

**Sensor, bioreactor, microbiële brandstofcel en werkwijze
voor het meten en benutten van effecten van trillingen en/of
velden op een micro-organisme voor beïnvloeding van een
micro-organisme**

5

De onderhavige uitvinding heeft betrekking op een sensor voor het meten van effecten van trillingen en/of velden op een micro-organisme. Dergelijke trillingen
10 betreffen bijvoorbeeld akoestische trillingen. De velden hebben betrekking op elektrische, magnetische of elektromagnetische velden. Hieronder worden onder meer licht en radiogolven begrepen. In het bijzonder is het mogelijk door het meten van het effect van trillingen en/of velden op
15 een micro-organisme de invloed van dergelijke trillingen en velden op biologische systemen in het algemeen te bestuderen en reproduceerbaar te kwantificeren.

De huidige onderzoeken naar de invloed van elektromagnetische golven in het algemeen, en radiogolven in
20 het bijzonder, zijn investerings- en arbeidsintensief vanwege de dure analyse-apparatuur die ten behoeve van het onderzoek noodzakelijk is. Bijkomend dienen een groot aantal experimenten uitgevoerd te worden alvorens uit het onderzoek een conclusie kan worden getrokken. Ter bestudering van de
25 invloed van radiogolven op de stofwisseling van micro-organismen zijn onder meer microbiologische laboratoriumfaciliteiten, professionele microscooptechnieken en analyse-apparatuur ter bepaling van het soort en aantal levende cellen noodzakelijk.

30 De onderhavige uitvinding heeft als doel te voorzien in een relatief eenvoudige systeem of sensor voor het bestuderen van de invloed van trillingen en/of velden op biologische systemen.

1035649

Dit doel wordt bereikt met de sensor volgens de uitvinding voor het meten van effecten van trillingen en/of velden op een micro-organisme, omvattende:

- 5 - een anolietruimte voor het bevatten van een micro-organisme en een anoliet;
 - een in de anolietruimte geplaatste anode voor opname van elektronen afkomstig van het micro-organisme;
 - een katholietruimte; en
 - een in de katholietruimte geplaatste kathode,
- 10 waarin de anode en de kathode werkzaam zijn verbonden, zodanig dat een stroom en/of stroomverschil meetbaar is ten gevolge van een aangebrachte trilling of een elektrisch en/of magnetisch veld.

Trillingen, waaronder elektromagnetische golven, 15 kunnen het functioneren van biologische systemen beïnvloeden. Naast een directe invloed ten gevolge van een temperatuurstijging door dissipatie van elektromagnetische golven in water en/of organische stoffen en/of cellen van levende wezens worden ook indirecte invloeden van 20 elektromagnetische golven op levende organismen waargenomen. Dit is mogelijk door een stroom of stroomverschil te meten met een stroommeter geplaatst in het circuit waarmee de anode en de kathode werkzaam met elkaar zijn verbonden. Uit experimenten is gebleken dat naast het vermogen en de 25 frequentie van de draaggolf van elektromagnetische golven ook de aanwezigheid van en de aard van modulatie van deze elektromagnetische golven een aanzienlijke invloed hebben op biologische systemen. Als modulatievormen kan men, zonder de onderhavige vinding hiertoe te beperken, denken aan 30 amplitudemodulatie, fasemodulatie, frequentiemodulatie en enkelzijbandmodulatie. Een hypothese is bijvoorbeeld dat de elektromagnetische golven die door mobiele telefoons worden geproduceerd een meetbare invloed op de hersenactiviteit van

de mens hebben. In het verlengde hiervan is de hypothese bekend dat mobiele telefoons onder bepaalde omstandigheden een meetbare invloed hebben op de stofwisseling en celdeling van micro-organismen.

5 De sensor volgens de onderhavige aanvraag is gebaseerd op een microbiële brandstofcel alsmede een microbiële electrolytcel. Hiermee is het mogelijk de invloed van onder meer elektromagnetische straling op biologische systemen in het algemeen, en levende micro-organismen in het
10 bijzonder, snel en tegen lage investerings- en arbeidskosten te bestuderen. In een aantal gevallen kan analyse van biologische systemen volgens de onderhavige vinding de huidige onderzoeksmethoden vervangen. In andere gevallen is de sensor en onderzoeksmethode volgens de onderhavige
15 uitvinding uitermate geschikt om een eerste screening uit te voeren ter verdere definitie van vervolgonderzoek.

In de anolietruimte van de sensor volgens de uitvinding wordt in het anoliet een micro-organisme gebracht. Deze anolietruimte of anodecompartiment wordt bij
20 voorkeur onder zuurstofvrije of zuurstofarme condities bedreven. Bij voorkeur bevat het anoliet nutriënten die als voeding dienen voor de micro-organismen in deze ruimte. De micro-organismen aanwezig in het anoliet vertonen de eigenschap om elektronen als deelproduct van hun
25 stofwisseling af te kunnen staan aan de anode in dit compartiment. Door adsorptie van de micro-organismen aan het oppervlak van de anode kunnen de micro-organismen de geproduceerde elektronen rechtstreeks overdragen aan de anode. In de katholietruimte of kathodecompartiment is naast
30 katholiet een kathode geplaatst. De anode en de kathode zijn werkzaam verbonden, zodanig dat een stroom en/of stroomverschil meetbaar is ten gevolge van een trilling of een veld. Bij voorkeur wordt in het kathodecompartiment

zuurstof met de elektronen en protonen gereduceerd tot water. Echter ook andere reacties zijn mogelijk. Dergelijke trillingen en/of velden beïnvloeden de werking van de micro-organismen, waardoor een verandering in de hoeveelheid afgegeven elektronen per tijdseenheid zal ontstaan.

Uit experimenten met een sensor volgens de uitvinding is gebleken dat, indien een dergelijke sensor onder stationaire procescondities wordt bedreven en bijgevolg een constante stroom produceert een dergelijke sensor, uitermate geschikt is voor bestudering van de invloed op trillingen op biologische systemen. De trillingen kunnen bestaan uit akoestische trillingen of elektromagnetische golven waaronder licht- en radiogolven. Indien een microbiële brandstofcel in stationair bedrijf wordt blootgesteld aan radiogolven, bijvoorbeeld door de brandstofcel in de nabijheid van een antenne van een werkende zender te plaatsen, en de radiogolven beïnvloeden de stofwisseling van de micro-organismen direct of indirect, dan is dit waarneembaar door een afname of toename van de stroom die de microbiële brandstofcel levert. Op deze wijze is het mogelijk om snel en effectief de invloed van een scala aan verschillende soorten trillingen op het functioneren van biologische systemen te bestuderen. Opgemerkt wordt dat de meting van de stroom die de microbiële brandstofcel levert kan worden verstoord door de nabijheid van een sterk radiosignaal. Om die reden kan het belangrijk zijn de stroom in de stationaire toestand zonder radiosignaal te vergelijken met de stroom die wordt gemeten na blootstelling van de cel aan het betreffende radiosignaal. Het is voor de vakman duidelijk dat het meetsysteem op relatief eenvoudige wijze ook zodanig kan worden ingericht dat de radiogolven de meting niet

beïnvloeden, bijvoorbeeld door gebruikmaking van een kooi van Faraday.

In een voordelige uitvoeringsvorm volgens de onderhavige uitvinding bevat de anolietruimte een mediator voor het opnemen van de elektronen van het micro-organisme en het afstaan van deze elektronen aan de anode.

Door het gebruik van een zogeheten mediator in de vorm van een chemische, meestal organische, component kunnen elektronen die door het micro-organisme zijn geproduceerd worden opgenomen en vervolgens aan de anode worden afgegeven. Hierdoor is adsorptie van de micro-organismen aan het oppervlak van de anode niet noodzakelijk om een goede werking van de sensor te verkrijgen.

In een voordelige voorkeursuitvoeringsvorm volgens de onderhavige uitvinding maakt de sensor gebruik van een redoxkoppel.

Hoewel het mogelijk is om in het kathodecompartiment zuurstof met elektronen en protonen te reduceren tot water, kunnen ook andere tegenreacties van de anodereactie in het anodecompartiment worden gehanteerd. Hiertoe kan gebruik worden gemaakt van een geschikt redoxkoppel. Een bij voorkeur gehanteerd redoxkoppel is het ferricyanide/ferrocyanidekoppel.

Voor een microbiële brandstofcel op productieschaal is het wenselijk om de zuurstofreactie als tegenreactie te hebben, omdat anders het redoxkoppel van tijd tot tijd geregenereerd zou moeten worden. Voor een microbiële brandstofcel die als sensor wordt toegepast kan het acceptabel zijn een redoxkoppel toe te passen. Echter de reductiestap van zuurstof heeft als voordeel dat het niet noodzakelijk is speciale chemicaliën zoals ferricyanide toe te passen.

In een verdere voordelige voorkeursuitvoeringsvorm volgens de onderhavige uitvinding omvat de kathode een biokathode.

Door het voorzien van een biokathode nemen
5 bacteriën elektronen op van de electrode. Het is mogelijk om
aerobe biokathodes te gebruiken waarbij een mediator,
bijvoorbeeld ijzer, wordt gereduceerd door de kathode en
vervolgens wordt gereoxideerd door de bacteriën. Ook is het
10 mogelijk anaerobe biokathodes te gebruiken die direct de
elektronen opnemen. Hierbij is het niet noodzakelijk om een
mediator en bijvoorbeeld waterstof te gebruiken. Zo is het
onder meer mogelijk om met een biokathode nitraat om te
zetten in stikstof. Bruikbare bacteriën betreffen onder meer
geobacter en pseudomonas fluorescens.

15 In een voordelige voorkeursuitvoeringsvorm volgens
de onderhavige uitvinding zijn circulatiemiddelen voorzien
voor het circuleren van anoliet door een separate ruimte.

Door het toepassen van een circulatie van het
anoliet door een aparte cel, waar het anoliet wordt
20 blootgesteld aan trillingen of van een geroerd systeem,
kunnen het behandelingsproces van het anoliet en een
ektronendonatie in de anolietruimte worden losgekoppeld.

In een voordelige voorkeursuitvoeringsvorm volgens
de onderhavige uitvinding omvat het micro-organisme gist,
25 zoals bakkersgist.

Het is uit experimenten gebleken dat bakkergist,
of een andere gistsoort, toegepast kan worden als micro-
organisme in de anoderuimte. In de stofwisselingscyclus van
bakkersgist en/of de voeding voor bakkersgist blijkt in de
30 praktijk voldoende mediator aanwezig te zijn om een goede
elektronenoverdracht naar de anode te waarborgen zonder dat
het noodzakelijk is dat grote hoeveelheden bakkersgist aan
het anode-oppervlak gehecht zijn.

In een verdere voordelige voorkeursuitvoeringsvorm volgens de onderhavige uitvinding omvat het anoliet verdund diksap, zoals appelsap.

Uit experimenten is gebleken dat vruchtensap, zoals appelsap, in de vorm van in de markt verkrijgbaar verdund diksap op effectieve wijze als anoliet kan worden toegepast. Het appelsap heeft als voordeel dat het een bufferende werking heeft en dat sacchariden, partieel geoxydeerde sacchariden en de (poly)carboxylzuren die in het appelsap aanwezig zijn een complexerende werking hebben voor polyvalente metaalionen, waaronder ijzer. Een ander voordeel dat toepassing van bakkersgist met zich meebrengt is dat de relatief grote hoeveelheid kooldioxide, die bij het gistingsproces wordt gevormd en in de vorm van gasbellen het anoliet verlaat, voor continue extractie van zuurstof uit het anoliet zorg draagt. Hierdoor blijft het gehalte van zuurstof in het anoliet zeer laag zonder dat het noodzakelijk is de anolietruimte middels een waterslot af te sluiten van de buitenlucht. Dit is relevant aangezien hiermee de constructie en het in bedrijf nemen van de sensor aanzienlijk eenvoudiger worden. Een bijkomend effect van het toepassen van een sensor met anoliet, dat niet van de buitenlucht is afgesloten, is dat een afname van de biologische activiteit van de gistcellen tot een lagere kooldioxideproductiesnelheid leidt en daarmee tot een hogere zuurstofconcentratie in het anoliet. Dit wordt veroorzaakt doordat de extractiesnelheid van zuurstof in water afneemt. Door deze hogere zuurstofconcentratie in het anoliet wordt minder stroom geproduceerd hetgeen de werking van de sensor versterkt. In geval het secundair effect in de beoogde studie ongewenst is, kan uiteraard gebruik worden gemaakt van een waterslot om stofoverdracht van zuurstof uit de omgeving naar het anoliet tot een minimum te beperken.

In een voorkeursuitvoeringsvorm volgens de onderhavige uitvinding is een membraan voorzien als scheiding tussen de anolietruimte en de katholietruimte.

5 Door de anolietruimte en de katholietruimte te scheiden door middel van een membraan, in het bijzonder een kation selectief membraan, kunnen de in het anodecompartment geproduceerde protonen diffunderen door dit kation selectieve membraan naar de kathoderuimte. In de kathoderuimte worden de protonen gereduceerd.

10 In een alternatieve voorkeursuitvoeringsvorm volgens de onderhavige uitvinding is een absorberend element voorzien tussen de anolietruimte en de kathode.

Door een absorberend element te voorzien tussen de anolietruimte en de kathode, kan worden afgezien van het kation selectief membraan. Dit is voordelig, aangezien een dergelijk membraan beschadigd kan raken, kan vervuilen en langzaam kan degenereren. Met behulp van een absorberend element kan een meer robuuste sensor worden verkregen met een langere levensduur zonder dat onderhoud of reiniging noodzakelijk is. In de sensor met het absorberend element bevindt zich in de anolietruimte bijvoorbeeld bakkersgist en de voeding daarvoor. Ten gevolge van de kooldioxide productie wordt de oplossing nagenoeg zuurstofvrij. Bij voorkeur bevindt zich in de anolietruimte een anode van actieve kool. Door het absorberend element gedeeltelijk in het anoliet te hangen en aan het andere uiteinde van het absorberende element de kathode hieraan te bevestigen, zal het absorberend element zich bijvoorbeeld door capillaire werking volzuigen met anoliet. Door het contact van het absorberend element met de omgeving, zoals buitenlucht, zal het anoliet in het absorberend element, en daarmee aan de kathode, verzadigd raken met zuurstof. Hiermee wordt bewerkstelligd dat een zuurstofvrij of zuurstofarm anoliet

15
20
25
30

wordt verkregen, evenals een zuurstofrijk katholiet. De katholietruimte wordt in feite gevormd door het deel van het absorberend element dat niet in het anoliet is geplaatst met de kathode en de directe omgeving daarvan. In een voordelige voorkeursuitvoeringsvorm wordt het absorberend element gevormd door een katoenen doek. Een bijkomend voordeel van een dergelijke sensor met absorberend element is dat de stofoverdracht van de componenten plaatsvindt door middel van diffusie en/of convectorie. Hiermee is het mogelijk om ten opzichte van een sensor met een membraan op een meer eenvoudige wijze een grotere hoeveelheid ionen en andere componenten tussen de anolietruimte en de kathode te realiseren. Een verder bijkomend voordeel van een dergelijke sensor is dat een dergelijke sensor relatief eenvoudig is, waarin het mogelijk is om enkel zogeheten "foodgrade" chemicaliën te gebruiken, samen met standaard verkrijgbare grafietelektroden en bijvoorbeeld katoen.

Door het absorberend element, althans dat deel dat niet is geplaatst in het anoliet, continu of periodiek van anoliet te voorzien, bijvoorbeeld door besproeien, kan op relatief eenvoudige wijze voldoende uitwisseling plaatsvinden van de ionen tussen anoliet en katholiet. Dit is mogelijk, aangezien het volume van het katholiet bij voorkeur aanzienlijk geringer is dan het volume van het anoliet. Door deze bijmenging van "uitgeput" katholiet met het grotere volume aan anoliet veranderen de eigenschappen of samenstelling van het anoliet nauwelijks en zal de werking of activiteit van de sensor niet nadelig hierdoor worden beïnvloed. Een dergelijke besproeiing of bevochtiging kan worden gerealiseerd onder meer door diffusie, gebruik van pompen of sproeiers, wind, en reeds aanwezige stromingsprofielen in een ruimte ten gevolge van reeds aanwezige roersystemen.

Een probleem dat zich bij een dergelijke sensor zou kunnen voordoen is dat, door stoftransport via het doek, een significante hoeveelheid opgeladen mediator uit het anoliet terecht komt bij het kathode-oppervlak. Het is voor de vakman duidelijk dat dit proces de werking van de sensor negatief zou beïnvloeden aangezien de mediator dan elektronen aan de kathode zou kunnen afstaan en daarmee het nuttig vermogen van de microbiële brandstofcel zou verkleinen. Uit experimenten blijkt echter verrassenderwijs dat het probleem van de elektronenoverdracht door de mediator via het doek naar de kathode in voldoende mate wordt voorkomen. Een door de uitvinder van de onderhavige vinding gehanteerde hypothese over de afwezigheid van nadelige effecten van mediator die door stoftransport door het doek bij de kathode terechtkomt luidt dat, indien mediator door diffusie of door benatting van het doek met anoliet in het doek terechtkomt, deze mediator in intensief contact zal zijn met zuurstof. Het gevolg hiervan is dat een redoxreactie met zuurstof plaatsvindt waardoor de mediator niet meer opgeladen is. Aangezien de ontladen mediator geen elektronen meer kan overdragen, heeft deze ook geen negatief effect meer op de werking van de microbiële brandstofcel zodra deze de kathode bereikt.

De effectiviteit waarmee met onderhavige vinding elektriciteit kan worden geproduceerd hangt in belangrijke mate af van een goed ontwerp van het doek tussen katholiet en anoliet. Belangrijke parameters ter verkrijging van een groot elektrisch vermogen per vierkante meter toegepast doek zijn: de dikte van het doek, de capillaire werking van het doek, i.e. de microstructuur in het doek, de intensiteit van het contact tussen de kathode en het doek uitgedrukt in vierkante meter kathode-oppervlak per vierkante meter doek, de afstand tussen anoliet en kathode uitgedrukt in meter

doek, de wijze waarop het doek wordt belucht, toepassing van een geschikte mediator en de verversingssnelheid van het katholiet met anoliet. In een voorkeursuitvoeringsvorm van de onderhavige vinding maakt de op het doek aangebrachte kathode geen direct contact met het anoliet omdat uit 5 experimenten is vastgesteld dat in een aantal, maar niet alle dergelijke gevallen, het elektrisch vermogen van de sensor lager is. De sensor werkt hierbij als een soort microbiële brandstofcel. In een andere 10 voorkeursuitvoeringsvorm is het doek of een deel van het doek geïmpregneerd met een geleidend materiaal, zoals actieve kool of een metaal. Ook kan het doek, of een deel van het doek, in zijn geheel bestaan uit een geleidend materiaal en wordt de benatting gerealiseerd mede dankzij de 15 capillaire werking van de geleider. Een bijkomend voordeel van deze sensor is dat het relatief eenvoudig is om het katholiet op andere procesomstandigheden te bedrijven dan het anoliet. Dit kan bijvoorbeeld worden gerealiseerd door de verversingsgraad van het katholiet te variëren, door het 20 doek in contact te brengen met een kleine hoeveelheid gas zoals kooldioxide of met een kleine hoeveelheid base of zuur. Bij deze productie blijven de variabele kosten laag aangezien het totaal volume van het katholiet zeer klein is. Om deze reden verandert de samenstelling van het anoliet ook 25 nauwelijks na opmenging van katholiet en anoliet.

De uitvinding heeft tevens betrekking op een bioreactor voor het produceren en/of selecteren van een micro-organisme, omvattende:

- een reactorvat voor het bevatten van een micro- 30 organisme;
- middelen voor het opleggen van trillingen, zoals akoestische trillingen, en/of een elektrisch,

magnetisch of elektromagnetisch veld voor het beïnvloeden van het micro-organisme.

Voor een dergelijke brandstofcel gelden gelijke effecten en voordelen als die beschreven zijn voor de sensor. Met de bioreactor is het mogelijk culturen van micro-organismen te screenen en eventueel tegelijkertijd te detecteren.

Indien een mengsel van micro-organismen in bijvoorbeeld een microbiële brandstofcel volgens de onderhavige uitvinding wordt gebracht dan zal zich gegeven de procescondities een stationaire toestand instellen die een bepaalde stroomproductie oplevert. Door het anoliet nu bloot te stellen aan trillingen zoals akoestische trillingen, licht-, radiogolven, een wisselend elektrisch veld of een magnetisch veld zal de stofwisseling van de verschillende micro-organismen worden beïnvloed waardoor sommige micro-organismen juist in aantal zullen toenemen. Door de gewijzigde omstandigheden in het anoliet zal in de meeste gevallen ook een andere stroom gaan lopen. Het is dus mogelijk om middels de onderhavige uitvinding in situ selectie van culturen te realiseren en op deze wijze de werking van een microbiële brandstofcel te optimaliseren. Hiermee kan een microbiële brandstofcel worden ingesteld om ervoor te zorgen dat de gewenste micro-organismen actief zijn en de groei van ongewenste micro-organismen wordt geremd. Desgewenst kunnen deze ongewenste micro-organismen worden geremd of deze ongewenste micro-organismen zelfs worden vernietigd. Met de onderhavige uitvinding is het mogelijk om een stationaire toestand te verkrijgen in een microbiële brandstofcel die, zonder blootstelling aan trillingen onder gegeven procescondities, niet zou ontstaan. Nadat deze stationaire toestand zich heeft ingesteld kan in een aantal gevallen de trillingsbron worden uitgezet

aangezien de ongewenste micro-organismen uit het systeem zijn verwijderd. In andere gevallen is het gewenst om de trillingsbron niet uit te schakelen.

De uitvinding heeft voorts tevens betrekking op
5 een microbiële brandstofcel, omvattende:

- een anolietruimte voor het bevatten van een micro-organisme en een anoliet;
- een in de anolietruimte geplaatste anode voor opname van elektronen, afkomstig van het micro-organisme;
- 10 - een kathode; en
- een tussen de anolietruimte en de kathode geplaatst absorberend element.

Een dergelijke microbiële brandstofcel heeft gelijke voordelen en effecten als beschreven voor de sensor en de
15 bioreactor.

De uitvinding heeft verder eveneens betrekking op een werkwijze voor het beïnvloeden van een micro-organisme, omvattende de stappen:

- het voorzien van het micro-organisme in een
20 anolietruimte;
- het plaatsen van een anode in de anolietruimte;
- het voorzien van een werkzaam met de anode verbonden kathode, zodanig dat een spanning ontstaat tussen de anode en de kathode; en
- 25 - het blootstellen van een micro-organisme aan trillingen, zoals akoestische trillingen, een elektrisch veld en/of een magnetisch veld.

Met een dergelijke werkwijze kunnen gelijke effecten en voordelen worden bewerkstelligd als beschreven
30 voor de sensor, bioreactor en microbiële brandstofcel.

Verdere voordelen, kenmerken en details van de uitvinding worden toegelicht aan de hand van de

voorkeursuitvoeringsvormen daarvan, waarvan verwezen wordt naar de bijgevoegde tekeningen, waarin tonen:

Figuur 1 een schematische weergave van de werking van het principe volgens de uitvinding; en

5 Figuur 2 een alternatieve voorkeursuitvoeringsvorm volgens de uitvinding.

In een eerste uitvoeringsvorm 2 (Figuur 1) zijn twee compartimenten of elektroderuimten 4, 6 voorzien. Compartiment 4 is het anodecompartiment waarin anoliet 8 is
10 voorzien. In het kathodecompartiment 6 is katholiet 10 voorzien. In anodecompartiment 4 is een anode 12 aangebracht en kathodecompartiment 6 is voorzien van een kathode 14. Tussen de beide compartimenten 4, 6 is een kation selectief membraan 16 aangebracht. In anoliet 8 is een micro-organisme
15 in de vorm van bakkersgist aangebracht. Het anoliet betreft een vruchtensap in de vorm van diksap. In de anolietruimte 4 wordt kooldioxide geproduceerd dat uit de ruimte wordt gelaten via uitgang 18. De elektroden 12, 14 zijn werkzaam verbonden via circuit 20. Circuit 20 bevat een stroommeter
20 22 waarmee stroom en met name wisselingen daarin kunnen worden gemeten. In kathoderuimte 6 worden de door het membraan 16 gediffundeerde protonen gereduceerd met behulp van zuurstof, waarbij water ontstaat. Zuurstof wordt aangevoerd via ingang 24 en de reactieproducten kunnen
25 worden afgevoerd via uitgang 26 van kathodecompartiment 6.

In een alternatieve uitvoeringsvorm van sensor 28 (figuur 2) is in een anoderuimte 30 anoliet 32 gebracht. In de anoderuimte 30 is een anode 34 aangebracht. Tevens hangt een absorberend element 36 in de vorm van een katoenen doek met een eerste uiteinde 38 in het anoliet 32. Een kathode 40
30 wordt omgeven door het andere doekuiteinde 42. Anode 34 en kathode 40 zijn verbonden via circuit 44 waarin een stroommeter 46 is voorzien.

Mogelijke toepassingen van de nieuwe sensor 2, 28
worden navolgend toegelicht. Indien een biologisch systeem
in de anolietruimte van een brandstofcel wordt blootgesteld
aan de invloed van bijvoorbeeld elektromagnetische golven
5 dan is het mogelijk dat het anoliet opwarmt door
energiedissipatie van de golven in water en/of in het
biologische systeem. Deze opwarming heeft gevolgen voor de
stofwisseling en/of deling van de micro-organismen en/of
chemische reacties en/of enzymatische reacties in het
10 anoliet waardoor het zeer waarschijnlijk is dat ook de door
de sensor in de vorm van een microbiële brandstofcel
geproduceerde stroom verandert. Een microbiële brandstofcel
waarin een temperatuurmetering is aangebracht maakt deel uit
van de onderhavige uitvinding. Indien echter het vermogen
15 van de radiogolven beperkt is en bijgevolg de
temperatuurstijging van het anoliet nauwelijks waarneembaar
is kunnen elektromagnetische golven nog steeds een
significante invloed hebben op het biologische systeem en
daarmee ook op de stroom die de microbiële brandstofcel
20 produceert. Eén van de achterliggende mechanismen hiervoor
is dat de celmembranen van cellen van levende organismen een
asymmetrische samenstelling hebben en dat ionen als functie
van de lengtecoördinaat loodrecht op het celmembraan een
asymmetrische mobiliteit hebben. Hierdoor kunnen
25 celmembranen als demodulator van radiogolven fungeren
aangezien ze vanuit elektrotechnisch perspectief opgevat
kunnen worden als een parallelschakeling van een diode, een
weerstand en een condensator. Consequentie hiervan is dat
bijvoorbeeld in geval van een amplitude gemoduleerde
30 radiogolf met een frequentie van de draaggolf van 2 MHz en
een amplitudemodulatie met een frequentie van 100 kHz, een
wisselspanning met een frequentie van 100 kHz over het
membraan kan ontstaan. Een dergelijke wisselspanning over

het membraan kan de eigenschappen van het membraan veranderen of zelfs elektroporatie gevolgd door celdood veroorzaken. Het is voor de vakman duidelijk dat de frequentie en aard van de modulatie waarbij radiogolven een effect hebben op een levende cel in het algemeen, of op het micro-organisme in het bijzonder, afhankelijk is van de aard van de levende cel of het micro-organisme. Dit betekent dat het mogelijk is om effecten van radiogolven op een micro-organisme te vertalen naar effecten op andere levende cellen vooropgesteld dat de "elektrische eigenschappen" in termen van met name resonantiefrequentie en demodulatiekarakteristiek van zowel de micro-organismen als andere levende cellen bekend zijn. Zo is het in beginsel mogelijk om gemeten effecten met een sensor volgens de onderhavige uitvinding, waarbij bijvoorbeeld bakkersgist in het anoliet wordt toegepast, te vertalen naar mogelijke biologische effecten op de mens.

In enkele van de besproken mogelijke toepassingen staat het gehanteerde biologische systeem model voor een ander biologisch systeem. Zo kunnen de micro-organismen model staan voor onder meer de mens. In een mogelijke andere toepassing van een dergelijke bioreactor wordt door middel van een sensor volgens de onderhavige technologie de werking van een bioreactor gestuurd, bijvoorbeeld voor de productie van medicijnen. Dit kan bijvoorbeeld door een bioreactor uit te rusten met elektroden volgens één van de concepten in de onderhavige vinding. Indien de bioreactor nu wordt blootgesteld aan trillingen, zal het sensorsysteem onder bepaalde trillingscondities een andere stroom meten hetgeen aangeeft dat de processen in de bioreactor worden beïnvloed. De bioreactor kan op deze wijze optimaal worden ingesteld en zonodig blijft de trillingsbron na instelling van het optimum operationeel.

Nog een andere toepassing van de onderhavige vinding is een sensor voor het detecteren van biofouling waarbij een procesvloeistof aan het anoliet of katholiet van de sensor wordt toegevoegd en waarbij, afhankelijk van de aard en de hoeveelheid biofouling die zich op een elektrode van de sensor afzet, de stroomproductie van de sensor verandert.

De sensorprincipes 2, 28 zijn ook bruikbaar als microbiële brandstofcel. Zo is het met de nieuwe technologie ook mogelijk om een anaerobe afvalwaterzuiveringsinstallatie om te bouwen tot een microbiële brandstofcel tegen zeer lage investeringen. Verder zijn ook de variabele kosten en het onderhoud van een dergelijke microbiële brandstofcel laag. Indien een anaerobe reactor wordt uitgerust met koolstofmatten en loodrecht op het vloeistofoppervlak katoenen doek wordt gespannen waarin koolstofmatten als kathode zijn verwerkt dan hebben we een microbiële brandstofcel. Hierbij kan desgewenst gebruik worden gemaakt van het bevochtigen van het absorberende element in geval het sensorprincipe 28 wordt toegepast.

Experiment

In een kunststof vat van 10 liter met schroefdop wordt 5 liter drinkwater met een temperatuur van 25°C gevoegd. Vervolgens wordt 750 ml geconcentreerd appelsap (merk Dixap van Covelt met een hoeveelheid koolhydraten van 87,5 gram koolhydraten per 100 ml en 0,1 gram eiwit per 100 ml) toegevoegd. Na intensief mengen wordt 21 gram instant gist (3 zakjes van 7 gram merk Dr. Oetker overeenkomend met 75 gram verse gist) toegevoegd. Het mengsel wordt vervolgens gedurende 5 minuten intensief geschud waarna de vloeistof gedurende 3 uur wordt bewaard in aanwezigheid van zuurstof, i.e. de schroefdop van het 10 liter vat was niet op het vast

geschroefd. Het aldus verkregen mengsel werd vervolgens intensief geschud. Vervolgens werd zo'n 400 ml van de gistende suspensie in een 750 ml bekeerglas met een diameter van 10 cm gevoegd. In het bekeerglas werd een

5 grafietelektrode, verderop de anode genoemd, aangebracht met een effectief oppervlak van $2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$. Vervolgens werd een katoenen doek in de vloeistof gehangen en deze katoen doek werd circa 10 cm boven het vloeistofoppervlak in intensief contact gebracht met een tweede grafietelektrode, verderop

10 de kathode genoemd, met een oppervlak van $1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$. Door de capillaire werking werd deze tweede elektrode vochtig en door het zeer intensieve contact van de vloeistof in de doek en op de kathode met de lucht, werkt deze elektrode als een kathode. De anode en kathode werden verbonden met een

15 voltmeter en na circa 3 uur gaf deze voltmeter een spanning aan van circa 50 mV. Vervolgens werd een weerstand van 10 kohm tussen anode en kathode aangebracht en na circa 10 minuten stelde zich een stabiele spanning tussen anode en kathode van ca. 15 mV in. Hiermee is de werking van de

20 microbiële brandstofcel volgens de onderhavige vinding aangetoond. Opgemerkt wordt dat de brandstofcel in dit voorbeeld verre van optimaal functioneert door een hoge interne weerstand van de brandstofcel, een niet optimaal functionerende mediator, beperkt elektrode-oppervlak en

25 zuurstofdiffusie van de lucht naar het anoliet in het bekeerglas. Na een week in bedrijf te zijn geweest, werkt de microbiële brandstofcel nog steeds en levert ongeveer hetzelfde vermogen. Het is voor de vakman duidelijk dat deze microbiële brandstofcel eenvoudig geoptimaliseerd kan

30 worden.

De onderhavige uitvinding is geenszins beperkt tot de bovenbeschreven voorkeursuitvoeringsvormen. De gevraagde rechten worden bepaald door de navolgende conclusies, binnen

de strekking waarvan velerlei modificaties denkbaar zijn. Zo behoort bijvoorbeeld tot de mogelijkheden om de sensorprincipes 2, 28 toe te passen op een bekende microbiële elektrolysecel. Hiermee kan een dergelijke cel worden toegepast als een sensor voor de detectie van onder meer de invloed van trillingen op biologische systemen. Uit de stroom die gaat lopen bij een bepaalde overproductie tussen de anode en kathode kan de biologische activiteit van een systeem worden bepaald. Opgemerkt wordt dat ook bij deze toepassing het sensorprincipe 28 op voordelige wijze kan worden toegepast.

1035649