist beabsichtigt, dass die Erfindung lediglich durch den Schutzzumfang der nachstehenden Patentansprüche und nicht durch die spezifischen Einzelheiten, die anhand der Beschreibung und der Erläuterung der Ausführungsbeispiele hierin präsentiert wurden, beschränkt sei.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Parametrisieren einer Pflanze (101), mit folgenden Merkmalen:
- 5
einem Aufzeichner (100) zum Aufzeichnen eines dreidimensionalen Datensatzes (102) der Pflanze, der nicht nur Volumenelemente von unverdeckten Elementen der Pflanze, sondern auch Volumenelemente von durch andere Elemente verdeckten Elementen der Pflanze aufweist; und
- 10
einem Parametrisierer (200) zum Parametrisieren des dreidimensionalen Datensatzes, um Pflanzenparameter (201) zu erhalten,
- wobei der Parametrisierer (200) ausgebildet ist, um den dreidimensionalen Datensatz (102) in eine Punktwolke (221) umzuwandeln (220), wobei die Punktwolke Punkte auf einer Oberfläche der Pflanze oder Punkte einer Volumenstruktur der Pflanze aufweist,
- 15
wobei der Parametrisierer (200) ferner ausgebildet ist, um die dreidimensionale Punktwolke oder den dreidimensionalen Datensatz in Einzelelemente (241) der Pflanze zu segmentieren (240), wobei ein Einzelelement ein Blatt, ein Stiel, ein Zweig, ein Stamm, eine Blüte eine Frucht, oder ein Blattgerippe ist, und
- 20
wobei der Parametrisierer ausgebildet ist, um unter Verwendung eines Einzelelementmodells (262) Parameter für das Einzelelement durch Anpassen des Einzelelementmodells an das Einzelelement zu berechnen (264).
- 25
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der der Aufzeichner (100) ausgebildet ist, um ein Röntgen-Computertomographie-Verfahren oder ein Magnetresonanztomographie-
- 30
Verfahren auszuführen, um den dreidimensionalen Datensatz zu erhalten, wobei ein Volumenelement des dreidimensionalen Datensatzes eine dreidimensionale Koordinate und wenigstens einen Intensitätswert aufweist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Parametrisierer (200) ausgebildet
- 35
ist, um die Punkte der Punktwolke nur durch eine Koordinate darzustellen, die von der Koordinate eines entsprechenden Volumenelements abgeleitet ist oder dieser entspricht.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3,

5 bei der das Einzelement ein Blatt ist, und bei dem einer oder mehrere Pflanzenparameter (265) berechnet werden, wobei der eine oder die mehreren Pflanzenparameter aus der Gruppe ausgewählt sind, die folgende Pflanzenparameter aufweist:

10 eine Blattlänge, eine Blattbreite, eine Blattfläche, eine Neigung des Blatts bezüglich eines Stiels, eine Ausrichtung bezüglich einer Pflanzenhauptachse, eine Verdrehung bezüglich einer Blattachse, eine Blattwölbung, eine Blattform, eine Blattumrandung, Fehler in einer erwarteten Blattumrandung, eine Wellung am Rand oder in der Fläche des Blatts, eine Faltung der Blatthälften, oder eine Einrollung des Blatts entlang oder quer zur Blattachse.

- 15 5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

bei der der Parametrisierer (200) ausgebildet ist, um mittels eines Intensitätsschwellwerts Volumenelemente zu ermitteln, die zur Pflanze gehören, wobei die Punktwolke im Wesentlichen keine Punkte aufweist, die zu einem Hintergrund der Pflanze gehören.

- 20 6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5,

bei der der Parametrisierer (200) ausgebildet ist, um unter Verwendung eines Marching-Cubes-Verfahrens den dreidimensionalen Datensatz zu ermitteln, der eine Grenzfläche zwischen der Pflanze und einem Hintergrund aufweist.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6,

30 bei der der Parametrisierer (200) ausgebildet ist, um zum Segmentieren (240) für Flächenelemente einer Oberfläche der Pflanze Oberflächennormalen zu ermitteln (243), und um anhand einer Untersuchung (250) der Oberflächennormalen für die Flächenelemente zu bestimmen, ob ein Punkt zu einem Einzelement gehört oder nicht, oder

35 bei der der Parametrisierer (200) ausgebildet ist, um zum Segmentieren (240), für jeden der Punkte, eine lokale Nachbarschaft um einen Punkt zu bestimmen, eine Ebene in die Punkte der lokalen Nachbarschaft zu fitten und eine Normale auf diese Ebene zu bestimmen, die die Normale für diesen betrachtete Punkt ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7,

5 bei der ein Punkt zu mindestens einer Mehrzahl von Polygonflächen gehört (242), wobei der Parametrisierer (200) ausgebildet ist, um für jede Polygonfläche der Mehrzahl von Polygonflächen, zu der der Punkt gehört, eine Normale (243) zu ermitteln, und um die Normalen der Polygonflächen, zu denen der Punkt gehört, zu mitteln (247), um eine Normale (248) für den Punkt zu ermitteln.

10 9. Vorrichtung nach Anspruch 8,

15 bei der die Polygonflächen der Mehrzahl von Polygonflächen unterschiedlich groß sind, wobei der Parametrisierer (200) ausgebildet ist, um eine gewichtete Mittelung (247) der Normalen durchzuführen, derart, dass eine Normale von einer Polygonfläche mit einer ersten Größe stärker in die gewichtete Mittelung eingeht als eine Normale einer Polygonfläche mit einer zweiten Größe, wobei die zweite Größe kleiner als die erste Größe ist.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9,

20

bei der der Aufzeichner (100) ausgebildet ist, um einen Szintillatorschirm (10) und eine Mehrzahl von Einzelkamas (16) zu verwenden, und um ein analoges Binning mit der Mehrzahl von Einzelkamas durchzuführen, um eine Aufnahme mit einer Strahlenbelastung durchzuführen, die reduziert ist im Vergleich zu einer Strahlenbelastung bei Verwendung einer einzigen Einzelkamera.

25

11. Verfahren zum Parametrisieren einer Pflanze (101), mit folgenden Merkmalen:

30 Aufzeichnen (100) eines dreidimensionalen Datensatzes (102) der Pflanze, der nicht nur Volumenelemente von unverdeckten Elementen der Pflanze, sondern auch Volumenelemente von durch andere Elemente verdeckten Elementen der Pflanze aufweist; und

35 Parametrisieren (200) des dreidimensionalen Datensatzes, um Pflanzenparameter (201) zu erhalten, wobei das Parametrisieren folgende Schritte aufweist:

wobei der Parametrisierer (200) ausgebildet ist, um Umwandeln des dreidimensionalen Datensatzes (102) in eine Punktwolke (221), wobei die Punktwolke Punkte

auf einer Oberfläche der Pflanze oder Punkte einer Volumenstruktur der Pflanze aufweist,

5 Segmentieren der dreidimensionalen Punktwolke oder des dreidimensionalen Datensatzes in Einzelemente (241) der Pflanze, wobei ein Einzelement ein Blatt, ein Stiel, ein Zweig, ein Stamm, eine Blüte eine Frucht, oder ein Blattgerippe ist, und

10 unter Verwendung eines Einzelementmodells (262), Berechnen (264) von Parametern für das Einzelement durch Anpassen des Einzelementmodells an das Einzelement.

12. Computerprogramm zum Ausführen des Verfahrens zum Parametrisieren einer Pflanze nach Patentanspruch 11, wenn das Computerprogramm auf einem Computer oder Prozessor läuft.
15

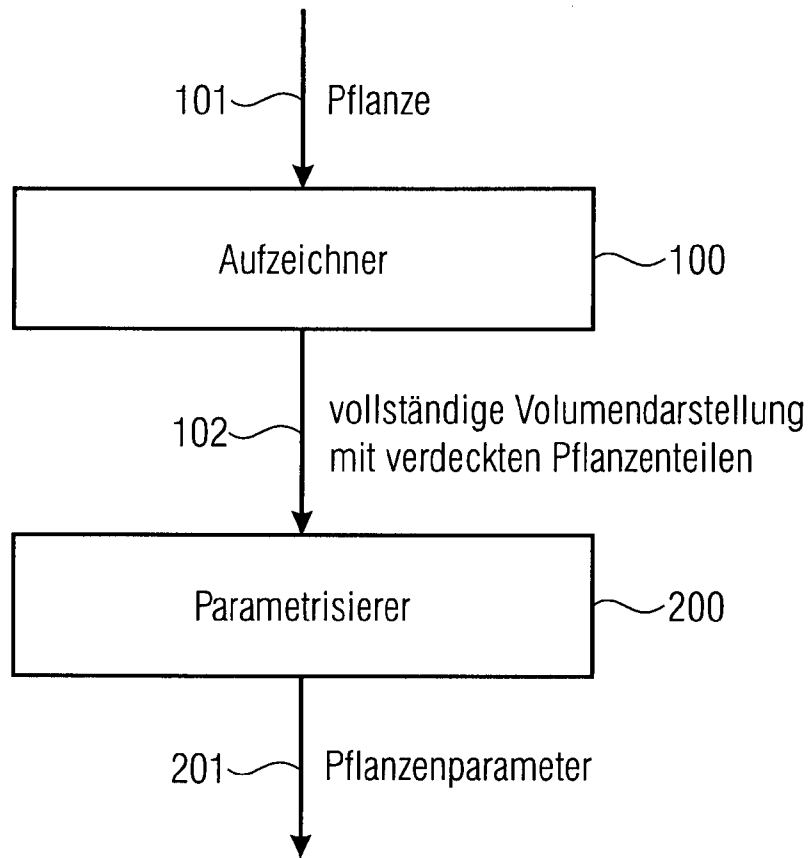


FIG 1

2/10

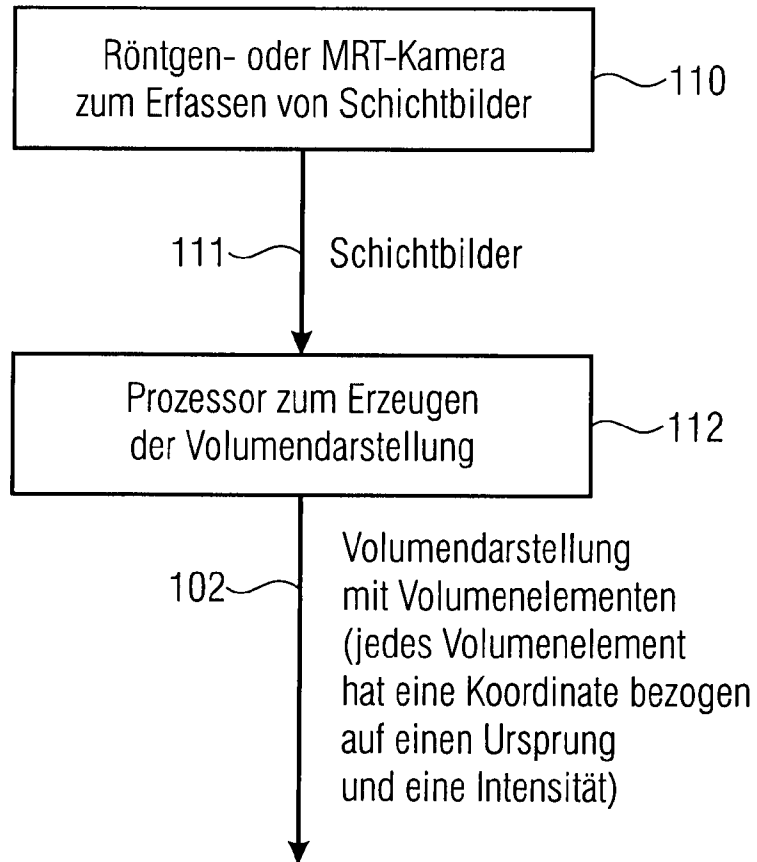
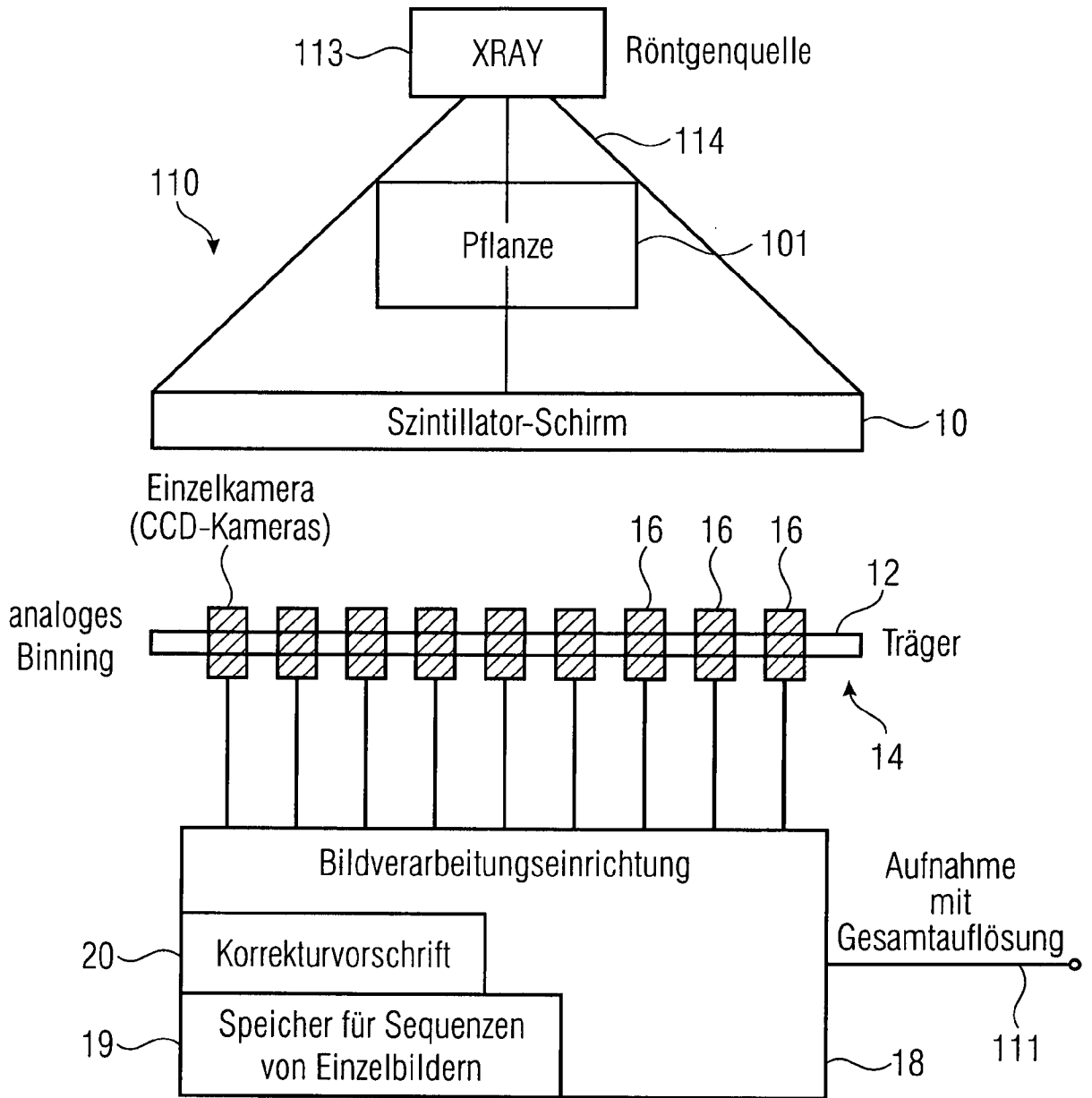


FIG 2A



- CCD-Einzelkameras haben hohe Auflösung
- nach analogem Binning niedrigere Auflösung, daher reduzierte Strahlungsdosis

FIG 2B

4/10

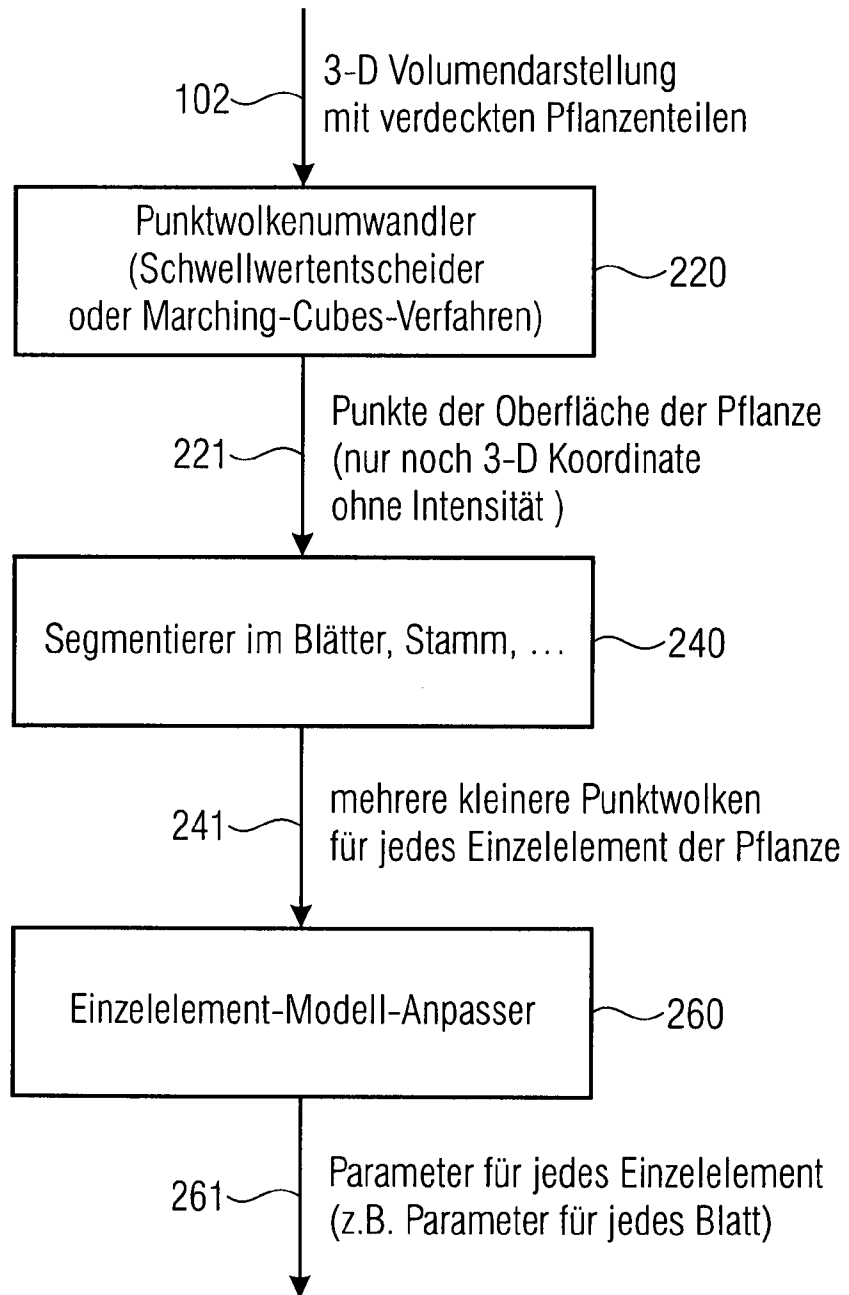


FIG 3

5/10

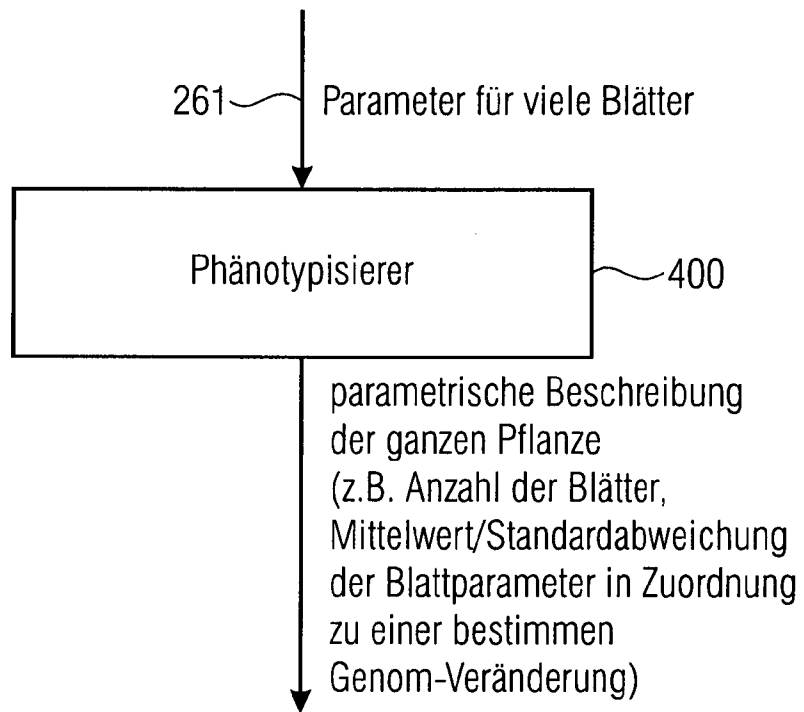


FIG 4

6/10

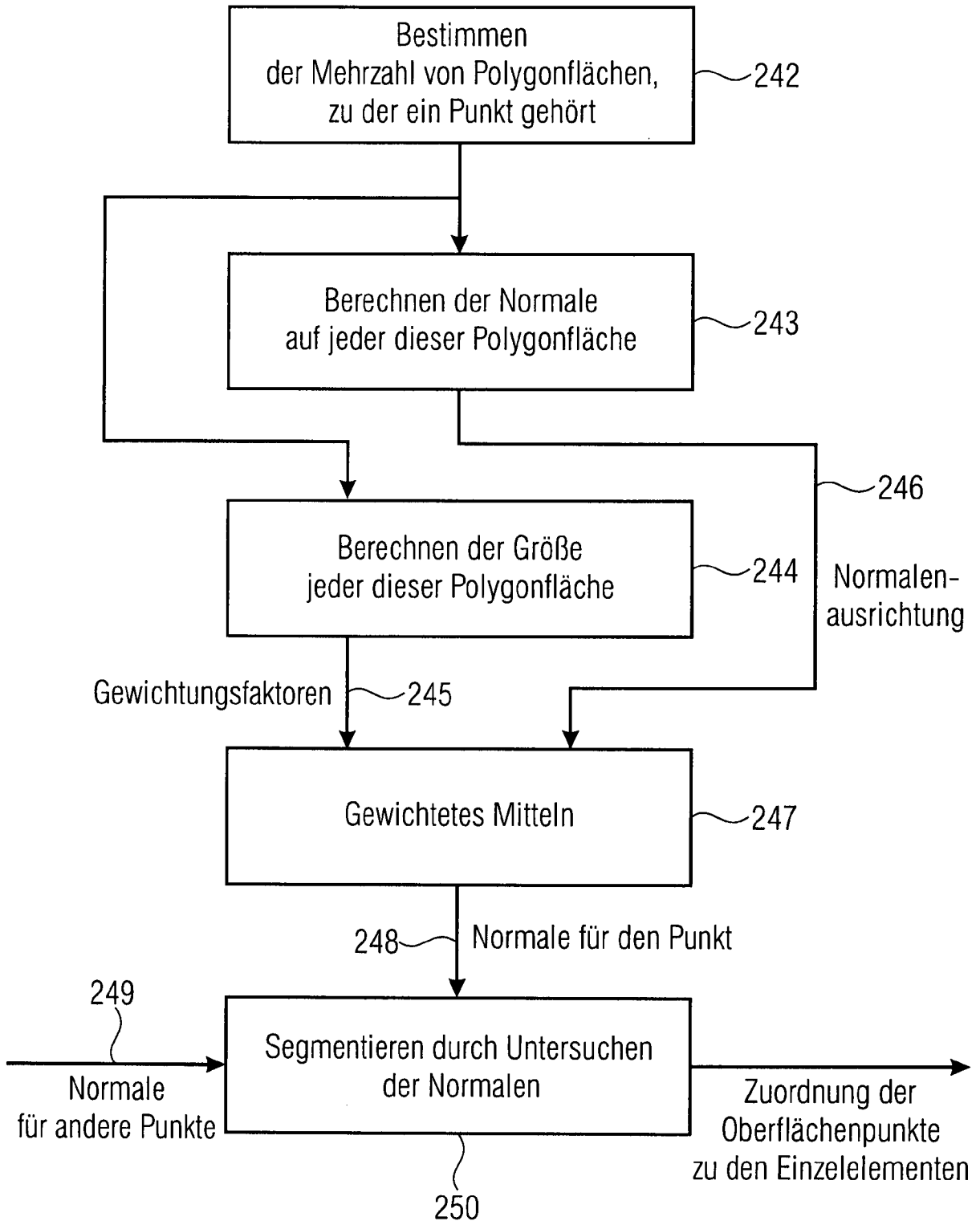


FIG 5

7/10

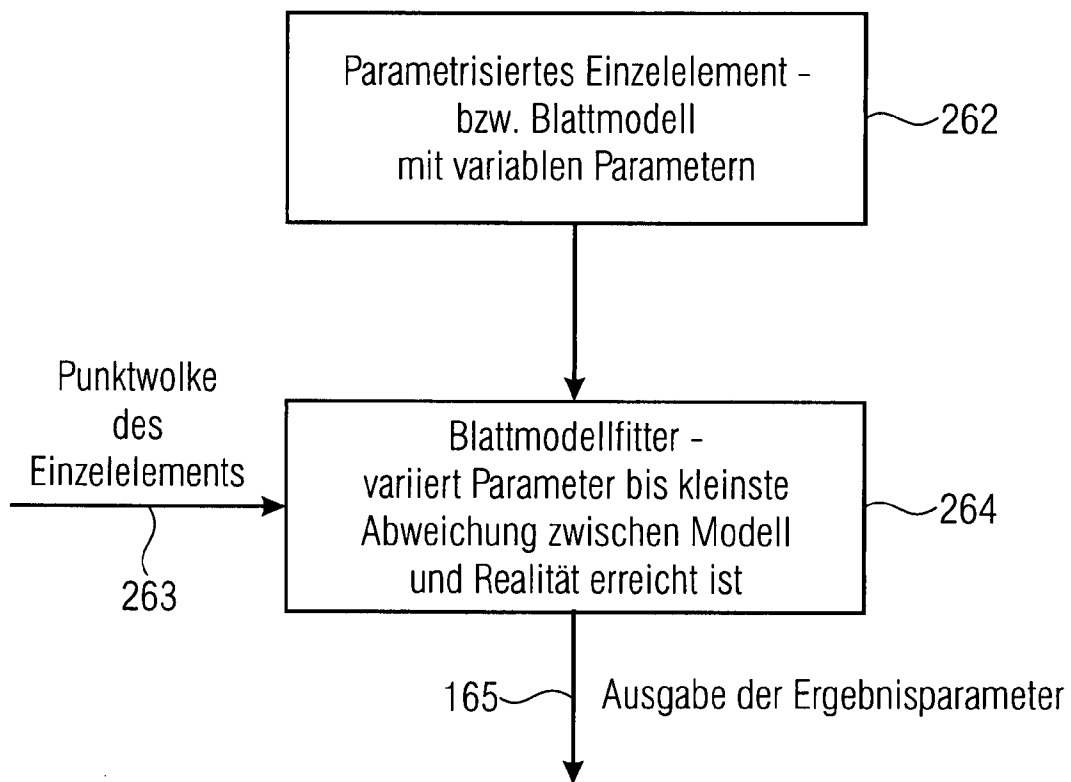


FIG 6

Darstellung der 3D-Punktwolke einer Pflanzenoberfläche

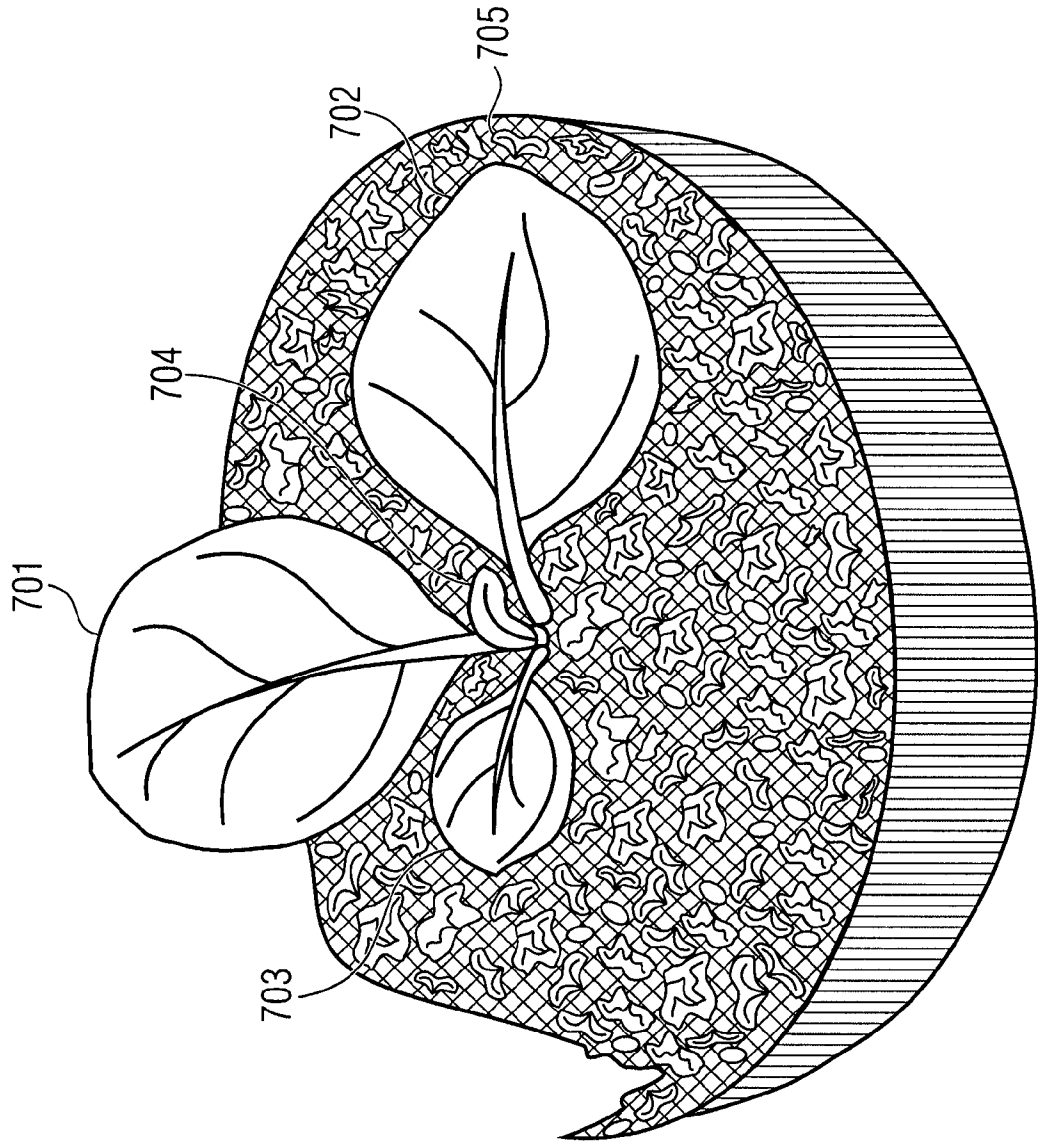


FIG 7A

vergrößerte Polygondarstellung eines Blatts aus dem Marching-Cubes-Verfahren

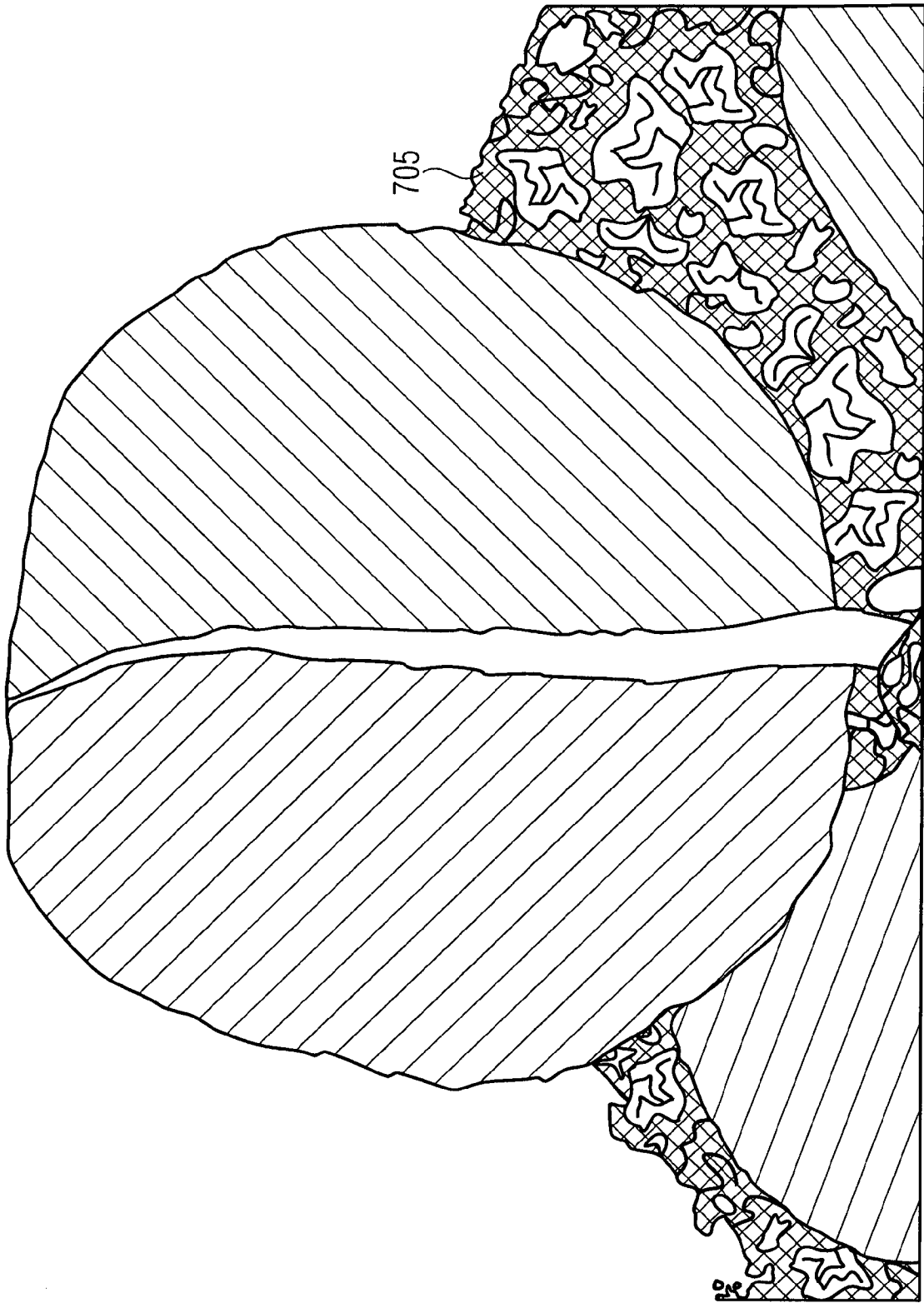


FIG 7B

zweidimensionale Darstellung einer CT-Volumendarstellung (vollständig) einer Pflanze mit verdeckten Strukturen

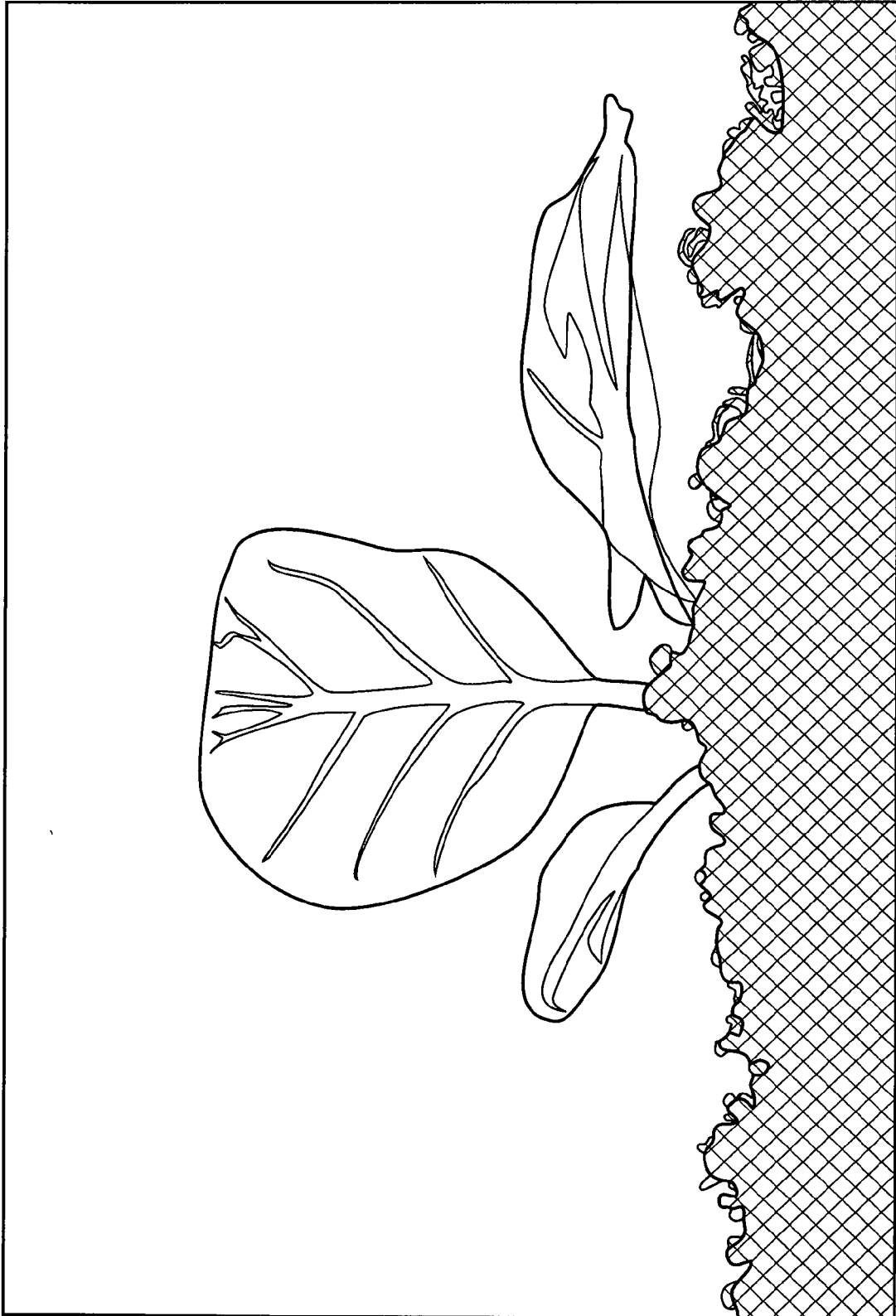


FIG 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2014/059949

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. G06T7/60 G06K9/00 G06T7/00 G06T17/20
 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)
 G06T G06K
 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, COMPENDEX, INSPEC, IBM-TDB

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|---|-----------------------|
| X | WOLFGANG H STUPPY ET AL: "Three-dimensional analysis of plant structure using high-resolution X-ray computed tomography", TRENDS IN PLANT SCIENCE, vol. 8, no. 1, 1 January 2003 (2003-01-01) , pages 2-6, XP055137776, ISSN: 1360-1385, DOI: 10.1016/S1360-1385(02)00004-3 | 1,2,4, 11,12 |
| Y | abstract | 3,5-9 |
| A | page 120, column 2, paragraph 4 - last paragraph page 121, column 2, paragraph 3 Seite 123, Spalte 1, Kapitel 2.1.1. Seite 123, Spalte 2, Kapitel 2.1.3. ----- -/-- | 10 |

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

| | |
|---|---|
| <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"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)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> | <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"&" document member of the same patent family</p> |
|---|---|

| | |
|--|---|
| Date of the actual completion of the international search 3 September 2014 | Date of mailing of the international search report 10/09/2014 |
|--|---|

| | |
|--|--|
| 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 Turina, Andreas |
|--|--|

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2014/059949

| C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
|--|---|-----------------------|
| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
| Y | <p>US 4 710 876 A (CLINE HARVEY E [US] ET AL) 1 December 1987 (1987-12-01) abstract column 4, last paragraph - column 5, paragraph 1 column 6, paragraph 2</p> <p style="text-align: center;">-----</p> | 3,5-9 |
| A | <p>DORNBUSCH ET AL: "A method to extract morphological traits of plant organs from 3D point clouds as a database for an architectural plant model", ECOLOGICAL MODELLING, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL, vol. 200, no. 1-2, 2 December 2006 (2006-12-02), pages 119-129, XP005792016, ISSN: 0304-3800, DOI: 10.1016/J.ECOLMODEL.2006.07.028 the whole document</p> <p style="text-align: center;">-----</p> | 1-12 |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2014/059949

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|--|------------------|-------------------------|------------------|
| US 4710876 | A | NONE | 01-12-1987 |
| ----- | | | |

| | | |
|---|--|--|
| A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G06T7/60 G06K9/00 G06T7/00 G06T17/20 ADD. | | |
| Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC | | |
| B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G06T G06K | | |
| 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, COMPENDEX, INSPEC, IBM-TDB | | |
| C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN | | |
| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
| X | WOLFGANG H STUPPY ET AL: "Three-dimensional analysis of plant structure using high-resolution X-ray computed tomography", TRENDS IN PLANT SCIENCE, Bd. 8, Nr. 1, 1. Januar 2003 (2003-01-01), Seiten 2-6, XP055137776, ISSN: 1360-1385, DOI: 10.1016/S1360-1385(02)00004-3 | 1,2,4, 11,12 |
| Y | Zusammenfassung | 3,5-9 |
| A | Seite 120, Spalte 2, Absatz 4 - letzter Absatz Seite 121, Spalte 2, Absatz 3 Seite 123, Spalte 1, Kapitel 2.1.1. Seite 123, Spalte 2, Kapitel 2.1.3. ----- -/-- | 10 |
| <input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> 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 | | Absendedatum des internationalen Recherchenberichts |
| 3. September 2014 | | 10/09/2014 |
| 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 Turina, Andreas |

| C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN | | |
|---|---|--------------------|
| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
| Y | <p>US 4 710 876 A (CLINE HARVEY E [US] ET AL) 1. Dezember 1987 (1987-12-01) Zusammenfassung Spalte 4, letzter Absatz - Spalte 5, Absatz 1 Spalte 6, Absatz 2</p> <p style="text-align: center;">-----</p> | 3,5-9 |
| A | <p>DORNBUSCH ET AL: "A method to extract morphological traits of plant organs from 3D point clouds as a database for an architectural plant model", ECOLOGICAL MODELLING, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL, Bd. 200, Nr. 1-2, 2. Dezember 2006 (2006-12-02), Seiten 119-129, XP005792016, ISSN: 0304-3800, DOI: 10.1016/J.ECOLMODEL.2006.07.028 das ganze Dokument</p> <p style="text-align: center;">-----</p> | 1-12 |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2014/059949

| Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument | Datum der Veröffentlichung | Mitglied(er) der Patentfamilie | Datum der Veröffentlichung |
|--|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| US 4710876 | A | 01-12-1987 | KEINE |
| ----- | | | |