

19



Octrooi Centrum  
Nederland

11 2000598

12 C OCTROOI<sup>20</sup>

21 Aanvraag om octrooi: **2000598**

51 Int.Cl.:  
**H01M8/06** (2006.01) **H01M8/16** (2006.01)

22 Ingediend: **17.04.2007**

41 Ingeschreven:  
**20.10.2008 I.E. 2008/12**

47 Dagtekening:  
**20.10.2008**

45 Uitgegeven:  
**01.12.2008 I.E. 2008/12**

73 Octrooihouder(s):  
**Wageningen Universiteit te Wageningen.  
Plant Research International B.V. te  
Wageningen.**

72 Uitvinder(s):  
**Hubertus Victor Marie Hamelers te Heelsum.  
David Petrus Bonifacius Theodorus  
Bernardus Strik te Wageningen.  
Jan Frederik Hendrik Snel te Wageningen.  
Cees Jan Nico Buisman te Harich.**

74 Gemachtigde:  
**Ir. A. van Westenbrugge c.s. te 2502 LS  
Den Haag.**

54 **Inrichting en werkwijze voor het omzetten van lichtenergie in elektrische energie.**

57 De uitvinding heeft betrekking op een inrichting die een reactor omvat, waarbij de reactor een anode-compartiment en een kathode-compartiment omvat en waarbij het anode-compartiment (a) een anodefieel micro-organisme, dat in staat is om een elektrondonerende verbinding te oxideren, en (b) een levende plant of een deel daarvan omvat. De uitvinding heeft eveneens betrekking op een werkwijze voor het omzetten van lichtenergie in elektrische energie en/of waterstof, waarbij een voeding die een elektrondonerende verbinding omvat wordt toegevoerd aan de inrichting.

NL C 2000598

De inhoud van dit octrooi komt overeen met de oorspronkelijk ingediende beschrijving met conclusie(s) en eventuele tekening(en).

Octrooi Centrum Nederland is een agentschap van het ministerie van Economische Zaken

# Inrichting en werkwijze voor het omzetten van lichtenergie in elektrische energie

## Gebied van de uitvinding

5

De onderhavige uitvinding heeft betrekking op een inrichting en een werkwijze voor het omzetten van lichtenergie in elektrische energie en/of waterstof, waarbij gebruik wordt gemaakt van een levende plant voor de omzetting van lichtenergie in een voeding voor een microbiële brandstofcel.

10

## Achtergrond van de uitvinding

Microbiële brandstofcellen zijn bekend uit de stand van de techniek. In WO 2007/006107 wordt bijvoorbeeld een microbiële brandstofcel beschreven die een reactor omvat, waarbij elke reactor een anode-compartiment, een kathode-compartiment en een membraan omvat, waarbij het membraan het anode-compartiment en het kathode-compartiment van elkaar scheidt. Het anode-compartiment bevat micro-organismen die in staat zijn om elektron-donerende organische verbindingen te oxideren, waarbij elektronen worden toegevoerd aan de anode in het anode-compartiment. Volgens WO 2007/006107 kunnen dergelijke elektron-donerende organische verbindingen glucose, sucrose, acetaat en gereduceerde verbindingen zijn zoals die voorkomen in bijvoorbeeld huishoudelijk afvalwater en bio-raffinaderij-effluents.

Andere microbiële brandstofcellen worden bijvoorbeeld beschreven in: Logan et al., 2006; Lovley, 2006a; Lovley, 2006b; Rabaey and Verstraete, 2005; Verstraete and Rabaey, 2006). De oxidatie van de elektron-donerende verbindingen kan gekatalyseerd worden door bijvoorbeeld anodefiele en/of katodefiele micro-organismen en redox-enzymen. In sommige toepassingen wordt waterstof als energiedrager in het kathode compartiment geproduceerd in plaats van elektriciteit (Liu et al., 2005; Rozendal et al., 2006).

Sommige brandstofcellen zijn zo ontworpen dat het mogelijk is fotosynthese-activiteiten te transformeren in elektriciteit. In US 3.477.879 wordt een inrichting beschreven voor het omzetten van lichtenergie in elektrische energie, waarbij de

inrichting bestaat uit een anode-compartiment dat een waterig medium bevat, waarbij dit waterige medium levende en dode algen alsmede in zeewater voorkomende mineralen met inbegrip van sulfide omvat, en een kathode-compartiment dat een waterig medium bevat, waarbij dit waterige medium bacteriën alsmede in zeewater  
5 voorkomende mineralen met inbegrip van sulfaat omvat. Het anode-compartiment en het kathode-compartiment zijn verbonden door middel van een ionenbrug of “zoutbrug”. De levende algen zijn in staat om zuurstof te produceren. Wanneer de inrichting in werking is, worden dode algen van het anode-compartiment naar het kathode-compartiment gepompt waar deze als een nutriënt dienen voor de bacteriën,  
10 die in staat zijn om sulfaat in sulfide om te zetten. Bij de omzetting van sulfaat in sulfide worden elektronen opgenomen. Sulfide wordt aan de kathode omgezet in sulfaat en waterstofionen ( $H^+$ ) waardoor elektronen aan de kathode worden afgegeven die via de anode weer worden opgenomen door zuurstof dat vervolgens wordt omgezet in hydroxide-ionen ( $OH^-$ ). De waterstofionen en hydroxide-ionen diffunderen door de  
15 zoutbrug en combineren tot water en dit sluit het elektrische circuit.

In US 4.117.202 en CA 1.099.332 wordt een biologische elektrische cel beschreven waarbij gebruik wordt gemaakt van geïsoleerde mesofiele cellen die afkomstig zijn van zogenaamde  $C_4$ -planten, d.w.z. planten die in staat zijn om  $CO_2$  om te zetten in organische verbindingen die vier koolstofatomen, bijvoorbeeld  
20 oxaalacetaat, aspartaat en malaat, bevatten. Dergelijke cellen worden ook beschreven in Rosenbaum et al., 2005a en Rosenbaum et al., 2005b. Bij deze inrichtingen worden geïsoleerde  $C_4$ -fotosyntheseplantencellen, groene algen of (waterstof producerende) bacteriën gebruikt.

Een nadeel van de microbiële brandstofcel volgens WO 2007/006107 is dat  
25 gebruik gemaakt wordt van een afvalstroom zoals huishoudelijk afvalwater. Afvalstromen zijn niet duurzaam of hernieuwbaar en door bijvoorbeeld vervoer ook niet duurzaam te verkrijgen. Voordat afvalstromen ontstaan, is al veel energie geïnvesteerd wat resulteert in een grote  $CO_2$  uitstoot van brandstoffen, bijvoorbeeld fossiele brandstoffen of radioactief afval dat vrijkomt bij het opwekken van  
30 kernenergie. Het vergroten van de afvalstroomproductie kan weliswaar wel leiden tot een grotere energie-opwekking met behulp van brandstofcellen, maar een dergelijke werkwijze verschaft geen duurzame of hernieuwbare oplossing voor de toenemende wereldwijde consumptie van elektrische energie. Het heeft dan ook de voorkeur om

energie duurzaam of hernieuwbaar te (re)genereren. De onderhavige uitvinding verschaft een oplossing om de problematiek aangaande de niet-duurzame en niet-hernieuwbare energie te reduceren.

## 5 **Samenvatting van de uitvinding**

De onderhavige uitvinding heeft betrekking op een inrichting die een reactor omvat, waarbij de reactor een anode-compartiment en een kathode-compartiment omvat en waarbij het anode-compartiment (a) een anodefiel micro-organisme, dat in staat is om een elektron-donerende verbinding te oxideren en (b) een levende plant of een deel daarvan omvat.

De onderhavige uitvinding heeft eveneens betrekking op een werkwijze voor het omzetten van lichtenergie in elektrische energie en/of waterstof, waarbij een voeding die een elektron-donerende verbinding omvat wordt toegevoerd aan een inrichting die een reactor omvat, waarbij de reactor een anode-compartiment en een kathode-compartiment omvat en waarbij het anode-compartiment (a) een anodefiel micro-organisme, dat in staat is om een elektron-donerende verbinding te oxideren, en (b) een levende plant of een deel daarvan omvat.

## 20 **Gedetailleerde beschrijving van de uitvinding**

In dit document wordt onder een levende plant of een deel daarvan een plant (of een willekeurig deel daarvan) verstaan die afkomstig is uit het rijk der planten (*Plantae*), die ten minste een eukaryotische cel met een celmembraan, die in staat is om door middel van fotosynthese lichtenergie om te zetten in een elektron-donerende verbinding, omvat. Derhalve omvat de term “levende plant of een deel daarvan” tevens afzonderlijke, eventueel niet-gedifferentieerde plantencellen die bijvoorbeeld door middel van weefselkweek zijn verkregen en die in staat te zijn om door middel van fotosynthese lichtenergie om te zetten in een elektron-donerende verbinding, planten of delen daarvan die (voor een deel) afgestorven zijn en algen.

Volgens de uitvinding wordt de elektron-donerende verbinding met behulp van een anodefiel micro-organisme omgezet in elektrische energie en/of chemische energie, bij voorkeur in de vorm van waterstof.

Het heeft volgens de uitvinding de voorkeur dat de elektron-donerende verbinding een organische verbinding is.

Voor de scheiding van het anode- en het kathode-compartiment kan een membraan worden gebruikt welke selectief ionen kan transporteren. Tevens is het  
5 mogelijk dat poreuze, niet-elektrische geleidende, niet-ion-selectieve materialen kunnen worden gebruikt. Voorbeelden van deze materialen zijn glas en kunststof. Het heeft echter de voorkeur dat een membraan wordt gebruikt welke selectief ionen kan transporteren. Bij voorkeur is het membraan een kation-selectief membraan, met meer voorkeur een proton-selectief membraan.

10 De plant of een deel daarvan is bij voorkeur of is bij voorkeur afkomstig van een zogenaamde energieplant. Een energieplant is een levende plant die bijdraagt aan duurzame energie: zonne-energie is gedurende de dag voorhanden en kan door levende planten of een deel daarvan onder meer worden vastgelegd in de vorm van een elektron-donerende verbinding, waarbij CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer wordt opgenomen.

15 Verschillende delen van een plant, bijvoorbeeld afgevallen bladeren of wortels welke niet geoogst worden, worden niet als energieplant gebruikt. Dit is een deelverlies van vernieuwbare energie. Een groot deel van de door de plant vastgelegde zonne-energie verlaat de plant ondergronds door wortelafsterving, wortelademhaling en door afscheiding van exudaat. Dit proces stimuleert de groei van bodem micro-organismen.  
20 Deze processen worden gedefinieerd als rhizodepositie. Het is vastgesteld dat bijna alle types chemische componenten van een plant door middel van wortelverlies kunnen worden verloren. Deze componenten zijn onder andere koolhydraten zoals suikers, aminozuren, organische zuren, hormonen en vitamines. Deze componenten kunnen worden ingedeeld in 4 groepen afhankelijk van hun afkomst: exudaten, secreties,  
25 lysaten en gassen. Exudaten lekken uit de wortel zonder bijkomstigheid van metabolische energie, terwijl bij secreties wel degelijk metabolische processen plaatsvinden in de plant. Lysaten zijn afkomstig van wortelafsterving. Gassen zijn ook afkomstig vanuit de wortels van de plant (Lynch, 1990). Rhizodepositie is onder meer afhankelijk van het type plant, de leeftijd en leefomstandigheden. Afgestoten plantendelen zoals vruchten, takken en bladeren kunnen bijdragen aan de toename van  
30 organische stof in de bodem. Het heeft dan ook volgens de uitvinding de voorkeur dat de plant of een deel daarvan bij voorkeur een zogenaamde energieplant of een deel daarvan is, waarbij lichtenergie via de levende plant of een deel daarvan wordt omgezet

in ten minste een elektron-donerende verbinding die vervolgens, bij voorkeur via het wortelstelsel van een levende plant, in samenwerking met een micro-organisme in elektrische energie en/of waterstof wordt omgezet.

Volgens de uitvinding kan de elektron-donerende verbinding voorkomen in exudaten, secreties, lysaten, plantaardig materiaal van afgestorven plantdelen, gassen en/of een plantaardige gom dat afkomstig is uit het wortelstelsel van een plant of een deel daarvan. De door micro-organismen geproduceerde elektronen worden getransporteerd van de anode naar een weerstand of een inrichting die elektrische energie verbruikt en vervolgens naar de kathode. Als terminale elektronen-acceptor wordt bij voorkeur zuurstof toegepast, in het bijzonder zuurstof dat afkomstig is uit de atmosfeer.

Volgens een uitvoeringsvorm volgens de onderhavige uitvinding kan de anode een anode-materiaal omvatten dat grafietkorrels, grafietvilt, grafietstaven, andere grafiet omvattende elektronen-geleiders of een combinatie van een of meer van dergelijke materialen omvat, waarbij de wortelzone van een levende plant aanwezig is in het anode-materiaal. Dat wil in het bijzonder zeggen dat de wortels van de levende plant in hoofdzaak in het anode-materiaal geplaatst zijn. Dit heeft als aanvullend voordeel dat de plant houvast heeft.

Het micro-organisme dat de elektron-donerende verbinding van de plant of een deel daarvan omzet, leeft bij voorkeur in de omgeving van de wortelzone van de levende plant (de zogenaamde rhizosfeer), waardoor het micro-organisme gemakkelijker elektronen kan afgeven aan de anode.

Volgens een verdere uitvoeringsvorm volgens de uitvinding omvat de reactor een aantal anode-compartimenten welke afgesloten zijn van de buitenomgeving (de atmosfeer).

Volgens nog een verdere uitvoeringsvorm volgens de uitvinding omvat de reactor een anode-compartiment dat geopend kan worden, zodat dit in contact kan verkeren met de buitenomgeving. Dit heeft als voordeel dat de leefcondities van de levende plant, zoals temperatuur, licht en/of vochtigheid, kunnen worden gereguleerd.

Volgens de uitvinding kan de voeding voor het anode-compartiment een of meer micro- en/of macro-nutriënten en/of water voor de levende plant of een deel daarvan of voor het micro-organisme omvatten. Bij voorkeur omvat de voeding een uitgebalanceerde hoeveelheid van micro- en/of macro-nutriënten en water.

Volgens de uitvinding heeft het de voorkeur dat het anode-compartiment een redox-mediator (ook wel bekend als elektronen shuttle) omvat waardoor elektronentransport in het anode-compartiment wordt vergemakkelijkt.

5 Volgens een verdere voorkeuringsuitvoeringsvorm omvat de inrichting een aantal componenten welke de methaanproductie in het anode-compartiment remmen of voorkomen.

Levende planten verdampen water welke bijvoorbeeld door het wortelstelsel wordt opgenomen. Zodoende is een uitvoeringsvorm van de inrichting volgens de uitvinding voorzien van een overloop voor de afvoer van overtollig toegevoegde  
10 voeding voor het anode-compartiment. In een andere voorkeursuitvoeringsvorm komt deze overloop van het anode-compartiment uit in het kathode-compartiment.

De uitvinding wordt nader toegelicht aan de hand van Figuur 1. In Figuur 1 wordt een reactor 1 getoond die voorzien is van anode-compartiment 2 en een kathode-compartiment 3. Het anode-compartiment 2 bevat een anode 4 en het kathode-compartiment 3 bevat een kathode 5. Het anode-compartiment 2 en het kathode-compartiment 3 zijn gescheiden door een membraan 6. In het anode-compartiment 2 is  
15 een levende plant 7 zodanig geplaatst dat de wortels 8 van de levende plant worden omgeven door anode-materiaal in korrelvorm. Zowel het anode- als het kathode-compartiment verkeren in contact met de buitenomgeving – zie pijlen 9 en 10.  
20 Lichtenergie 11, bijvoorbeeld zonlicht, kan de levende plant rechtstreeks bereiken. Zuurstof (afkomstig uit de atmosfeer) kan in het kathode-compartiment diffunderen. De anode en kathode zijn elektrisch met elkaar verbonden via een weerstand of een inrichting die elektrische energie verbruikt (12) via elektrische verbindingen 13.

## 25 **Voorbeeld**

Acht verticaal geplaatste buisvormige microbiële brandstofcellen werden vervaardigd uit Schott Duran glas. De hoogte van de buis was 30 cm en de diameter was 3.5 cm. Op 2 en 28 cm hoogte was een glazen aftakking waarvan de onderste door  
30 middel van een rubberstop werd dichtgehouden en de bovenste werd opengehouden voor een overloopfunctie. De bovenkant van de buis bleef open zodat daar het bovengrondse deel van de plant uitstak. Aan de onderzijde werd door middel van een GL45 schroefdrop, die voorzien is van een uitsparing (diameter: 3 cm), een kation-

uitwisselingsmembraan (type FKL, FuMA-tech GmbH, St. Ingbert, Duitsland) geplaatst. Aan de binnenzijde van de glazen buis werd op de bodem een 3 mm dik grafietvilt (FMI Composites Ltd., Galashiels, Schotland) geplaatst. In het grafietvilt werd een grafietstaaf (afmetingen: 26 x 14 x 6 mm; Müller & Rössner GmbH & Co, Siegburg, Duitsland) geplaatst. Vervolgens werd de buis gevuld met grafietkorrels (diameter tussen 1.5 en 5 mm; Le Carbone, België). Op de bodem van een groot bekersglas werd een 3 mm dik grafietvilt (afmetingen: 8 x 8 cm; FMI Composites Ltd., Galashiels, Schotland) geplaatst. Vervolgens werd op dit grafietvilt de glazen buis en parallel een tweede grafietstaaf geplaatst. De anode- en kathode-elektroden werden gevormd door de grafietonderdelen aan de binnenzijde respectievelijk buitenzijde van de glazen buis. Het (elektrisch) circuit van de anode en kathode werd gesloten vanaf de grafietstaven via geplastificeerde koperdraden naar een externe weerstand R van 1000 Ohm.

Elektrode-potentialen en celspanning ( $E(\text{cel})$  in mV) werden off-line gemeten met een Multimeter (True RMS Multimeter, Fluke 189). Voor de meting van de elektroden-potentialen werden Ag/AgCl referentie-elektroden (ProSense Qis, Oosterhout, Nederland) gebruikt. Met behulp van FieldPoint (National Instruments, Netherlands) FP-AI-110 modules en een personal computer (Pentium III) en een zelf geprogrammeerd Labview 7.0 (National Instruments, Netherlands) programma werd de celspanning continue gemeten. De stroomsterkte ( $I$  in mA) werd vervolgens berekend aan de hand van de Wet van Ohm ( $I = E(\text{cel}) / R$ ). Het vermogen ( $P$  in Watt) van de microbiële brandstofcel werd berekend uit de celspanning en de stroomsterkte ( $P = I \times E(\text{cel})$ ).

De lichtvoorziening bestond uit een 250 W metaal-halogeen lamp (Spacesaver C/TLBH250), later uitgebreid met een 400 W metaal-halogeenlamp (Spacesaver C/TLBH400), geplaatst op een hoogte van 125 cm boven de tafel met de proefopstelling. De ruimte waarin de microbiële brandstofcel was geplaatst, werd verlicht met TL-buizen en had ook indirecte inval van zonlicht. Witte schermen aan beide zijden en boven de opstelling zorgden voor lichtreflectie. Door middel van een tijdschakelaar werden de lampen overdag 14 uur ingeschakeld en vervolgens gedurende de nacht 10 uur uitgeschakeld. De opstelling stond in een ruimte op kamertemperatuur (ca. 20° - 25°C). Vanaf dag 26 werd de temperatuur on-line gemeten met een koperconstantaan thermokoppel en geregistreerd via de Fieldpoint module (FP) en eerder

genoemde personal computer en programma. De temperatuur lag in het bereik van 24° - 27°C.

De anode-compartimenten van de microbiële brandstofcellen werden opgestart met een gemodificeerde Hoagland nutriënten oplossing (Taiz and Zeiger, 2006) met  
 5 extra micronutriënten voor onder andere de micro-organismen (samenstelling oplossing; tussenhaakjes de concentraties in mg per liter: KNO<sub>3</sub> (606.60), Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O (944.64), NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (230.16), MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (246.49), KCl (3.73), H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> (1.55), MnSO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O (0.34), ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (0.58), CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O (0.12), (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>.4H<sub>2</sub>O (0.09), H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> met 85% MoO<sub>3</sub> (161.97), CoCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O (2.00),  
 10 Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> (0.10), EDTA als titriplex II (30.00), FeCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O (10.68), Ni<sub>2</sub>Cl.6H<sub>2</sub>O (0.06), Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>.9H<sub>2</sub>O (284.20)).

De oplossing werd geneutraliseerd tot een pH van ongeveer 7 met 2 M NaOH. Geïnoculeerd werd met effluent van een andere werkzame microbiële brandstofcel. Als voeding werd ladingsgewijs KAc (kaliumacetaat) gedoseerd zodat onder andere  
 15 anodefiele micro-organismen zich in de brandstofcel zouden gaan vermeerderen. De kathode compartimenten werden gevuld met 50 mM K<sub>3</sub>Fe(CN)<sub>6</sub> en met 100 mM KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> welke werden geneutraliseerd tot een pH van ongeveer 7. Deze oplossing werd later vervangen door gedemineraliseerd water met 2 ml per liter fosfaat buffer (K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 132,7 g.L<sup>-1</sup>; KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>: 168.5 g.L<sup>-1</sup>). Het volume van het anodefluidum en  
 20 kathodefluidum was respectievelijk ongeveer 250 ml en 200 ml.

In de microbiële brandstofcellen werd het acetaat verbruikt en celspanning gemeten over de anode en kathode. Nadat deze celspanning afnam werden alle grafietkorrels uit de opstellingen gehaald en verzameld. Door twee keer de grafietkorrels te spoelen met het nutriënten medium, werd het nog resterende KAc  
 25 zoveel mogelijk verwijderd. Vervolgens werden extra grafietkorrels toegevoegd en de KAc-concentratie bepaald. Daarna werden de korrels over de acht microbiële brandstofcellen verdeeld.

Een verzameling Liesgras (*Glyceria maxima* syn. *Glyceria aquatica*) werd verkregen uit een beekbed in Renkum (Nederland). Stengels Liesgras werden  
 30 afgezonderd, hiervoor werd soms de horizontale wortelstok doorgeknijpt, en grondig gespoeld zodat organische stof verwijderd werd. Bruine stukken plant werden afgeknijpt, zodat groene individuele Liesgras planten overbleven. In zes microbiële brandstofcellen (nummers 3 tot en met 8) werd per cel in het anode-compartiment 20

tot 30 g natte Liesgras planten geplaatst. Twee microbiële brandstofcellen kregen geen levende plant en werden verder gelijk als de andere microbiële brandstofcellen behandeld, deze diende zodoende als blanco (microbiële brandstofcel nummers 1 en 2).

Gedurende het experiment daalde het anodefluidum niveau door verdamping.

5 Dit niveau werd regelmatig aangevuld met gedemineraliseerd water (tot dag 13) of Hoagland nutriënten oplossing (dag 13 tot 19) of Hoagland nutriënten oplossing met buffer (4 ml.L<sup>-1</sup> met K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 132,7 g.L<sup>-1</sup>; KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>: 168.5 g.L<sup>-1</sup>) (dag 19 tot 34) of Hoagland oplossing zonder stikstof (samenstelling oplossing; tussenhaakjes de concentraties in mg per liter: MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (246.49), KCl (3.73), H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> (1.55),  
 10 MnSO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O (0.34), ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (0.58), CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O (0.12), (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>.4H<sub>2</sub>O (0.09), H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> met 85% MoO<sub>3</sub> (161.97), CoCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O (2.00), Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> (0.10), EDTA als titriplex II (30.00), FeCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O (10.68), Ni<sub>2</sub>Cl.6H<sub>2</sub>O (0.06), Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>.9H<sub>2</sub>O (284.20)) met buffer (4 ml.L<sup>-1</sup> met K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 132,7 g.L<sup>-1</sup>; KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>: 168.5 g.L<sup>-1</sup>) (dag 34 tot eind). Vanaf dag 23 was een pomp geïnstalleerd welke dagelijks door middel van  
 15 een tijdschakelaar in tijdsbestek van 15 minuten de nutriënten oplossing doseerde. Het te veel aan gedoseerd medium liep via een geplaatste overloop in een opvangfles.

Het kathodefluidum niveau daalde gedurende het experiment evenzo. Dit niveau werd regelmatig op peil gehouden met gedemineraliseerd water. Op dag 14 werd het kathodefluidum vervangen door een nieuw kathodefluidum bestaande uit  
 20 gedemineraliseerd water met een fosfaat buffer (K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 132,7 g.L<sup>-1</sup>; KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>: 168.5 g.L<sup>-1</sup>; 2 ml/l). Het gebruikte grafietdoek in de kathode werd hierbij vervangen door een nieuw stuk doek. Zichtbaar was dat enig voormalige kathodefluidum in het kathodecompartiment aanwezig bleef, mogelijk afkomstig van het membraan.

In figuur 2 wordt het vermogen van drie microbiële brandstofcellen met  
 25 Liesgras (nummer 3, 4 en 8) en de 2 blancs (nummer 1 en 2) getoond voor de dagen 1 t/m 78. Het maximaal off-line gemeten specifieke vermogen was 0.062 mW. De blanco opstellingen leveren geen elektrische energie terwijl de opstellingen met liesgras wel een vermogen leveren. De Liesgras planten bleven vitaal en groeiden ook gedurende de uitvoering van dit experiment.

## Referenties

- Liu, H., S. Grot en B.E. Logan. 2005. Electrochemically assisted microbial production of hydrogen from acetate. *Environmental Science and Technology*. 5 39(11), 4317-4320;
- Logan, B. E., B. Hamelers, R. Rozendal, U. Schröder, J. Keller, S. Freguia, P. Aelterman, W. Verstraete, en K. Rabaey. 2006. Microbial fuel cells: Methodology and technology. *Environmental Science and Technology* 40, 5181-5192;
- 10 ○ Logan, B.E. en J.M. 2006. Regan, Electricity-producing bacterial communities in microbial fuel cells. *Trends in Microbiology*, 14 (12), 512-518;
- Lovley D.R. 2006a. Bug juice: harvesting electricity with microorganisms. *Nature Reviews Microbiology* 4, 497-508;
- Lovley D.R. 2006b. Microbial fuel cells: novel microbial physiologies and engineering approaches. *Current Opinion in Biotechnology* 17, 327-332;
- 15 ○ Lynch, J.M., the Rhizosphere. 1990. John Wiley & Sons;
- Rabaey, K., and W. Verstraete. 2005 Microbial fuel cells: sustainable core technology. *Trends in Biotechnology* 23, 291-298;
- Rosenbaum, M., U. Schröder en F Scholz. 2005a. Utilizing the Green Alga 20 *Chlamydomonas reinhardtii* for Microbial Electricity Generation: A Living Solar Cell *Applied Microbiology and Biotechnology* 68, 753-756;
- Rosenbaum, M., U. Schröder en F. Scholz. 2005b. In Situ Electrooxidation of Photobiological Hydrogen in a Photobioelectrochemical Fuel Cell Based on *Rhodobacter sphaeroides* *Environmental Science and Technology*, 39, 6328 - 25 6333;
- Rozendal, R.A., Hamelers, H.V.M., Euverink, G.J.W., Metz, S.J. en C.J.N. Buisman. 2006. Principle and perspectives of hydrogen production through biocatalyzed electrolysis. *Int. J. Hydrogen Energy*, 31, 1632-1640;
- Taiz, L. and Zeiger E. 2006. *Plant Physiology*. Sinauer Associates, Inc. 30 Sunderland, U.S.A..

**Conclusies**

1. Inrichting die een reactor omvat, waarbij de reactor een anode-compartiment en een kathode-compartiment omvat en waarbij het anode-compartiment (a) een  
5 anodefiel micro-organisme, dat in staat is om een elektron-donerende verbinding te oxideren, en (b) een levende plant of een deel daarvan omvat.
2. Inrichting volgens conclusie 1, waarbij de elektron-donerende verbinding een organische verbinding is.
3. Inrichting volgens conclusie 1 of conclusie 2, waarbij het anode-compartiment en  
10 het kathode-compartiment door een membraan gescheiden zijn.
4. Inrichting volgens conclusie 3, waarbij het membraan een ion-selectief membraan is.
5. Inrichting volgens conclusie 4, waarbij het membraan een proton-selectief membraan is.
- 15 6. Inrichting volgens een der conclusies 1 – 5, waarbij de plant een energieplant is.
7. Inrichting volgens een der conclusies 1 – 6, waarbij het anode-compartiment een anode omvat die een anode-materiaal, gekozen uit de groep, die bestaat uit grafietkorrels, grafietvilt, grafietstaven, andere grafiet omvattende elektronen-geleiders en een combinatie van een of meer van dergelijke materialen, omvat.
- 20 8. Inrichting volgens een der voorgaande conclusies 1 – 7, waarbij de wortelzone van de plant in hoofdzaak in het anode-materiaal geplaatst is.
9. Inrichting volgens een der voorgaande conclusies 1 – 8, waarbij het anode-compartiment en/of het kathode-compartiment van de buitenomgeving afgesloten is.
- 25 10. Inrichting volgens een der voorgaande conclusies 1 – 9, waarbij het anode-compartiment en/of het kathode-compartiment in contact staat met de buitenomgeving.
11. Inrichting volgens een der voorgaande conclusies 1 – 10, waarbij de inrichting een component omvat die de methaanproductie in het anode-compartiment remt  
30 of voorkomt.
12. Inrichting volgens een der voorgaande conclusies 1 – 11, waarbij de inrichting van een overloop voorzien is.

13. Werkwijze voor het omzetten van lichtenergie in elektrische energie en/of waterstof, waarbij een voeding die een elektron-donerende verbinding omvat wordt toegevoerd aan een inrichting die een reactor omvat, waarbij de reactor een anode-compartiment en een kathode-compartiment omvat en waarbij het anode-compartiment (a) een anodefiel micro-organisme, dat in staat is om een elektron-donerende verbinding te oxideren en (b) een levende plant of een deel daarvan omvat.  
5
14. Werkwijze volgens conclusie 13, waarbij de elektron-donerende verbinding een organische verbinding is.
- 10 15. Werkwijze volgens conclusie 13 of conclusie 14, waarbij de plant een energieplant is.
16. Werkwijze volgens een der conclusies 13 – 15, waarbij de elektron-donerende verbinding in een exudaat, een secretie, een lysaat, plantaardig materiaal van afgestorven plantendelen, een gas en/of in een plantaardige gom aanwezig is.
- 15 17. Werkwijze volgens een der conclusies 13 – 16, waarbij een terminale elektronen-acceptor wordt toegepast.
18. Werkwijze volgens conclusie 17, waarbij de elektronen-acceptor zuurstof is.
19. Werkwijze volgens conclusie 18, waarbij de zuurstof afkomstig is vanuit de atmosfeer.
- 20 20. Werkwijze volgens een der conclusies 13 – 19, waarbij het micro-organisme in de omgeving van de wortelzone van de plant leeft.
21. Werkwijze volgens een der conclusies 13 – 20, waarbij de voeding een of meer micro- en/of macronutriënten omvat.
22. Werkwijze volgens een der conclusies 13 – 21, waarbij het anode-compartiment  
25 een redox-mediator omvat.

Fig 1

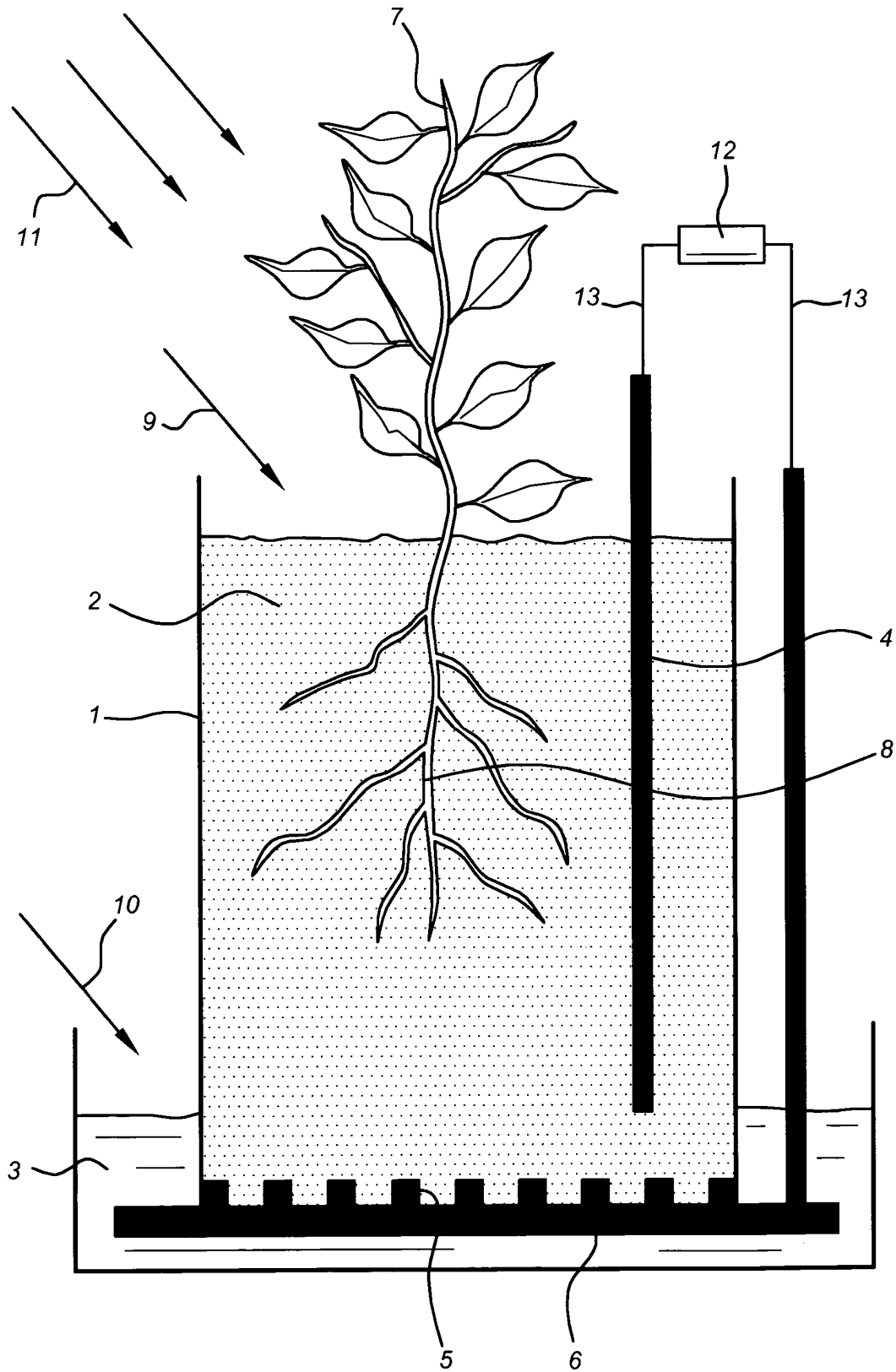
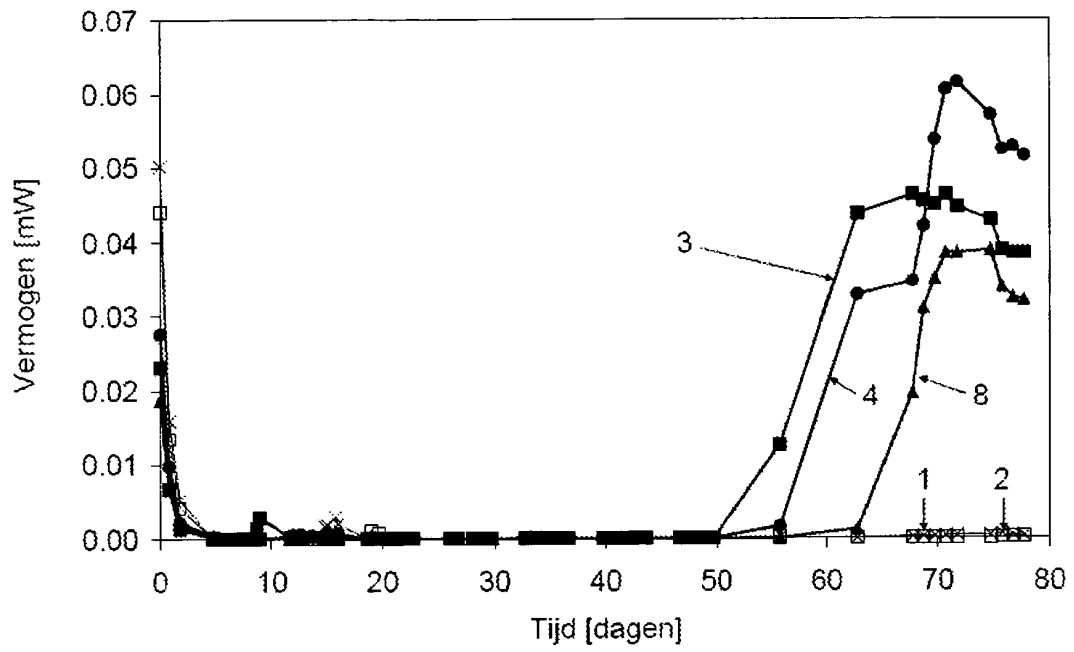


Fig 2



# SAMENWERKINGSVERDRAG (PCT)

## RAPPORT BETREFFENDE NIEUWHEIDSONDERZOEK VAN INTERNATIONAAL TYPE

IDENTIFICATIE VAN DE NATIONALE AANVRAGE	KENMERK VAN DE AANVRAGER OF VAN DE GEMACHTIGDE
	<b>P6014803NL</b>
Nederlands aanvraag nr.	Indieningsdatum
<b>2000598</b>	<b>17-04-2007</b>
	Ingeroepen voorrangsdatum
Aanvrager (Naam)	
<b>Wageningen Universiteit &amp; Plant Research International B.V.</b>	
Datum van het verzoek voor een onderzoek van internationaal type	Door de Instantie voor Internationaal Onderzoek aan het verzoek voor een onderzoek van internationaal type toegekend nr.
	<b>SN 48546</b>
<b>I. CLASSIFICATIE VAN HET ONDERWERP</b> (bij toepassing van verschillende classificaties, alle classificatiesymbolen opgeven)	
Volgens de internationale classificatie (IPC)	
<b>H01M8/06</b>	<b>H01M8/16</b>
<b>II. ONDERZOCHE GEBIEDEN VAN DE TECHNIEK</b>	
Onderzochte minimumdocumentatie	
Classificatiesysteem	Classificatiesymbolen
<b>IPC8</b>	<b>H01M</b>
Onderzochte andere documentatie dan de minimum documentatie, voor zover dergelijke documenten in de onderzochte gebieden zijn opgenomen	
<b>III.</b>	<b>GEEN ONDERZOEK MOGELIJK VOOR BEPAALDE CONCLUSIES</b> (opmerkingen op aanvullingsblad)
<b>IV.</b>	<b>GEBREK AAN EENHEID VAN UITVINDING</b> (opmerkingen op aanvullingsblad)

**RESULTAAT VAN HET ONDERZOEK NAAR DE STAND  
VAN DE TECHNIEK VAN HET INTERNATIONALE TYPE**

Formulier van het onderzoek naar de stand van de techniek  
NL 2000598

A. CLASSIFICATIE VAN HET ONDERWERP  
INV. H01M8/06 H01M8/16

Volgens de Internationale Classificatie van octroolen (IPC) of zowel volgens de nationale classificatie als volgens de IPC.

**B. ONDERZOCHETE GEBIEDEN VAN DE TECHNIEK**

Onderzochte minimum documentatie (classificatie gevolgd door classificatiesymbolen)  
H01M

Onderzochte andere documentatie dan de minimum documentatie, voor dergelijke documenten, voor zover dergelijke documenten in de onderzochte gebieden zijn opgenomen

Tijdens het onderzoek geraadpleegde elektronische gegevensbestanden (naam van de gegevensbestanden en, waar uitvoerbaar, gebruikte trefwoorden)  
EPO-Internal, WPI Data

**C. VAN BELANG GEACHTE DOCUMENTEN**

Categorie °	Geciteerde documenten, eventueel met aanduiding van speciaal van belang zijnde passages	Van belang voor conclusie nr.
X	US 4 117 202 A (BECK TIMOTHY A) 26 september 1978 (1978-09-26) in de aanvraag genoemd kolom 2, regel 8 - regel 19	1-7, 9-19, 21, 22
A	ZHANG ET AL: "Electricity generation from acetate and glucose by sedimentary bacterium attached to electrode in microbial-anode fuel cells" JOURNAL OF POWER SOURCES, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL, deel 161, nr. 2, 13 november 2006 (2006-11-13), bladzijden 820-825, XP005738399 ISSN: 0378-7753 het gehele document	7

Verdere documenten worden vermeld in het vervolg van vak C.

Leden van dezelfde octroofamilie zijn vermeld in een bijlage

° Speciale categorieën van aangehaalde documenten

\*A\* niet tot de categorie X of Y behorende literatuur die de stand van de techniek beschrijft

\*D\* in de octrooiaanvraag vermeld

\*E\* eerdere octrooi(aanvraag), gepubliceerd op of na de indieningsdatum, waarin dezelfde uitvinding wordt beschreven

\*L\* om andere redenen vermelde literatuur

\*O\* niet-schriftelijke stand van de techniek

\*P\* tussen de voorrangsdatum en de indieningsdatum gepubliceerde literatuur

\*T\* na de indieningsdatum of de voorrangsdatum gepubliceerde literatuur die niet bezwarend is voor de octrooiaanvraag, maar wordt vermeld ter verheldering van de theorie of het principe dat ten grondslag ligt aan de uitvinding

\*X\* de conclusie wordt als niet nieuw of niet inventief beschouwd ten opzichte van deze literatuur

\*Y\* de conclusie wordt als niet inventief beschouwd ten opzichte van de combinatie van deze literatuur met andere geciteerde literatuur van dezelfde categorie, waarbij de combinatie voor de vakman voor de hand liggend wordt geacht

\*Z\* lid van dezelfde octroofamilie of overeenkomstige octrooipublicatie

Datum waarop het onderzoek naar de stand van de techniek van internationaal type werd voltooid

24 September 2007

Verzenddatum van het rapport van het onderzoek naar de stand van de techniek van internationaal type

Naam en adres van de instantie

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

De bevoegde ambtenaar

Standaert, Frans

**RESULTAAT VAN HET ONDERZOEK NAAR DE STAND  
VAN DE TECHNIEK VAN HET INTERNATIONALE TYPE**

Informatie over leden van dezelfde octroofamilie

de stand van de techniek

NL 2000598

In het rapport genoemd octrooigeschrift	Datum van publicatie	Overeenkomend(e) geschrift(en)	Datum van publicatie
US 4117202	A	26-09-1978	GEEN



File No. SN48546	Filing date (day/month/year) 17.04.2007	Priority date (day/month/year)	Application No. NL2000598
International Patent Classification (IPC) INV. H01M8/06 H01M8/16			
Applicant Wageningen Universiteit te Wageningen			

This opinion contains indications relating to the following items:

- Box No. I Basis of the opinion
- Box No. II Priority
- Box No. III Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability
- Box No. IV Lack of unity of invention
- Box No. V Reasoned statement with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement
- Box No. VI Certain documents cited
- Box No. VII Certain defects in the application
- Box No. VIII Certain observations on the application

	Examiner Standaert, Frans
--	------------------------------

**WRITTEN OPINION****Box No. I Basis of this opinion**

1. This opinion has been established on the basis of the latest set of claims filed before the start of the search.
2. With regard to any **nucleotide and/or amino acid sequence** disclosed in the application and necessary to the claimed invention, this opinion has been established on the basis of:
  - a. type of material:
    - a sequence listing
    - table(s) related to the sequence listing
  - b. format of material:
    - on paper
    - in electronic form
  - c. time of filing/furnishing:
    - contained in the application as filed.
    - filed together with the application in electronic form.
    - furnished subsequently for the purposes of search.
3.  In addition, in the case that more than one version or copy of a sequence listing and/or table relating thereto has been filed or furnished, the required statements that the information in the subsequent or additional copies is identical to that in the application as filed or does not go beyond the application as filed, as appropriate, were furnished.
4. Additional comments:

**Box No. V Reasoned statement with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement**

## 1. Statement

Novelty	Yes: Claims	2-12,14-22
	No: Claims	1,13
Inventive step	Yes: Claims	8,20
	No: Claims	1-7,9-19,21,22
Industrial applicability	Yes: Claims	1-22
	No: Claims	

## 2. Citations and explanations

**see separate sheet**

**WRITTEN OPINION**

Application number  
NL2000598

---

---

**Box No. VII Certain defects in the application**

---

**see separate sheet**

**Re Item VII**

**Lack of clarity**

The independent claims do not meet the requirement of clarity because the matter for which protection is sought is not clearly defined. The claims attempt to define the subject-matter in terms of the result to be achieved, which merely amounts to a statement of the underlying problem, without providing the technical features necessary for achieving this result.

Neither the claims nor the description disclose the exact function of the plant or the roots of the plant. It is only clear that without the plant the micro-organisms can either not survive or not realise the oxidation of the electron donating material, see page 9, line 26-29. Furthermore neither the type of micro-organism nor the origin of the micro-organism is disclosed.

It is clear from the description (page 6, line 25 - page 9, line 29) and the figures that the features of BOTH dependent claims 8 and 20 are essential to the definition of the invention. Since the independent claims do not contain said features they do not meet the requirement of clarity that any independent claim must contain all the technical features essential to the definition of the invention.

The term "energieplant" used in claims 6 and 15 is vague and unclear and leaves the reader in doubt as to the meaning of the technical feature to which it refers, thereby rendering the definition of the subject-matter of said claims unclear.

**Re Item V**

**Reasoned statement with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement**

1. Reference is made to the following document:

D1: US-A-4 117 202 (BECK TIMOTHY A) 26 September 1978 (1978-09-26)

2. LACK OF NOVELTY

The present application does not meet the criteria of patentability, because the

subject-matter of the independent claims 1 and 13 is not new.

The wording of said claims (see also the description page 5, line 4-11) cover the option that the roots of the plant separate the electron donating material that is eventually oxidized, conform the ideal photosynthetically driven fuel cell disclosed by document D1, see column 2, line 8-19. Therefore the subject-matter of said claims is not new.

**3. LACK OF INVENTIVE STEP**

Dependent claims 2-7, 9-12, 14-19, 21 and 22 insofar as they can be understood, do not contain any additional features which, in combination with the features of any claim to which they refer, involve an inventive step for the reason that the subject-matter of said claims represents simple design details which are generally known to the person skilled in the field of biochemical fuel cells.

4. The combination of the features of independent claim 1 and/or 13 together with those of dependent claims 8 AND 20 is neither known from, nor rendered obvious by, the available prior art.