

PCTWELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales BüroINTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : G01N 33/497, 33/00	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 99/36774 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 22. Juli 1999 (22.07.99)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE99/00061 (22) Internationales Anmeldedatum: 13. Januar 1999 (13.01.99) (30) Prioritätsdaten: 198 00 839.2 13. Januar 1998 (13.01.98) DE 199 00 893.0 13. Januar 1999 (13.01.99) DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN [DE/DE]; Dezernat 5, SG 5.1, Mommsenstrasse 13, D-01069 Dresden (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BALTRUSCH, Steffen [DE/DE]; Jüngststrasse 14, D-01277 Dresden (DE). HERRNKIND, Jörg [DE/DE]; Zellaer Strasse 14, D-98559 Oberhof (DE). (74) Gemeinsamer Vertreter: TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN; Sender, Frank, Dezernat 5, SG 5.1, D-01062 Dresden (DE).		(81) Bestimmungsstaaten: AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DK, EE, ES, FI, GB, GE, GH, GM, HU, ID, IL, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZW, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG). Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i> <i>Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>
(54) Title: METHOD FOR NET PHOTOSYNTHESIS (NPS) BASED QUANTITATIVE EVALUATION OF THE STATUS OF COPPICES (54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR QUANTITATIVEN BEURTEILUNG DES ZUSTANDES VON GEHÖLZEN AUF DER BASIS DER NETTO-PHOTOSYNTHESE (NPS) (57) Abstract The invention relates to a method for net photosynthesis (NPS) based quantitative evaluation of the status of coppices. According to the inventive method, the rate of consumption of CO₂, which is affected by permanently variable environmental conditions, is determined by means of a device measuring gas exchange, the analysed air has a constant CO₂ content, the initial parameters such as volumetric flow rate and physiological variables such as stomatic resistance are measured, and net photosynthesis is calculated from both CO₂ consumption and the relevant initial parameters. The method is characterized by subsequent correlation of the CO₂ consumption rate and net photosynthesis, thus making it is possible to neutralize the permanently variable environmental conditions affecting the result by virtue of the fact that regression analysis occurs between CO₂ consumption and net photosynthesis and by proceeding to re-calculate CO₂ consumption and net photosynthesis on this basis if required. (57) Zusammenfassung Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur quantitativen Beurteilung des Zustandes von Gehölzen auf der Basis der Netto-Photosynthese (NPS), indem mittels Gaswechsellmessgerät, bei konstantem CO₂-Gehalt der Analyseluft nach der Erfassung der Ausgangsparameter wie Volumenflussrate und der beeinflussten physiologischen Größen wie Stomatawiderstand, die durch die permanent variierenden Umweltbedingungen beeinflussten CO₂-Verbrauchsraten ermittelt und die Berechnung der Netto-Photosynthese aus CO₂-Verbrauch und den relevanten Ausgangsparametern erfolgt. Das Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, daß im Anschluß durch Korrelation zwischen CO₂-Verbrauch und Netto-Photosynthese die Auswirkungen durch die permanent variierenden Umwelteinflüsse auf das Ergebnis aufgehoben werden, indem eine Regressionsanalyse zwischen CO₂-Verbrauch und Netto-Photosynthese durchgeführt wird und auf dieser Basis eine Neuberechnung von CO₂-Verbrauch und Netto-Photosynthese bei Bedarf erfolgt.		

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshon	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

Verfahren zur quantitativen Beurteilung des Zustandes von Gehölzen auf der Basis der Netto-Photosynthese (NPS)

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur quantitativen Beurteilung des Zustandes von Gehölzen auf der Basis der Netto-Photosynthese (NPS) gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Waldzustandserhebungen werden seit 1984 in der Bundesrepublik Deutschland nach dem nachfolgend beschriebenen systematischen Verfahren einheitlich und zeitgleich durchgeführt. Seit 1986 werden solche sogenannten Level I-Erhebungen zur Informationsgewinnung über die raum-zeitliche Verteilung und Veränderung des Waldzustandes auch in zahlreichen europäischen Ländern durchgeführt.

Davon ausgehend, daß den Luftschadstoffen bei den diagnostizierten Waldschäden eine Schlüsselfunktion zukommt, wird bei diesem Verfahren zur Beurteilung der Vitalität der Baumkronen jährlich eine terrestrische visuelle Begutachtung der Belaubung durchgeführt. Es werden Kronenverlichtung und Nadel-/Blattvergilbung von den Probebäumen in 5 %-Klassen mit Hilfe von Bildtafeln ermittelt. Die Stichprobenpunkte an denen die Probebäume untersucht werden, werden durch ein systematisches Gitternetz von 16 x 16 km im europäischen Maßstab festgelegt. In der Bundesrepublik Deutschland verdichten verschiedene Bundesländer je nach Intensität diesen Abstand und im Rahmen der deutschen bundesweiten „Vollstichprobe“ (z. Z. alle 3 Jahre) auf 4 x 4 km.

Nach EU-Level I erfolgt außerdem eine einmalige Beschreibung der Dauerbeobachtungsflächen (z.B. Höhe, Exposition) und eine einmalige Blatt-/ Nadelanalyse.

Eine Beurteilung des Waldzustandes unter der maßgeblichen Berücksichtigung des „Laubverlustes“ ist bereits seit längerer Zeit umstritten, da dieses Kriterium durch verschiedene Ursachen, z.B. infolge starker Fruktifikation, recht erheblichen Schwankungen unterliegen kann. Außerdem ist das Verfahren sehr stark von äußeren Bedingungen abhängig. Bei Regen, Nebel oder sehr tiefstehender Sonne können keine Untersuchungen durchgeführt werden. Weitere Schwierigkeiten ergeben sich in Beständen mit hohem Bestockungsgrad aufgrund der Schätzentfernung, die optimal ein bis anderthalb Baumhöhen beträgt [u. a. HANISCH, KILZ, 1990].

Da das Verfahren auf keiner quantitativen Basis, sondern subjektiv abhängigen, okularen Einschätzungen beruht, lassen sich Untersuchungsergebnisse nur sehr bedingt miteinander vergleichen. Die grobe Beurteilung nach Nadel-/Blattverlust und Vergilbung kann eine möglichst genaue und umfassende Symptombeschreibung im wissenschaftlichen Bereich nicht ersetzen.

Die Ergebnisse der Level I-Erhebungen erlauben keinen Rückschluß auf die Ursachen möglicher Schädigungen. (Zur Ursachenforschung dienen ein Level II- bzw. ein III-Programm.)

Es ist außerdem die Vitalitätsbestimmung von Bäumen nach ROLOFF [1986; 1989] bekannt. Der Methode wird zugrunde gelegt, daß sich ein verschlechternder Vitalitätszustand von Bäumen in abnehmenden Triebblängen äußert. Diese theoretische Grundlage basiert auf den Ergebnissen verschiedener Untersuchungen des Einflusses von Luftverunreinigungen, die jeweils ein reduziertes Höhenwachstum ergaben [z. B. WENTZEL 1971].

ROLOFF bezieht sich bei seinen Vitalitätsuntersuchungen auf die unbeeinflussten Wipfeltrieblängen im oberen Kronenbereich, da nur diese vergleichbar unbeeinflusst vom Seitendruck durch mögliche Konkurrenten wachsen können.

Für die Triebblängenmessung auch der zurückliegenden Jahre dienen Triebbasisnarben.

Das Auftreten abnehmender Triebblängen über einen längeren Zeitraum bewirkt veränderte Verzweigungen und Kronenstrukturen. Es werden 4 verschiedene Wachstumsphasen unterschieden, deren Einschätzung bei den untersuchten Bäumen die Basis für die Einordnung in den von ihm entwickelten Vitalitätsstufen-Schlüssel bildet, wobei der Zustand der Belaubung jedoch nicht völlig vernachlässigt werden und in die Einschätzung mit einfließen soll.

Eine Beurteilung der Vitalität nach ROLOFF an Laubgehölzen ist nur im unbelaubten Zustand sinnvoll, ansonsten ist die Sicht auf die Wipfeltriebe durch die Belaubung der unteren Krone zu sehr eingeschränkt. Da außerdem eine Einbeziehung der Belaubung erfolgen soll, wäre somit eine zweimalige Erfassung notwendig (im belaubten und unbelaubten Zustand) und ein erhöhter Aufwand verbunden.

Die Beurteilungskriterien der unbeeinflussten Wipfeltrieblängen im oberen Kronenbereich sind sehr charakteristisch beschrieben worden, trotzdem können subjektive Fehler und

Zuordnungsschwierigkeiten, speziell bei sehr schnell wachsenden Baumarten, nicht ausgeschlossen werden.

Bis es zur Ausbildung charakteristischer Kronenstrukturen und Verzweigungen kommt, sind längere Zeiträume notwendig, so daß diese zum Zeitpunkt der Erfassung nicht mehr dem aktuellen Vitalitätszustand entsprechen müssen.

Gaswechsellmessungen bilden die Grundlage zur Ermittlung der Photosyntheseraten von Gehölzen.

Die Messungen erfolgen mit Hilfe von stationären oder transportablen Geräten. Heute verwendet man Kompakt-Miniküvetten-systeme, Kompakt-CO₂/H₂O-Porometer oder tragbare Photosynthese-Systeme. Das Prinzip der Ermittlung besteht darin, daß ein Blatt oder ein Trieb einer Pflanze in eine gasdichte Küvette eingeschlossen wird, man die Änderung des CO₂-Gehaltes und der Luftfeuchte, sowie die Temperatur und die Lichtstrahlung bestimmt und die entsprechende Photosyntheserate berechnet. Durch Einstellen bestimmter Ausgangsbedingungen können Abhängigkeiten von CO₂-Konzentration, Luftfeuchte, Lichtstrahlung und Temperatur ermittelt werden.

Eine detaillierte technische Erläuterung des Prinzips einer tragbaren Gasstoffwechselkammer ist aus der DE 37 14 682 C 1 zu entnehmen. Eine genaue Beschreibung für das Verfahren und die Einrichtung zur Erfassung von Gaswechselvorgängen bei intakten Pflanzen liegt durch die DE 35 30 669 A1 vor.

Mit den bisherigen Auswertungsmethoden von Gaswechsellmessungen ist kein realer direkter Vergleich der Meßergebnisse unter normalen Freilandbedingungen möglich, da kaum gleiche Ausgangsbedingungen herrschen. So reicht z. B. bei Schattenblättern bereits eine äußerst kurzzeitige Belichtung aus, um eine minutenlange postilluminative CO₂-Fixierung zu bewirken [LARCHER, 1994]. Die Aufhebung dieses Nachteils durch die Verwendung klimatisierter Blattkammern ist zumindest im Einsatz bei tragbaren Photosynthese-Systemen nicht unumstritten, da bezweifelt wird, daß die Verweildauer des Blatt-/Triebteiles in der Küvette für eine genügende Anpassung an die künstlichen Ausgangsbedingungen ausreicht (beim LCA-3 werden 30-45 Sekunden empfohlen).

Die Vergleiche der artspezifischen Photosynthese erfolgten durch Auswertung des Photosynthesevermögens der Pflanzen und indem man klimatisierte Blattkammern verwendete.

Ein Verfahren für direkte Vergleiche der unter natürlichen Bedingungen im Freiland ermittelten Resultate ist bisher nicht bekannt geworden.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren zur Quantifizierung der CO₂-Aufnahmefähigkeit bzw. Netto-Photosynthese bei Gehölzen anzugeben, um die an unterschiedlichen Standorten ermittelte Netto-Photosynthese vergleichbar zu machen.

Diese Aufgabe wird in Verbindung mit dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß im Anschluß durch Korrelation zwischen CO₂-Verbrauch und Netto-Photosynthese die Auswirkungen durch die permanent variierenden Umwelteinflüsse auf das Ergebnis aufgehoben werden, indem eine Regressionsanalyse zwischen CO₂-Verbrauch und Netto-Photosynthese durchgeführt wird und auf dieser Basis eine Neuberechnung von CO₂-Verbrauch und Netto-Photosynthese bei Bedarf erfolgt.

Grundlage für das zur Anwendung gelangende Verfahren zur Beurteilung des Photosyntheseverhaltens der Gehölze – Photosynthetical Tree Assessment (PTA) – bilden Gaswechsellmessungen.

Für die physiologische und ökophysiologische Funktionsanalyse werden Gaswechselmeßgeräte verwendet, die als batteriebetriebenes, transportables, offenes Meßgerätesystem für gleichzeitige Transpirations- und NPS-Messungen fungieren und es zusätzlich ermöglichen, definierte Umweltbedingungen zu simulieren.

Das PTA-Verfahren beruht auf der Erkenntnis, daß sich die Wirkung schädigender Umwelteinflüsse durch die Störung der photosyntheserelevanten Stoffwechselvorgänge bereits vor der Ausbildung sichtbarer Schadsymptome in veränderten CO₂-Verbrauchsraten äußert.

Als Voraussetzung dienen NPS-Raten, die auf der Grundlage der während der Vegetationsperiode gemessenen CO₂-Stoffwechselraten ermittelt werden. Bei allen Gaswechsellmessungen wird von einer konstanten CO₂-Ausgangskonzentration ausgegangen, die durch das Meßgerät gewährleistet wird.

Die Messungen selbst erfolgen an unterschiedlichen Vitalitätsstufen der jeweiligen Gehölzart.

Damit jedoch die einzelnen Meßergebnisse der jeweiligen Gehölzart und Vitalitätsstufe überhaupt miteinander ausgewertet werden können, ergibt sich die Notwendigkeit, den Einfluß der insbesondere bei Freilandmessungen zwangsläufig permanent variierenden Umweltgrößen aufzuheben. Das wird erfindungsgemäß durch Korrelation zwischen der NPS und dem CO₂-Verbrauch erreicht, indem zwischen diesen beiden Größen eine Regressionsanalyse durchgeführt wird. Bei Bedarf kann auf dieser Basis eine Neuberechnung der NPS und des CO₂-Verbrauches erfolgen.

Was den weiteren Sinn der Berechnungen ausmacht ist, den Verlauf der errechneten Korrelationsgeraden quasi als photosynthetischen Bonitätsfächer für die unterschiedlichen Vitalitätsstufen der Gehölze in den verschiedenen natürlichen bzw. optimalen Wuchsgebieten darzustellen. Nach der Einarbeitung aller Meßergebnisse dienen diese in Bonitätstafeln eingearbeiteten Bonitätsfächer als Instrument zur objektiven quantifizierenden Einschätzung des aktuellen Vitalitätszustandes und der Anbauwürdigkeit jener Gehölzarten. Diese Möglichkeit ergibt sich daraus, daß sich zukünftigen Meßergebnisse mit diesen Tafeln genau einer bestimmten Vitalitätsstufe zuordnen lassen, auch, wenn die CO₂-Stoffwechsellmessungen auf anderen Standorten erfolgten.

Auf der Basis des Vergleiches der Werte der Funktionen der Korrelationsgeraden ist eine Beurteilung der Wirksamkeit von durchgeführten Maßnahmen (z.B. Düngung) und der Anbauwürdigkeit der Gehölze möglich. Somit können mittels PTA erzielte Ergebnisse unter Kenntnis des Standortes, der Klimawerte und der Charaktereigenschaften der Bäume [nach OTTO, 1994] aus ökologischer Sicht sinnvoller zur Einschätzung der Anbauwürdigkeit von Baumarten herangezogen werden, als dies mit konventionellen Parametern der Ertragskunde, wie Durchschnittlicher Gesamt-Zuwachs (DGZ) oder Bestandesoberhöhe, geschehen kann. Es besteht weiterhin die Möglichkeit, im Gegensatz zu Ertragstafeln, bereits in juvenilen Entwicklungsstadien der Bäume exakte Aussagen über deren Leistungsfähigkeit zu treffen. Und es ist ebenso möglich, Reaktionen auf simulierte Klimaänderungen darzustellen.

Die neu ermittelten absoluten CO₂-Verbrauchswerte können unter Kenntnis der Größe der jeweiligen Assimilationsflächen zur Ermittlung der Effizienz von CO₂-Senken genutzt werden.

Die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens bestehen darin, daß

- es zur Auswertung von ermittelten NPS-Raten der gleichen und unterschiedlichen Gehölzarten geeignet ist,

- es zur Auswertung des Einflusses von bestimmten Maßnahmen (z. B. Düngung) auf die NPS geeignet ist,
- es genauer und wesentlich aussagekräftiger, als die bisherig angewendeten Möglichkeiten zur Darstellung und Auswertung von NPS-Raten ist, da eine Eliminierung des Einflusses der variierenden Umweltfaktoren durch die Korrelation erfolgt,
- hiermit die Entwicklung eines photosynthetischen Bonitätsfächers und objektive Aussagen über den tatsächlichen Zustand der untersuchten Gehölze ermöglicht wird, und
- es die Erfassung von CO₂-Senken ermöglicht.

Die Erfindung wird nachfolgend an Hand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. In den Abbildungen zeigen:

- Abb. 1/1: einen Vergleich der NPS (Mittelwerte) von *Picea abies*
- Abb. 1/2: einen Vergleich der NPS und CO₂-Verbrauch von *Picea abies*
- Abb. 2/1: einen Vergleich der NPS (Mittelwerte) bei Laubgehölz
- Abb. 2/2: einen Vergleich der NPS und CO₂-Verbrauch bei Laubgehölz
- Abb. 3 ein Schema zur Veranschaulichung des Verfahrens

Die Messungen wurden an Laubgehölzen bzw. Fichte auf jeweils gleichen Standorten vorgenommen.

Für die Messungen wurde ein Blattkammer-Analysator (LCA) der englischen Analytical Development Co. Ltd./ Hoddesdon, verwendet. Der LCA-3 ist ein batteriebetriebenes, transportables, offenes Meßgerätesystem für gleichzeitige Transpirations- und Photosynthesemessungen. Das Gerät integriert eine kontrollierte Luftzufuhr für eine Blattkammer (Parkinson Leaf Chamber = PLC), eine CO₂-Analyseeinheit mit Nullpunktautomatik, sowie eine leistungsfähige Berechnungs- und Speichereinheit für Meßdaten.

Die atmosphärische Luft wurde durch einen 3 m langen Teleskopmast in einem Volumen angesogen, welches es ermöglicht, kleinere Fluktuationen der CO₂-Konzentration abzpuffern. Die zu nutzende CO₂-Konzentration konnte über einen Controller im Bereich von 0 bis 1600 ppm CO₂ eingestellt werden.

Ebenso konnte die Luftfeuchte über einen Feuchtigkeitsregler eingestellt werden.

Die so eingestellte, angesaugte Luft (Referenzluft) wurde dann in kontrollierter Rate (Strömungsmengenregler) zur Blatkammer und zur Gasanalyseeinheit gepumpt. Zur Anwendung kamen die Parkinson Leaf Chamber (B) für Laubholz und PLC (C) für Nadelholz, welche beide auf einen Einsatz mit dem LCA-3 abgestimmt sind und Sensoren zur Messung von Luftfeuchte, Temperatur und photosynthetisch aktiver Strahlung beinhalten. Die Kammern sind sehr leicht (0,9 kg) und einfach zu handhaben. Ein eingebautes Flügelrad garantiert, daß die Konzentrationsgefälle zwischen den Messungen minimal und damit der Blattgrenzschichtwiderstand niedrig gehalten werden. Gegen die Aufheizung der Blatkammer wirken sowohl ein Strahlungsschild als auch ein Infrarotfilter.

Der Sensor zur Messung der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) ist außerhalb der Kammer neben dem Kammerfenster angebracht, wohingegen die Sensoren für die Luftfeuchtigkeits- und Temperaturmessungen direkt in der Kammer platziert sind. Die Elektronik ist mit den Sensoren verbunden, im Handgriff der Blatkammer untergebracht und durch die Batterie des LCA-3 versorgt. Über ein Mikro-Klima-Control-System besteht die Möglichkeit, Strahlungsintensität, Umgebungstemperatur und CO₂-Konzentration exakt zu limitieren.

Die Referenzluft wird in die Blatkammer, in welche das zu untersuchende Blatt eingeführt und anschließend luftdicht verschlossen wurde, gepumpt und über die Blattoberfläche geleitet. Gleichzeitig erfolgen die sensorischen Messungen, deren Ergebnisse sofort an den Prozessor weitergeleitet werden, über den alle Operationen steuer- und kontrollierbar sind.

Die Luft, welche das Blatt umspült (Analyseluft), wird dann von einer zweiten Pumpe mit der vorgegebenen Strömungsmenge angesaugt und dem Gasanalysebereich zugeführt. Vor diesem befindet sich ein automatischer Regler, der in einem 5-Sek-Zyklus abwechselnd CO₂-freie und Analyseluft zum Infrarot- Gasanalyzesystem weiterleitet.

Im Analysesystem wird die von den Stichproben absorbierte Infrarotstrahlung von einem pyroelektrischen Detektor gemessen. Auch diese Werte werden an den Prozessor weitergegeben.

Nach der Passage des Analysesystems wird die Analyseluft an die Atmosphäre abgegeben.

Meßdaten und Resultate werden auf der Anzeigefläche des Instruments dargestellt und können auf der internen Datenspeicherkarte aufgenommen werden. Diese Karte kann bis zu 1016 Datensätze (=Messungen) abspeichern. Nach Erreichen der Speicherkapazitätsgrenze besteht die Möglichkeit des Austausches dieser Karte oder des Übertragens ihrer Daten auf einen angeschlossenen externen Speicher (PC).

In den Vergleichsauswertungen zwischen dem Verfahren nach dem bisherigen Stand der Technik und dem PTA-Verfahren wurden jeweils dieselben Grundmeßdaten verwendet.

Ausführungsbeispiel 1

Das Ausführungsbeispiel 1 beinhaltet den Vergleich der NPS nach bisherigem Verfahren und nach dem erfindungsgemäßen Verfahren (PTA); Bonitätsfächeung nach PTA am Beispiel von Gemeiner Fichte (*Picea abies*).

Die Gaswechsellmessungen an Fichte erfolgten in Tagesgängen (TG). Das bedeutet, es wurde jeweils ein Baum auf dem gleichen Standort ausgesucht und es erfolgte die kontinuierliche Erfassung an ein und derselben Pflanze bei Tageslicht. Die dabei untersuchten Fichten wiesen ein visuell ungeschädigtes Erscheinungsbild auf.

In Abbildung 1/1 wurde nach dem bisherigen Stand der Technik die durchschnittliche Netto-Photosyntheserate (NPS-Rate) der beiden untersuchten Tagesgänge (TG) an Fichte (*Picea abies*) ermittelt und dargestellt. Dabei liegt die durchschnittliche NPS-Rate der Fichte 1 im 1.Tagesgang mit $-0,19 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ deutlich unter der im 2.Tagesgang mit $0,27 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$. Betrachtet man den Wert der Fichte 1 als 100%, so läßt demgegenüber die NPS-Rate der Fichte im 2.Tagesgang, die um 242,1% höher ist, auf eine Überlegenheit der Fichte 2 schließen (siehe Tab.1/1).

Es wurde nach dem PTA-Verfahren eine Regressionsanalyse zwischen den einzelnen ermittelten NPS-Raten und den CO_2 -Verbrauchswerten des jeweiligen Tagesganges durchgeführt und die Korrelation dargestellt. Der anschließend aus den Einzelwerten berechnete durchschnittliche CO_2 -Verbrauch beträgt 0,01 ppm im Tagesgang 1 und 5,38 im Tagesgang 2, was einer NPS-Rate von $-0,18$ bzw. $0,27 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ entspricht. Beim prozentualen Vergleich dieser Werte ist die durchschnittliche NPS der Fichte im Tagesgang 2 um 250% höher, als im 1. Tagesgang (siehe Tab. 1/2).

Das entspricht einer Differenz von 7,9%-Punkten und 1,03% zwischen der reinen Durchschnittsermittlung der NPS-Raten in Abbildung 1/1 und der Ermittlung der durchschnittlichen NPS-Rate nach dem PTA-Verfahren in Abbildung 1/2.

Was jedoch bei der Darstellung in Abbildung 1/2 ersichtlich wird, ist, daß die aufgrund des in Abbildung 1/1 dargestellten Ergebnisses festgestellte photosynthetische Dominanz der Fichte

im 2. Tagesgang mit verändertem CO_2 -Verbrauch, wechselt. So ist im Bereich eines hohen CO_2 -Verbrauches die NPS der Fichte im 1. Tagesgang höher.

Es wird deutlich, daß trotz des erwähnten gleichen visuell ungeschädigten Erscheinungsbildes der bemessenen Bäume unterschiedliche NPS-Raten zu verzeichnen sind und somit einen Bonitätsfächer ergeben.

Ausführungsbeispiel 2

Das Ausführungsbeispiel 2 beinhaltet die Beurteilung von waldbaulichen Maßnahmen (z.B. Düngung) und die optimale Baumartenwahl am Beispiel von Gemeiner Birke (*Betula pendula*), Rotbuche (*Fagus sylvatica*), Salweide (*Salix caprea*) und Pappel (*Populus spec.*).

Die Ermittlung der CO_2 -Raten an den o.g. Laubgehölzen erfolgte in Tagesverläufen auf dem gleichen Standort. Für die Ermittlung der Tagesverläufe wurde jeweils am Morgen, Mittag und Nachmittag Messungen an ein und denselben Pflanzen vorgenommen.

In Abbildung 2/1 sind die nach dem bisherigen Stand der Technik ermittelten durchschnittlichen Netto-Photosyntheseraten verschiedener gedüngter und ungedüngter Laubgehölze dargestellt. Die Mittelwerte wurden aus der Summe der normal berechneten umweltbeeinflussten NPS-Einzelwerte ermittelt.

Birke_{gedüngt} hat mit $9,54 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ die höchste durchschnittliche NPS-Rate vor Birke_{ungedüngt} (9,13), Salweide_{gedüngt} (7,98), Rotbuche_{gedüngt} (7,91), Pappel_{gedüngt} (7,62) und Rotbuche_{ungedüngt} (7,13).

Die durchschnittlichen Netto-Photosyntheseraten von Birke dominieren somit sowohl im gedüngten, als auch im ungedüngten Zustand.

In Abbildung 2/2 sind die nach dem PTA-Verfahren berechneten Korrelationsgeraden der verschiedenen untersuchten Laubgehölze dargestellt.

Bei angenommenem gleichen positiven CO_2 -Verbrauch ab ca 1,5 ppm ist die NPS-Rate von Rotbuche in gedüngtem und ungedüngtem Zustand deutlich dominierend. Da aber Rotbuche den geringsten CO_2 -Verbrauch hat, sind auch ihre NPS-Raten am kleinsten. Wobei die durchschnittliche NPS-Rate der ungedüngten Buche nach PTA höher ist, im Gegensatz zu dem dargestellten Ergebnis nach dem bisherigen Stand der Technik in Abbildung 2/1 und Tabelle 2/1 (siehe Tab.: 2/2). Desweiteren wird beim Vergleich der Verlaufsgeraden von gedüngter

und ungedüngter Rotbuche deutlich, daß die Düngung bei dieser Baumart auf dem Untersuchungsstandort keine Bedeutung besitzt.

Auch bei der nach dem PTA-Verfahren berechneten durchschnittlichen NPS liegt die NPS der gedüngten Birke mit $9,52 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, vor der der ungedüngten Birke und der anderen untersuchten Gehölzarten. Zumindest im unteren Bereich des CO_2 -Verbrauches ist ein positiver Einfluß der Düngung bei Birke erkennbar.

Die Zitterpappel hatte nach der normalen NPS-Darstellung in Abbildung 2/1 und Tabelle 2/1 noch eine geringere durchschnittliche NPS-Rate als die gedüngte Rotbuche, erreicht aber nach der Berechnung durch das PTA-Verfahren eine höhere Rate als die gedüngte Buche. Dieses Ergebnis entspricht auch dem festgestellten durchschnittlichen CO_2 -Verbrauch der untersuchten Baumarten (siehe Tab.: 2/2).

Das ist der Abb. 3 dargestellte Schema dient zur Veranschaulichung des erfindungsgemäßen Verfahrens und zeigt, wie sich die Verfahrensschritte an die bisher gebräuchliche Ermittlung der NPS-Rate anschließen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur quantitativen Beurteilung des Zustandes von Gehölzen auf der Basis der Netto-Photosynthese (NPS), indem mittels Gaswechselmeßgerät bei konstantem CO₂-Gehalt der Analyseluft nach der Erfassung der Ausgangsparameter wie Volumenflußrate und der beeinflussten physiologischen Größen wie Stomatawiderstand, die durch die permanent variierenden Umweltbedingungen beeinflussten CO₂-Verbrauchsraten ermittelt und die Berechnung der Netto-Photosynthese aus CO₂-Verbrauch und den relevanten Ausgangsparametern erfolgt,

dadurch gekennzeichnet, daß

im Anschluß durch Korrelation zwischen CO₂-Verbrauch und Netto-Photosynthese die Auswirkungen durch die permanent variierenden Umwelteinflüsse auf das Ergebnis aufgehoben werden, indem eine Regressionsanalyse zwischen CO₂-Verbrauch und Netto-Photosynthese durchgeführt wird und auf dieser Basis eine Neuberechnung von CO₂-Verbrauch und Netto-Photosynthese bei Bedarf erfolgt.

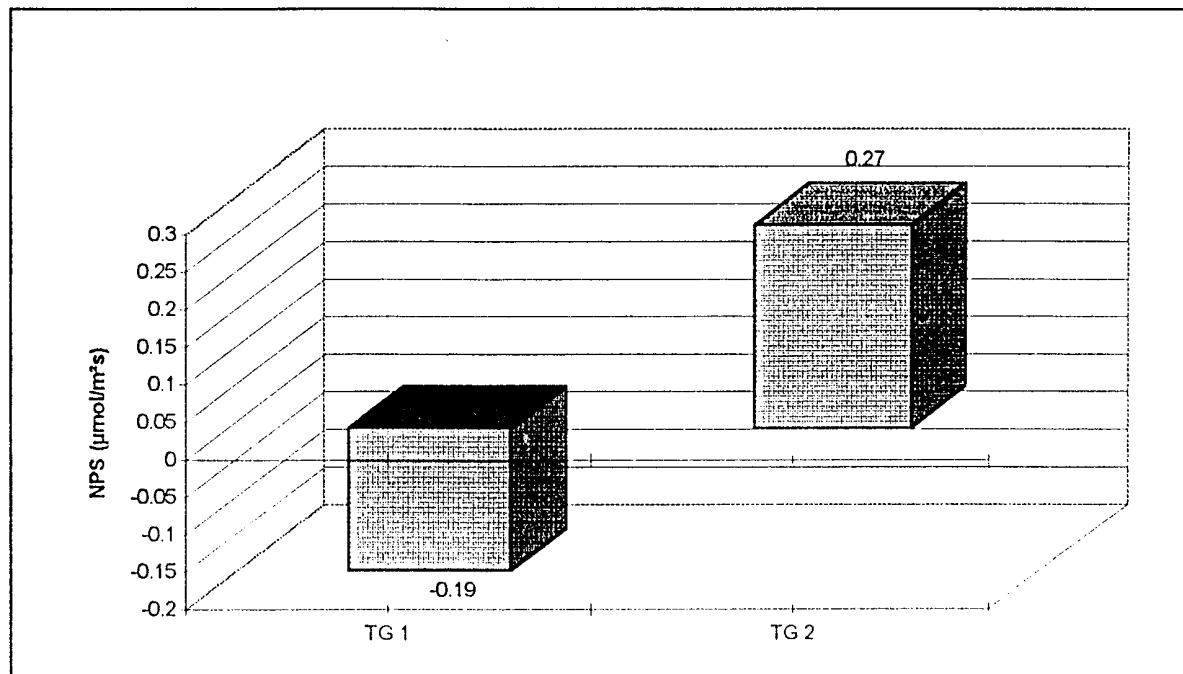
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß**

für die Abhängigkeit der Netto-Photosynthese vom CO₂-Verbrauch Bereiche für Vitalitätsstufen festgelegt werden.

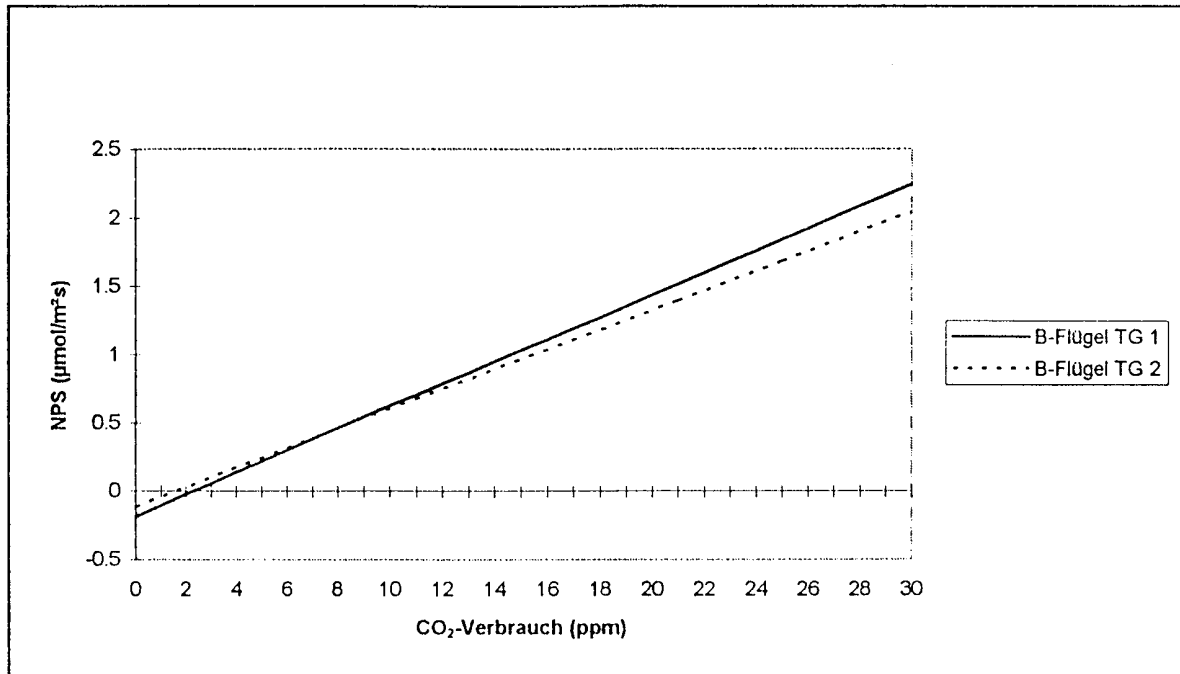
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, daß**

durch Vergleiche der grafischen Darstellung der Korrelation zwischen der ermittelten unbeeinflussten NPS und dem CO₂-Verbrauch mit den festgelegten Vitalitätsstufen quantifizierende Aussagen zum Vitalitätszustand der untersuchten Gehölzarten getroffen werden.

Hierzu 5 Blatt Zeichnungen

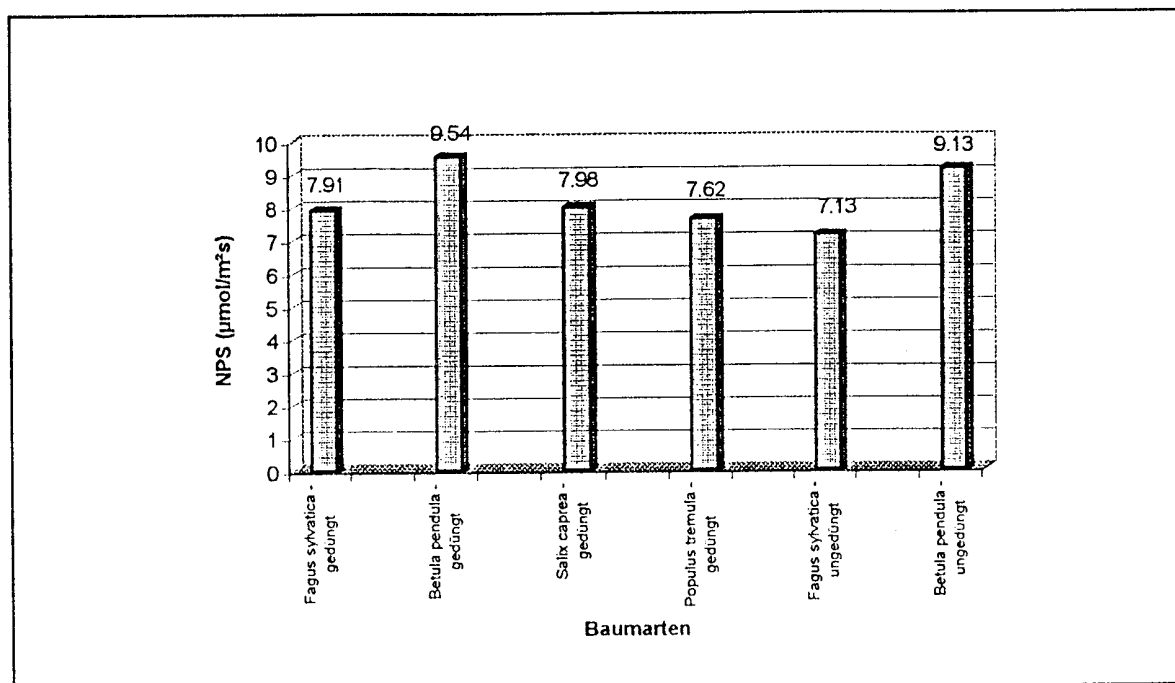
Abb.: 1/1: Vergleich der NPS (Mittelwerte) von *Picea abies*Tab. 1/1: Prozentuale Differenzen zwischen den durchschnittlichen NPS-Raten der Tagesgänge von Fichte (*Picea abies*) aus Abbildung 1/1

	Fichte Tagesgang 1	Fichte Tagesgang 2
durchschnittl. NPS- Rate ($\mu\text{mol/m}^2\text{s}$)	- 0,19	0,27
Differenz (%) zur Fichte aus dem Tagesgang 1	0	242,1

Abb.: 1/2: Vergleich NPS und CO₂-Verbrauch von *Picea abies* nach PTA-VerfahrenTab. 1/2: Prozentuale Differenzen zwischen den durchschnittlichen NPS-Raten der Tagesgänge von Fichte (*Picea abies*) aus Abbildung 1/2

	Fichte Tagesgang 1	Fichte Tagesgang 2
durchschnittl. CO ₂ - Verbrauch (ppm)	0,01	5,38
durchschnittl. NPS- Rate (μmol/m²s)	- 0,18	0,27
Differenz (%) zur Fichte aus dem Tagesgang 1	0	250

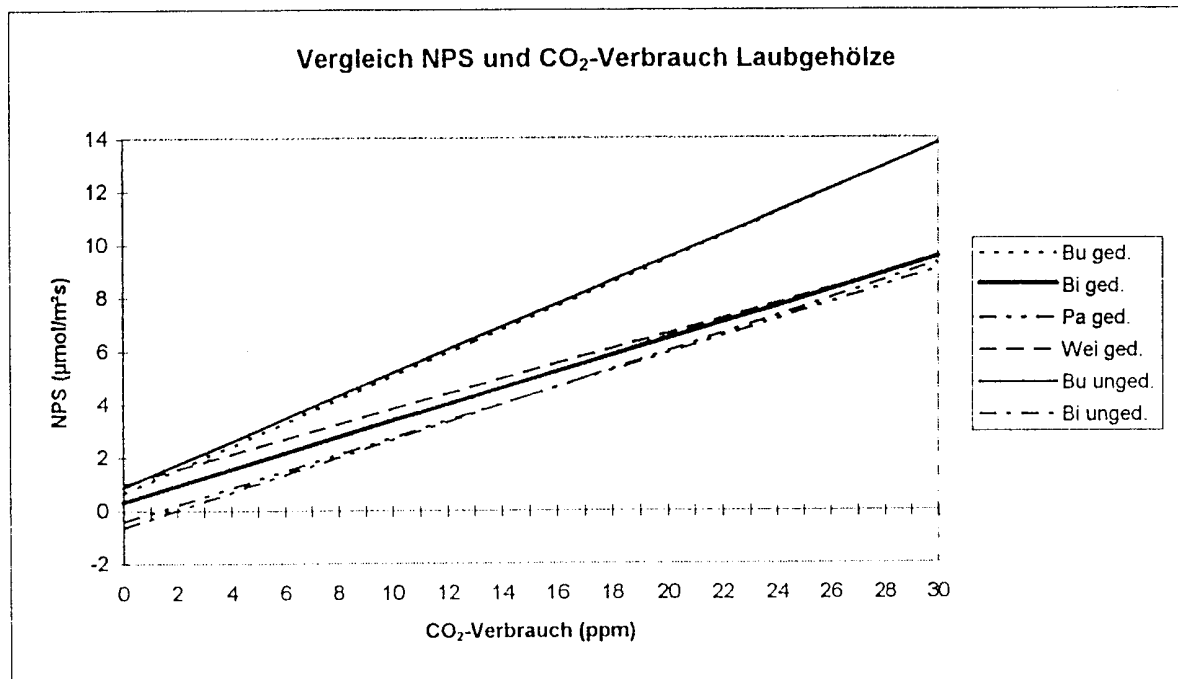
Abb.: 2/1: Vergleich der NPS (Mittelwerte) von verschiedenen Laubgehölzen



Tab. 2/1: Prozentuale Differenzen zwischen den durchschnittlichen NPS-Raten von verschiedenen Laubgehölzen aus Abbildung 2/1

	Rotbuche gedüngt	Rotbuche ungedüngt	Birke gedüngt	Birke ungedüngt	Zitter-Pappel gedüngt	Salweide gedüngt
durchschnittl. NPS-Rate (μmol/m²s)	7,91	7,13	9,54	9,13	7,62	7,98
Differenz (%) zu Rotbuche gedüngt	0	- 9,86	20,61	15,42	- 3,67	0,88

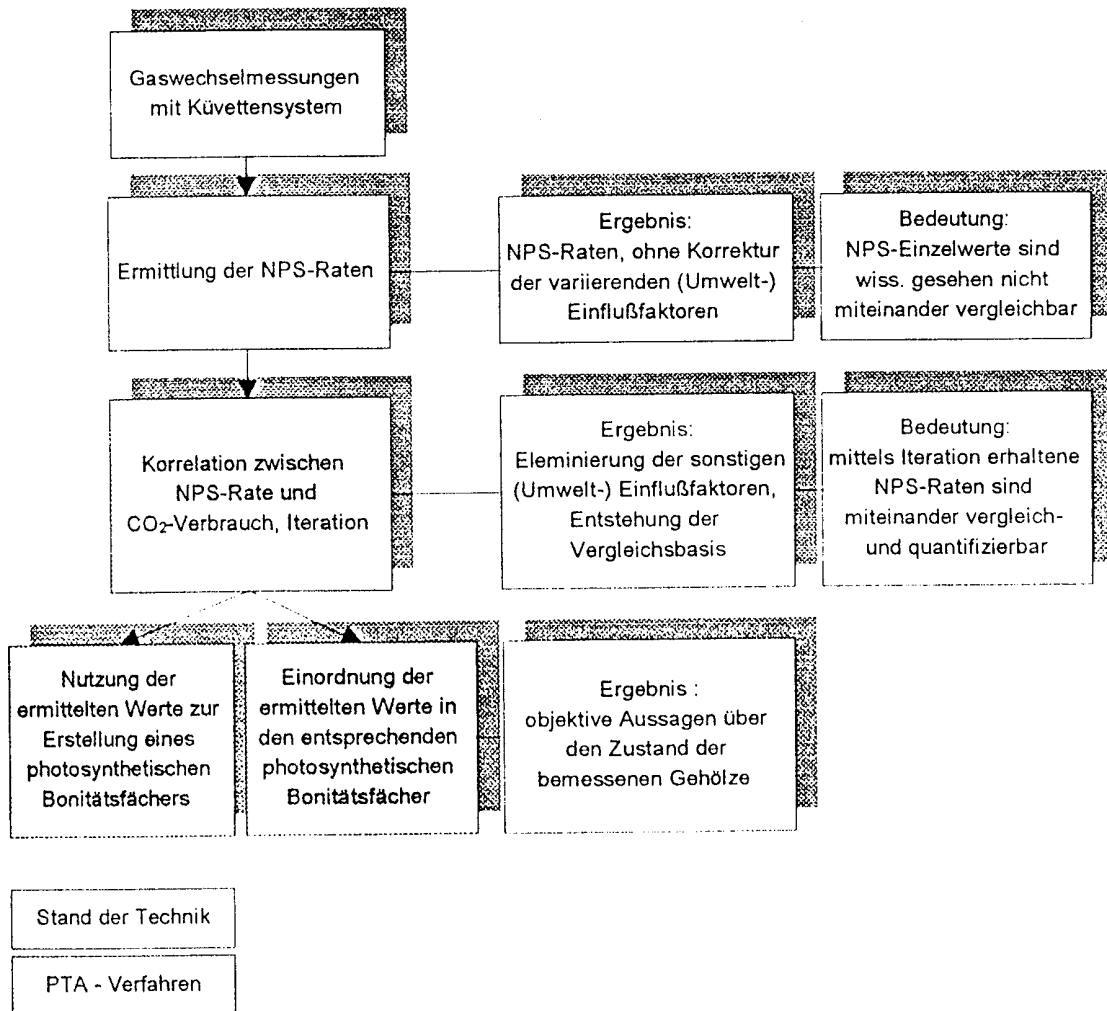
Abb.: 2/2: Vergleich NPS und CO₂-Verbrauch von verschiedenen Laubgehölzen nach PTA-Verfahren



Tab. 2/2: Prozentuale Differenzen zwischen den durchschnittlichen NPS-Raten von verschiedenen Laubgehölzen aus Abbildung 2/2

	Rotbuche gedüngt	Rotbuche ungedüngt	Birke gedüngt	Birke ungedüngt	Zitter-Pappel gedüngt	Salweide gedüngt
durchschnittl. CO ₂ - Verbrauch (ppm)	13,9	14,7	30,0	29,5	25,4	25,0
durchschnittl. NPS- Rate (μmol/m²s)	6,75	7,21	9,52	9,14	7,62	8,08
Differenz (%) zu Rotbuche gedüngt	0	6,81	41,04	35,41	12,92	19,7

Abb. 3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/DE 99/00061

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 G01N33/497 G01N33/00

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)

IPC 6 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 practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	SNEL J F H ET AL: "ASSESSMENT OF STRESS IN PLANTS BY ANALYSIS OF PHOTOSYNTHETIC PERFORMANCE" TRAC, TRENDS IN ANALYTICAL CHEMISTRY, vol. 10, no. 1, 1 January 1991, pages 26-30, XP000109763 see the whole document	1
A	DE 44 14 883 A (LEUNA-WERKE GMBH) 2 November 1995 see the whole document	1-3
	-/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in 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 document 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

15 June 1999

Date of mailing of the international search report

23/06/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Bosma, R

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 99/00061

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JAYASEKARA C ET AL: "Photosynthetic characteristics of tropical tree species with special reference to palms" ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT, vol. 36, no. 6, 9 June 1995, page 919-922 XP004040006 see the whole document ---	1
A	RICKS G R ET AL: "EFFECTS OF ATMOSPHERIC POLLUTION ON DECIDUOUS WOODLAND PART 3: EFFECTS ON PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS OF LEAVES OF QUERCUS PETRAEA (MATTUSCHKA) LEIBL" ENVIRONMENTAL POLLUTION, vol. 8, 1 January 1975, pages 97-106, XP002067949 see the whole document ---	1
A	DE 35 30 669 A (HEINZ WALZ MESS UND REGELTECHN) 16 January 1986 cited in the application see page 8, line 1 - page 14, line 8; figures ---	1-3
A	US 4 768 390 A (BAKER NEIL R ET AL) 6 September 1988 see column 1, line 64 - column 4, line 42; figures -----	1-3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 99/00061

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 4414883 A	02-11-1995	NONE	
DE 3530669 A	16-01-1986	NONE	
US 4768390 A	06-09-1988	AT 73231 T	15-03-1992
		AU 576301 B	18-08-1988
		AU 5997686 A	07-01-1987
		CA 1266997 A	27-03-1990
		DE 3684054 A	09-04-1992
		EP 0209247 A	21-01-1987
		WO 8607461 A	18-12-1986
		JP 62503126 T	10-12-1987

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 99/00061

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 6 G01N33/497 G01N33/00

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 6 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)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie ^o	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	SNEL J F H ET AL: "ASSESSMENT OF STRESS IN PLANTS BY ANALYSIS OF PHOTOSYNTHETIC PERFORMANCE" TRAC, TRENDS IN ANALYTICAL CHEMISTRY, Bd. 10, Nr. 1, 1. Januar 1991, Seiten 26-30, XP000109763 siehe das ganze Dokument ---	1
A	DE 44 14 883 A (LEUNA-WERKE GMBH) 2. November 1995 siehe das ganze Dokument --- -/-	1-3

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

^o Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

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

"E" älteres Dokument, 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 anderen 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

15. Juni 1999

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

23/06/1999

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Bosma, R

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	JAYASEKARA C ET AL: "Photosynthetic characteristics of tropical tree species with special reference to palms" ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT, Bd. 36, Nr. 6, 9. Juni 1995, Seite 919-922 XP004040006 siehe das ganze Dokument ---	1
A	RICKS G R ET AL: "EFFECTS OF ATMOSPHERIC POLLUTION ON DECIDUOUS WOODLAND PART 3: EFFECTS ON PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS OF LEAVES OF QUERCUS PETRAEA (MATTUSCHKA) LEIBL" ENVIRONMENTAL POLLUTION, Bd. 8, 1. Januar 1975, Seiten 97-106, XP002067949 siehe das ganze Dokument ---	1
A	DE 35 30 669 A (HEINZ WALZ MESS UND REGELTECHN) 16. Januar 1986 in der Anmeldung erwähnt siehe Seite 8, Zeile 1 - Seite 14, Zeile 8; Abbildungen ---	1-3
A	US 4 768 390 A (BAKER NEIL R ET AL) 6. September 1988 siehe Spalte 1, Zeile 64 - Spalte 4, Zeile 42; Abbildungen -----	1-3

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 99/00061

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 4414883 A	02-11-1995	KEINE	
DE 3530669 A	16-01-1986	KEINE	
US 4768390 A	06-09-1988	AT 73231 T	15-03-1992
		AU 576301 B	18-08-1988
		AU 5997686 A	07-01-1987
		CA 1266997 A	27-03-1990
		DE 3684054 A	09-04-1992
		EP 0209247 A	21-01-1987
		WO 8607461 A	18-12-1986
		JP 62503126 T	10-12-1987