



(10) **DE 10 2009 025 261 B4** 2011.02.24

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2009 025 261.4**
(22) Anmeldetag: **17.06.2009**
(43) Offenlegungstag: **05.01.2011**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **24.02.2011**

(51) Int Cl.⁸: **G01N 21/25** (2006.01)
G01N 21/01 (2006.01)
G01N 21/03 (2006.01)
G01J 3/02 (2006.01)
G01N 33/18 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**IFE Innovative Forschungs- und Entwicklungs
GmbH & Co. KG, 24955 Harrislee, DE**

(74) Vertreter:
**PAe Reinhard, Skuhra, Weise & Partner GbR,
80801 München**

(72) Erfinder:
**Willuweit, Thomas, 95030 Hof, DE; Sack, Achim,
95444 Bayreuth, DE; Griesbach, Ralf, 95030 Hof,
DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

| | | |
|-----------|-------------------|-----------|
| DE | 100 08 517 | C2 |
| DE | 101 49 879 | A1 |
| US | 57 12 710 | A |
| WO | 95/11 445 | A1 |

(54) Bezeichnung: **Portables küvettenloses Tauchspektrophotometer**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein portables küvettenloses Spektrophotometer zur Bestimmung von Analyten-Konzentrationen durch Eintauchen in Fluidproben, bei dem die Lichtquelle und/oder der Photodetektor relativ zueinander bewegbar sind und das mit einer netzunabhängigen Stromversorgung und einer digitalen Anzeigeeinrichtung für das Messergebnis versehen ist.

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein portables küvettenloses Tauchspektrophotometer wie in Patentanspruch 1 definiert.

[0002] Spektrophotometer und deren Verwendung in analytischen Messverfahren zur qualitativen und quantitativen Bestimmung von Analyten in Flüssigkeiten oder Gasen (allgemein: Fluiden) sind dem Fachmann gut bekannt. Im Handel gibt es eine Vielzahl von Gerätetypen für die unterschiedlichsten Zwecke, und es dürfte praktisch kein Labor geben, in dem nicht ein Spektrophotometer zur Verfügung steht. Die Spektrophotometrie beruht auf dem bekannten physikalischen Phänomen, dass die von einer Lichtquelle ausgehende Strahlungsleistung infolge des Durchtritts durch ein lichtdurchlässiges Medium eine Schwächung (Extinktion) erfährt, die proportional zur Konzentration und zur Schichtdicke des Mediums ist. Dieser physikalische Zusammenhang wird durch das Lambert-Beersche-Extinktionsgesetz definiert.

[0003] Bei den bekannten Spektrophotometern handelt es sich um mehr oder weniger groß dimensionierte Geräte ohne netzunabhängige Stromversorgung, die daher stationär im Labor betrieben werden müssen. Außerdem muss die Messlösung in eine sog. Küvette oder Messzelle pipettiert werden, die dann zur Extinktionsmessung in dem Gerät angeordnet wird. Die handelsüblichen Küvetten haben meist eine feste Schichtdicke von 1 cm. Benötigt man eine größere Schichtdicke, z. B. bei sehr niedrigen Messkonzentrationen, muss eine entsprechend anders dimensionierte Küvette verwendet werden. Im Betrieb außerhalb des Labors ist die Verwendung von Küvetten mit unterschiedlicher Schichtdicke umständlich. Hinzu kommt, dass Küvetten durch die Berührung mit den Fingern leicht verschmutzen, oder auch leicht versehentlich fallengelassen werden und zerbrechen. Auch Befüllen der Küvette mit einer Pipette ist außerhalb des Labors umständlich.

[0004] Die Druckschrift DE 100 08 517 A1 offenbart ein optisches Meßsystem zur Bestimmung der Konzentration insbesondere trüber Flüssigkeitsproben mit einem Meßvolumen zur Aufnahme der zu messenden Flüssigkeitsprobe, mehreren Photometerkanälen und einer Auswerteeinrichtung.

[0005] Aufgabe der Erfindung ist, die Bereitstellung eines Spektrophotometers, dass die oben geschilderten Nachteile der bekannten Geräte vermeidet. Diese Aufgabe wird mit dem in Anspruch 1 definierten erfindungsgemäßen portablen küvettenlosen Tauchspektrophotometer gelöst.

[0006] Vorteilhafte und/oder bevorzugte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen portablen küvettenlosen Tauchspektrophotometer sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0007] Die Erfindung betrifft also ein portables küvettenloses Tauchspektrophotometer zur Bestimmung von Analyten-Konzentrationen in Fluidproben mit

- a) einer Lichtquelle und einem Photodetektor, die auf einer gemeinsamen optischen Achse angeordnet sind, wobei die Lichtquelle aus mehreren Licht unterschiedlicher Wellenlänge emittierenden Dioden (LED-Array) besteht, die im wesentlichen parallel zur optischen Achse angeordnet sind,
- b) einer Steuer/Auswerteeinrichtung, welche die Analyten-Konzentration in der Fluidprobe aufgrund der von dem Photodetektor gelieferten Messwerte ermittelt, bei dem
- c) die Lichtquelle und der Photodetektor auf oder in einem ausreichend verwindungs- und biegesteifen Trägersystem angeordnet sind und zwischen sich eine küvettenlose Messstrecke definieren, die durch Eintauchen des Spektrophotometers in die zu messenden Fluidprobe selbständig gefüllt wird, wobei die Lichtquelle und/oder der Photodetektor im Strahlengang relativ zueinander bewegbar sind, und
- d) das portable Spektrophotometer mit einer netzunabhängigen Stromversorgung und einer digitalen Anzeigeeinrichtung für das Messergebnis versehen ist.

[0008] "Fluid" ist der Oberbegriff für Flüssigkeiten und Gase.

[0009] Das Trägersystem für die Lichtquelle und den Photodetektor kann z. B. eine Schiene oder ein Stab aus einem Kunststoff ausreichender Verwindungs- und Biegesteifigkeit sein. Geeignete Kunststoffe lassen sich durch einfache Versuche ermitteln. Das gleiche gilt auch für geeignete Abmessungen des Trägersystems. Es ist klar, dass die Materialeigenschaften und die Abmessungen des Trägersystems sich gegenseitig beeinflussen. Wenn also ein Material z. B. eine hohe Biegesteifigkeit hat, kann z. B. eine Trägerschiene daraus dünner sein. Das Trägersystem kann z. B. auch rohr- bzw. stiftförmig sein. Lichtquelle und Photodetektor können dann z. B. auf der Innenseite des Rohres oder Stiftes angeordnet sein. Insbesondere besteht das Trägersystem aus einem transparenten Kunststoff.

[0010] Vorzugsweise emittieren die LEDs der Lichtquelle nahezu monochromatisches Licht im Wellenlängenbereich 200 bis 1000 nm, z. B. 250–750 nm oder 900 nm. Bei Messungen in Gasen können die Messwellenlängen auch im Bereich 1.000 bis 5.000 nm liegen. Grundsätzlich lassen sich alle Messwellenlängen realisieren, die für ein bestimmtes Messproblem zweckdienlich oder erwünscht sind. Es kann sich um mehrere unterschiedliche LEDs handeln, z. B. in Form eines LED-Arrays, deren Emissionswellenlängenbereiche unterschiedlich sind, sich aber auch teilweise überlappen können. Die Wellenlängenbereiche hängen dabei von dem zu bestimmenden Analyten ab. LEDs oder LED-Arrays mit geeigneten Wellenlängenbereichen und geeigneter Dimensionierung sind im Handel erhältlich. Da das erfindungsgemäße Spektralphotometer zum Messen in die Fluidprobe eingetaucht wird, befindet sich die Lichtquelle (z. B. LED oder LED-Array) in einem gegen Eindringen des Fluids abgedichteten und gegen das Fluid resistenten Gehäuse geeigneter Dimensionierung.

[0011] Als Photodetektor dient z. B. eine Photodiode. Photodioden mit geeigneter Empfindlichkeit, spektraler Bandbreite und geeigneter Dimensionierung sind im Handel erhältlich. Da das erfindungsgemäße Spektralphotometer zum Messen in Fluidprobe eingetaucht wird, befindet sich der Photodetektor in einem gegen Eindringen des Fluids abgedichteten und gegen das Fluid resistenten Gehäuse geeigneter Dimensionierung.

[0012] Vorzugsweise sind im Strahlengang zwischen Lichtquelle und Photodetektor Blenden zum Ausfiltern von gestreutem oder reflektiertem Licht angeordnet. Die Blenden können in das fluiddichte Gehäuse des Photodetektors integriert sein. Im einfachsten Fall handelt es sich um eine Lochblende, bei der das einfallende Licht von der Lichtquelle durch ein für Licht der gewählten Wellenlänge durchlässiges Fenster fällt, z. B. ein Fenster aus Quarzglas oder aus einem UV-durchlässigen Kunststoff. Auch die Lichtquelle kann mit einer derartigen Blende versehen werden, wenn dies erforderlich oder gewünscht ist.

[0013] Der Photodetektor ist mit einem Analog-Digitalwandler verbunden, der die Messdaten digitalisiert und so in eine elektronisch verarbeitbare Form bringt. Ein programmierbarer Mikroprozessor übernimmt die Steuerung des Spektralphotometers, z. B. die Ansteuerung der LEDs, des Analog-Digitalwandlers und der digitalen Anzeigeeinrichtung, die Kalibrierung bzw. Eichung, sowie die Auswertung der Messergebnisse, z. B. die Bestimmung der Analyten-Konzentration aus der gemessenen Extinktion bei einer bestimmten Messwellenlänge, dem bekannten molaren dekadischen Extinktionskoeffizienten und der bekannten Schichtdicke der Fluidprobe. Die Messwerte können in eine geeignete Einheit umgerechnet und alphanumerisch von der digitalen Anzeigeeinrichtung angezeigt werden. Geeignete Analog-Digitalwandler, digitale Anzeigeeinrichtungen und programmierbare Mikroprozessoren sind im Handel erhältlich.

[0014] Das erfindungsgemäße Spektralphotometers ist aufgrund seiner geringen Abmessungen und der netzunabhängigen Stromversorgung (z. B. über eine Batterie) besonders für den Außeneinsatz, d. h. außerhalb des Labors, geeignet. Die einfache Bedienbarkeit (gemessen wird durch Eintauchen in die Fluidprobe) in Verbindung mit der automatischen Auswertung macht es besonders auch für Laienanwender geeignet, beispielsweise bei der Abwasseruntersuchung in Drittweltländern oder zur Überwachung von Schwimmbadwasser.

[0015] Ein Vorteil des erfindungsgemäßen Spektralphotometers ist, dass die Lichtquelle und der Photodetektor im Strahlengang im Bereich 0,5–5 cm relativ zueinander bewegbar sind, so dass Schichtdicken von 0,5 cm bis 5 cm eingestellt werden können. Eine gängige Schichtdicke ist 1 cm oder 2 cm. Beispielsweise können Lichtquelle und Photodetektor auf dem Trägersystem auf Schienen gegeneinander verschiebbar sein. Alternativ kann das Trägersystem selbst teleskopartig verlänger- oder verkürzbar sein, beispielsweise mit Hilfe eines Federmechanismus mit entsprechend beabstandeten Arretierungen. Bei einem rohr- oder stiftförmigen Trägersystem könnte ein geeignetes Schraubengewinde eingesetzt werden, das je nach gewünschter Schichtdicke rein- oder rausgedreht wird. Grundsätzlich bestehen hier keine besonderen Beschränkungen solange der eingestellte Abstand und damit die Schichtdicke hinreichend genau eingestellt werden kann und dies auch bleibt. Der genaue eingestellte Abstand kann beispielsweise mit einer normgefärbten Lösung durch Messen von deren Extinktion und Vergleich mit deren bekannten Extinktion und Konzentration mit Hilfe des Lambert-Beer'schen Gesetzes bestimmt werden.

[0016] Daher können anders als bei bekannten Geräten leicht variable, z. B. größere, Schichtdicken eingestellt werden, was bei sehr niedrigen Messkonzentrationen erwünscht sein kann. Umgekehrt kann bei sehr hohen Messkonzentrationen leicht eine kleinere Schichtdicke eingestellt werden. Bei den bekannten Geräten müssten mehrere Küvetten mit unterschiedlichen Schichtdicken mitgeführt werden, um bei einem Außeneinsatz auf alle Eventualitäten vorbereitet zu sein. Selbstverständlich könnten auch Schichtdicken unterhalb 0,5 cm oder oberhalb 5 cm eingestellt werden, da physikalisch grundsätzlich nichts dagegen spricht. Es handelt sich hierbei nur um den Bereich, in dem handelsübliche Küvetten dimensioniert sind.

[0017] Es ist klar, dass z. B. zu konzentrierte Proben auch verdünnt werden könnten, statt die Schichtdicke zu verringern, oder dass der Strahlengang durch die Fluidprobe mit zu geringer Konzentration auch durch ein Spiegelsystem verlängert werden könnte.

[0018] Das erfindungsgemäße portable Spektrophotometer eignet sich zur Messung der unterschiedlichsten Fluide. Bei der Fluidprobe kann es sich z. B. um ein Gas, eine Flüssigkeit (z. B. auch eine Körperflüssigkeit: wie Serum) oder ein Gemisch (z. B. Nebel oder Rauch) daraus handeln. Vorzugsweise wird das erfindungsgemäße portable Spektrophotometer zur Bestimmung der Konzentration von gelösten Wasserinhaltsstoffen eingesetzt. Die Wasserprobe kann beispielsweise aus einem Aquarium, Gartenteich oder Schwimmbad stammen. Es kann sich auch um eine Abwasserprobe handeln. In Bezug auf die Herkunft des Wasser gibt es keine Beschränkungen.

[0019] Beispiele für mit dem erfindungsgemäßen portable Spektrophotometer bestimmbare Wasserinhaltsstoffe sind Sauerstoff, Ozon, Chlor (freies Chlor, Gesamtchlor), Stickstoffverbindungen (Gesamtstickstoff), Kalium, Eisen, Zink, Schwermetalle, Ammonium, Cyanursäure, Cyanid, Harnstoff, Carbonat (Wasserhärte), Wasserstoffperoxid, Chlorid, Nitrit, Nitrat oder Phosphat. Insbesondere kann mit dem erfindungsgemäßen portablen Spektrophotometer auch der pH-Wert einer Wasserprobe bestimmt werden. Dazu wird diese mit z. B. einem einkomponentigen Indikator wie Phenolrot oder mit einem zweikomponentigen Mischindikator (z. B. Bromthymolblau/Thymolblau) versetzt, der dann photometrisch vermessen wird. Der verwendete Indikator wird vom Gerät automatisch erkannt.

[0020] Selbstverständlich können mit dem erfindungsgemäßen portablen Spektrophotometer auch nephelometrische Trübungsmessungen durchgeführt werden.

[0021] Das erfindungsgemäße portable Spektrophotometer kann auch zur Nährstoffkontrolle von Böden in der Land- und Forstwirtschaft verwendet werden.

[0022] Das erfindungsgemäße portable Spektrophotometer eignet sich ferner zur Messung von Gasproben, z. B. zur Bestimmung der Konzentration von Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Wasser oder Alkoholen in der Luft.

[0023] Geeignete Vorschriften (z. B. zur Probengewinnung, -vorbereitung und -handhabung, Standards, Nachweisreagenzien, geeignete Messwellenlängen etc.) zur photometrischen Bestimmung einer Vielzahl von Analyten in Wasser finden sich in z. B. "Deutsche Einheitsverfahren (DEV) zur Wasseruntersuchung", die dem Fachmann geläufig sind.

[0024] Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen portablen Spektrophotometers ist seine Kompatibilität zu handelsüblichen Schnelltests. Schnelltests für nahezu jeden Analyten, z. B. für Chlor, sind beispielsweise von den Firmen Fluka oder Merck erhältlich. Bei der Vermessung der bei solchen Schnelltests mitgelieferten Standards zur Kalibrierung bzw. Eichung erkennt das erfindungsgemäße portable Spektrophotometer mit Hilfe einer entsprechend programmierten Datenbank, die z. B. das charakteristische Absorptionsspektrum als spektralen "Fingerabdruck" enthält, automatisch das einzusetzende Messverfahren (z. B. die geeignete Messwellenlänge). Das gewählte Messverfahren wird auf der digitalen Anzeigeeinrichtung des erfindungsgemäßen portablen Spektrophotometers angezeigt. Selbstverständlich ist es aber auch möglich, das einzusetzende Messverfahren manuell zu wählen. Herstellerbedingte Variationen eines bestimmten Standards werden ebenfalls in der Datenbank berücksichtigt und ggf. korrigiert.

[0025] Im Folgenden wird das erfindungsgemäße portable Spektrophotometer ohne Einschränkung und lediglich beispielhaft detaillierter beschrieben.

[0026] Eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen portablen Spektrophotometers besteht im wesentlichen aus den folgenden Bausteinen:

- Einer Lichtquelle in Form eines Arrays aus LEDs (z. B. Typ: OP291A, HLMP-CM36, L-7113UVC, L-53SRC-DV), von dem jede Leuchtdiode einzeln angesteuert werden kann. Zur Strombegrenzung sind jeweils Vorwiderstände eingebaut.
- Einem Photodetektor in Form einer Photodiode (z. B. Typ: FH229) mit Auswertschaltung. Die Photodiode ist mit einem Operationsverstärker (z. B. Typ: MCP 6001-E/OT) so beschaltet, dass der von der Photodiode erzeugte Ausgangsstrom I_{photo} in eine zu dem Strom lineare Spannung $U_{\text{photo}} = I_{\text{photo}} \cdot 10000 \cdot V/A$ umgewandelt wird. Die so erhaltene Spannung ist direkt proportional zu der auf die Photodiode fallenden Lichtintensität. Die Spannung U_{photo} wird auf den Eingang eines 18 Bit Delta Sigma Analog-zu-Digital-Wandlers (z. B. Typ: MCP3421A0T-E/OT) gegeben und von diesem in ein digitales Signal umgewandelt.

Der AD-Wandler hat bereits intern noch einmal eine über Software einstellbare Verstärkung von 1- bis 8-fach. Bei Bedarf kann damit der Messbereich angepasst werden.

- Einem Mikroprozessor bzw. Mikrocontroller (z. B. Typ: PIC18F1220), der die Ansteuerung der LEDs und des AD-Wandlers übernimmt, den Messablauf steuert und die Messwerte in Klartext und in eine geeignete Einheit umgerechnet auf einem Display ausgibt.
- Einem Display, auf dem die Messwerte alphanumerisch ausgegeben werden können.
- Einem Step-Up-Spannungswandler (z. B. Typ: XC9119D10AMR), der die Elektronik im Messbetrieb mit stabilisierten 5V-Spannung versorgt. Befindet sich das Gerät im Standby, wird die unstabilisierte Batteriespannung der CR2032-Knopfzelle (etwa 3V, Typ lediglich beispielhaft) zur Versorgung des Prozessors verwendet. Um Strom zu sparen, ist im Standby die gesamte Peripherie (Photodiode, A/D-Wandler und Display) stromlos.

[0027] Der mechanische Aufbau ähnelt bei einer Ausführungsform einem Stift, wobei der größte Teil der Vorderseite von dem Display eingenommen wird. Einige wenige Taster ermöglichen das Einstellen des zu messenden Parameters und das Auslösen einer Messung.

[0028] Die Messzelle ist ein Teil des Gehäuses. Eine Kalibrierung des erfindungsgemäßen portablen Spektrophotometers kann wegen des küvettenlosen Betriebs entfallen, da anders als bei bekannten Geräten keine sich ändernden Küvetten verwendet werden.

[0029] Das LED-Array und die Photodiode zur Absorptionsmessung befinden sich auf zwei zueinander planparallelen Flächen der Messzelle, so dass das Messvolumen direkt durchstrahlt wird, und das transmittierte Licht auf die Photodiode fällt. Um Umgebungslicht und Licht der LEDs, das innerhalb der Messzelle reflektiert wird, abzuschirmen, sind einfache Blenden vorgesehen.

Messung

[0030] Ausgegangen wird von einer Ionenkonzentration $C(\text{Ion})$ in der zu untersuchenden Lösung.

[0031] In einen ersten Schritt wird durch die Zugabe eines Nachweisreagenz aus den Ionen ein Farbstoffkomplex gebildet. Das Nachweisreagenz wird hierbei im Überschuss in die Lösung gegeben, so dass eine vollständige Umsetzung aller nachzuweisenden Ionen in den Farbstoffkomplex gegeben ist. In der Reaktion



liegt das Reaktionsgleichgewicht auf der rechten Seite.

[0032] Die Menge des gebildeten Farbstoffes steht damit in linearem Zusammenhang mit der Konzentration der Ionen:

$$C(\text{Farbstoff}) = A \cdot C(\text{Ion})$$

[0033] Der gebildete Farbstoff zeigt charakteristische Absorptionsbanden, die je nach verwendetem Nachweisreagenz vom Infrarotbereich bis in den ultravioletten Bereich reichen. Es muss nicht im Absorptionsmaximum gemessen werden (sog. Lambda-max-Messung). Indem die Probe mit dem Licht einer geeignet gewählten LED durchstrahlt wird, lässt sich die Absorption des Farbstoffes messen, und über das Lambert-Beersche Gesetz die Farbstoff- und damit auch die Ionenkonzentration berechnen.

[0034] In folgenden ist:

I_0 die von der Photodiode empfangene Intensität der LED ohne Farbstoffkomplex

I die von der Photodiode empfangene Intensität der LED mit Farbstoffkomplex

a gibt an, wie empfindlich die Photodiode auf das Licht der LED reagiert

b drückt das spezifische Absorptionsverhalten des Farbstoffes aus

(a und b sind wellenlängenabhängig)

[0035] Das Lambert-Beersche Gesetz

$$I/I_0 = -\exp(-b \cdot C(\text{Farbstoff}))$$

gibt die Abschwächung des transmittierten Lichts als Funktion der Ionenkonzentration an.

[0036] Ist die Transmittivität

$$T = I/I_0$$

bekannt, kann daraus auf die Ionenkonzentration $C(\text{Ion})$ geschlossen werden:

$$C(\text{Ion}) = C(\text{Farbstoff})/A = -1/(A \cdot b) \cdot \ln(T)$$

[0037] Die von der Photodiode empfangene Helligkeit setzt sich aus zwei Bestandteilen zusammen: Aus dem durch die Messzelle gestrahlten Licht der LED und aus dem seitlich eingestrahlt Licht der Umgebung. Die Photospannung, die der A/D-Wandler umwandelt, verhält sich also folgendermaßen:

$$U_{\text{photo}} = a \cdot (I(\text{Umgebung}) + I(\text{LED}))$$

[0038] Dabei ist a ein Proportionalitätsfaktor, der von der Empfindlichkeit der LED, dem optischen Aufbau und der elektrischen Verstärkung des Photostroms abhängig ist.

[0039] Durch eine Dunkelmessung mit abgeschalteter LED

$$U_{\text{photo_dunkel}} = a \cdot I(\text{Umgebung})$$

und der Subtraktion von der Photospannung mit eingeschalteter LED lässt sich bis auf den Faktor a die scheinbare Helligkeit der LED bestimmen:

$$U_{\text{photo}} - U_{\text{photo_dunkel}} = a \cdot I(\text{LED}) \Rightarrow I(\text{LED}) \cdot a = U_{\text{photo}} - U_{\text{photo_dunkel}}$$

[0040] Um die Transmittivität zu bestimmen muss diese Messung zweimal durchgeführt werden: Einmal mit der zu untersuchenden Probe, in die allerdings noch keine Nachweisreagenz gegeben wurde, und einmal mit der mit Reagenz versetzten Probe.

[0041] Der erhaltene Wert für $I(\text{LED}) \cdot a$ OHNE Reagenz wird I_0 genannt, der MIT Reagenz I .

[0042] Bei der Berechnung der Transmittivität $T = I/I_0$ fällt der Faktor a weg.

[0043] Zusammengefasst erhält man:

$$C(\text{Ion}) = -\frac{1}{A \cdot b} \cdot \ln \frac{U_{\text{photo, mit Farbstoff}} - U_{\text{photo, dunkel, mit Farbstoff}}}{U_{\text{photo, ohne Farbstoff}} - U_{\text{photo, dunkel, ohne Farbstoff}}}$$

[0044] Es sei darauf hingewiesen, dass sich in der Konstanten a nicht nur die Empfindlichkeit der Photodiode für die verwendete Wellenlänge ausdrückt, sondern auch eine durch eine Trübung der Probe hervorgerufene Abschwächung des Lichts der LED und der Umgebung. Indem mit einer ersten Messung ohne Farbstoff die scheinbare Helligkeit der LED vermessen wird, kann dieser Faktor vollständig eliminiert werden, so dass auch leicht trübe Proben vermessen werden können.

Bestimmung der Art des in der Probe enthaltenen Farbstoffes

[0045] Da in dem Spektrometer verschieden farbige LEDs verbaut sind, ist es möglich das Absorptionsspektrum des Farbstoffes an mehreren Stellen abzutasten. Das so erhaltene Punktspektrum ist für jeden Farbstoff charakteristisch, und durch den Vergleich mit in einer Datenbank abgespeicherten Spektren kann auf den vorliegenden Farbstoff, und damit auch auf die nachzuweisenden Ionen geschlossen werden. Eine manuelle Eingabe, welche Ionen nachgewiesen werden sollen, entfällt damit.

Patentansprüche

1. Portables küvettenloses Tauchspektrophotometer zur Bestimmung von Analyten-Konzentrationen in Fluidproben mit

a) einer Lichtquelle, und einem Photodetektor, die auf einer gemeinsamen optischen Achse angeordnet sind; wobei die Lichtquelle aus mehreren Licht unterschiedlicher Wellenlänge emittierenden Dioden (LED-Array) besteht, die im wesentlichen parallel zur optischen Achse angeordnet sind,

b) einer Steuer/Auswerteeinrichtung, welche die Analyten-Konzentration in der Fluidprobe aufgrund der von dem Photodetektor gelieferten Messwerte ermittelt,

dadurch gekennzeichnet, dass

c) die Lichtquelle und der Photodetektor auf oder in einem ausreichend verwindungs- und biegesteifen Trägersystem angeordnet sind und zwischen sich eine küvettenlose Messstrecke definieren, die durch Eintauchen des Spektrophotometers in die zu messenden Fluidprobe selbständig gefüllt wird, wobei die Lichtquelle und/oder der Photodetektor im Strahlengang relativ zueinander bewegbar sind, und

d) das portable Spektrophotometer mit einer netzunabhängigen Stromversorgung und einer digitalen Anzeigeeinrichtung für das Messergebnis versehen ist.

2. Portables Spektrophotometer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die LEDs nahezu monochromatisches Licht der Wellenlängen 250–750 nm emittieren.

3. Portables Spektrophotometer nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Photodetektor eine Photodiode ist.

4. Portables Spektrophotometer nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Strahlengang zwischen Lichtquelle und Photodetektor Blenden zum Ausfiltern von gestreutem oder reflektiertem Licht angeordnet sind.

5. Portables Spektrophotometer nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Photodetektor mit einem Analog-Digitalwandler verbunden ist.

6. Portables Spektrophotometer nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuer/Auswerteeinrichtung auf einem programmierbaren Mikroprozessor basiert.

7. Portables Spektrophotometer nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Mikroprozessor die Ansteuerung der LEDs, des Analog-Digitalwandlers und der digitalen Anzeigeeinrichtung übernimmt.

8. Portables Spektrophotometer nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die digitale Anzeigeeinrichtung die Messwerte alphanumerisch und in eine geeignete Einheit umgerechnet anzeigt.

9. Portables Spektrophotometer nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtquelle und der Photodetektor im Strahlengang im Bereich 0,5–5 cm relativ zueinander bewegbar sind.

10. Portables Spektrophotometer nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die netzunabhängige Stromversorgung eine Batterie ist.

11. Portables Spektrophotometer nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es sich bei der zu messenden Fluidprobe um ein Gas, eine Flüssigkeit oder ein Gemisch daraus handelt.

12. Verwendung des portablen Spektrophotometers nach einem der vorstehenden Ansprüche, zur Bestimmung der Konzentration von gelösten Wasserinhaltsstoffen.

13. Verwendung nach Anspruch 12, wobei die gelösten Wasserinhaltsstoffe unter Sauerstoff, Ozon, Chlor (freies Chlor, Gesamtchlor), Stickstoffverbindungen (Gesamtstickstoff), Kalium, Eisen, Zink, Schwermetalle, Ammonium, Cyanursäure, Cyanid, Harnstoff, Carbonat (Wasserhärte), Wasserstoffperoxid, Chlorid, Nitrit, Nitrat oder Phosphat ausgewählt sind.

14. Verwendung des portablen Spektrophotometers nach einem der vorstehenden Ansprüche, zur Nährstoffkontrolle von Böden in der Land- und Forstwirtschaft.

15. Verwendung des portablen Spektrophotometers nach einem der vorstehenden Ansprüche, zur Bestimmung der Konzentration von Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Wasser oder Alkoholen in der Luft.

Es folgt kein Blatt Zeichnungen