

19



Octrooiencentrum
Nederland

11 2001067

12 C OCTROOI²⁰

21 Aanvraagnummer: 2001067

51 Int.Cl.:
C02F11/04 (2006.01)

22 Ingediend: 07.12.2007

41 Ingeschreven:
09.06.2009

47 Verleend:
09.06.2009

45 Uitgegeven:
03.08.2009

73 Octrooihouder(s):
Spark Origin B.V. te Nijmegen.

72 Uitvinder(s):
Stephanus Gerardus Johannes Blankenburg
te Nijmegen.
Jan Willem Gerritsen te Wijchen.

74 Gemachtigde:
Ir. H.Th. van den Heuvel c.s. te 5200 BN
's-Hertogenbosch.

54 Werkwijze en inrichting voor het omzetten van biomassa in methaan.

57 Het gebruik van fossiele brandstoffen is in de laatste 100 jaar zeer sterk toegenomen. De uitvinding heeft betrekking op een werkwijze voor het omzetten van biomassa in methaan. De uitvinding heeft tevens betrekking op een inrichting voor het omzetten van biomassa in methaan, in het bijzonder door gebruikmaking van de werkwijze overeenkomstig de uitvinding.

NL C 2001067

Dit octrooi is verleend ongeacht het bijgevoegde resultaat van het onderzoek naar de stand van de techniek en schriftelijke opinie. Het octrooischrift komt overeen met de oorspronkelijk ingediende stukken. Octrooiencentrum Nederland is een agentschap van het ministerie van Economische Zaken.

Werkwijze en inrichting voor het omzetten van biomassa in methaan

De uitvinding heeft betrekking op een werkwijze voor het omzetten van biomassa in methaan. De uitvinding heeft tevens betrekking op een inrichting voor het omzetten van
5 biomassa in methaan, in het bijzonder door gebruikmaking van de werkwijze overeenkomstig de uitvinding.

Het gebruik van fossiele brandstoffen is in de laatste 100 jaar zeer sterk toegenomen. Berekeningen wijzen uit dat bij een huidige toenemende consumptie van fossiele
10 brandstoffen de steenkoolvoorraad nog ongeveer 200 jaar, de aardgasvoorraad tussen 70 en 100 jaar, en de olievoorraad slechts tussen 40 en 50 jaar in de consumptiebehoefte kan voorzien. Naast het feit dat de voorraden voor fossiele brandstoffen relatief beperkt zijn, gaat de verbranding van de fossiele brandstoffen gepaard met de productie van koolstofdioxide, hetgeen leidt tot een toename van het broeikas effect. Derhalve worden
15 verschillende initiatieven geïnitieerd om duurzame energie te verkrijgen, teneinde de mensheid voor onbeperkte tijd energie te kunnen verschaffen, waarbij het leefmilieu en de mogelijkheden voor toekomstige generaties niet worden benadeeld. Voorbeelden van duurzame energie zijn windenergie, zonne-energie, en energie afkomstig uit biomassa. Echter, het nadeel van windenergie en zonne-energie ten opzichte van energie verkregen
20 uit biomassa is dat deze energiesoorten slechts elektriciteit of warmte, doch geen brandstof, kunnen voortbrengen, althans niet rechtstreeks. Daar de mensheid nog lange tijd afhankelijk zal zijn van brandstoffen voor bijvoorbeeld verkeer en vervoer, verwarmingen en gedecentraliseerde energietoevoer neemt de behoefte aan een efficiënte conversie van biomassa in brandstof, waaronder methaan (CH_4), meer en
25 meer toe. Uit deze biomassa kan energie worden verkregen door de biomassa te verbranden, te vergassen, te vergisten of te pyrolyseren. Volgens Europese Richtlijn 2001/77/EG wordt biomassa gedefinieerd als de biologisch afbreekbare fractie van producten, afvalstoffen en residuen van de landbouw (inclusief plantaardige en dierlijke stoffen), de bosbouw en aanverwante bedrijfstakken, alsmede de afbreekbare fractie van
30 industrieel en huishoudelijk afval. Als alternatieve definitie wordt biomassa beschouwd als een verzamelnaam voor al het materiaal (massa) dat door levende organismen is opgebouwd, waaronder hout, speciaal gekweekte gewassen, organisch-biologisch plantaardig of dierlijk afval, mest en slib afkomstig uit rioolwaterzuiveringsinstallaties. De toepassing van speciaal gekweekte energierijke gewassen, zoals bijvoorbeeld

koolzaden, suikerriet, en maïs, staat echter doorgaans op gespannen voet met het toenemende wereldvoedseltekort. In de praktijk blijken diverse biomassa gerelateerde alternatieven te bestaan voor het gebruik van energierijke gewassen, waarbij geen sprake zal zijn van een conflict tussen de toenemende energiebehoefte en het

5 toenemende voedseltekort. Hoewel het bestaande potentieel van biologisch-organisch afval wordt onderkend, is het nog niet goed mogelijk gebleken om effectief en commercieel haalbaar (groene) brandstof uit deze (groene) afvalstromen te halen. De reden voor deze problemen is dat de energie die nog aanwezig is in deze biologisch-organische afvalstromen, is opgeslagen in de vorm van complexe biomoleculen als

10 bijvoorbeeld cellulose, eiwitten en vetten, die relatief lastig chemisch zijn om te zetten tot biologische brandstoffen. Deze chemische omzetting wordt verder belemmerd door de relatief grote hoeveelheid water die aanwezig is in deze biomassa. De biochemische omzetting van deze biomassa in biologische brandstof kan worden versneld door de omzetting te katalyseren met behulp van enzymen. Echter, deze enzymen zijn kostbaar

15 en niet altijd bestand tegen het milieu waarin de biochemische omzetting dient plaats te vinden. In plaats van enzymen is het tevens bekend om micro-organismen toe te passen om de biomassa te kunnen vergisten tot methaan (aardgas). Dit microbiologische omzettingsproces verloopt in afwezigheid van zuurstof, waardoor een zo groot mogelijke conservering van energie gewaarborgd blijft. Een belangrijk nadeel van deze

20 microbiologische omzetting is dat de biomassa zich relatief langdurig, doorgaans een periode van tussen 3 en 4 weken, in een bioreactor dient te bevinden om een fractie van de biomassa te kunnen omzetten in methaan, hetgeen leidt tot een relatief laag rendement per tijdseenheid. Doordat het bestaande proces relatief traag is gaat dit bovendien gepaard met relatief hoge investeringskosten en operationele kosten. De

25 behoefte bestaat om de microbiologische conversie van biomassa in methaan te verbeteren om tegemoet te kunnen komen aan de toenemende globale energieproblematiek.

De uitvinding heeft tot doel het verschaffen van een relatief efficiënte werkwijze voor

30 het microbiologisch omzetten van biomassa in methaan.

De uitvinding verschaft daartoe een werkwijze van het in aanhef genoemde type, omvattende de stappen: A) het laten vergisten van ten minste een deel van de biomassa tot ten minste één tussenproduct, in het bijzonder ten minste één tussenproduct gekozen

uit de groep: waterstof, koolstofdioxide en acetaat, koolmonoxide, vluchtige vetzuren, formiaat, alcoholen, pyruvaat, methylamine, dimethylamine, methylsulfide, dimethylsulfide, trimethylamine, methylmercaptaan, en onvolledig gereduceerde koolstofverbindingen, en B) het laten vergisten van ten minste een deel van het ten

5 minste ene tussenproduct volgens stap A) tot althans methaan, waarbij de werkwijze tevens de volgende stappen omvat: C) het tijdens stap A) toevoegen van ten minste één base aan de biomassa, en D) het tijdens stap B) toevoegen van ten minste één zuur aan het tussenproduct. Door de doorgaans van vocht voorziene biomassa gefaseerd te laten vergisten door anaërobe micro-organismen, waarbij in een eerste fase base wordt

10 toegevoegd aan de in één of meerdere tussenproducten om te zetten (natte) biomassa, en waarbij in een opvolgende tweede fase zuur wordt toegevoegd aan het ten minste ene in methaan om te zetten tussenproduct, kan de omzetting van biomassa in methaan substantieel worden versneld van 3 tot 4 weken naar enkele dagen. Het voordelige effect van het successievelijk toevoegen van base en zuur aan de biomassa

15 respectievelijk het ten minste ene tussenproduct kan worden verklaard ingeval de biochemische omzetting van de biomassa in detail wordt bestudeerd, zoals in het navolgende zal worden uiteengezet.

Biomassa omvat doorgaans een aanzienlijke fractie onopgeloste, biodegradeerbare polymeren, zoals eiwitten, koolhydraten en vetten. Deze polymeren zullen in een eerste

20 stap door middel van hydrolyse (I) worden omgezet in minder complexe, opgeloste verbindingen, zoals aminozuren, (hogere) vetzuren, suikers, en alcoholen door veelal extracellulaire enzymen die door fermentatieve micro-organismen worden geproduceerd. De opgeloste verbindingen worden door de fermentatieve micro-organismen omgezet in een reeks eenvoudige verbindingen, zoals vluchtige vetzuren,

25 alcoholen, melkzuur, koolstofdioxide, waterstof (H_2), ammoniak, en diwaterstofsulfide, waarbij de micro-organismen met behulp van de vrijgekomen energie alsmede een deel van de gevormde producten nieuw celmateriaal aanmaken. Dit proces wordt doorgaans tevens aangeduid als fermentatie of acidogenese (II). Een relatief groot deel, doorgaans circa 70%, van de fermentatieproducten wordt vervolgens in een opvolgende

30 acetogenese (III) door anaërobe acetogene micro-organismen omgezet in tussenproducten die met name worden gevormd door acetaat, waterstof en koolstofdioxide, waarbij tevens nieuw celmateriaal wordt gevormd. Naast (of in plaats van) voornoemde tussenproducten kunnen tevens koolmonoxide, vluchtige vetzuren, formiaat, alcoholen, pyruvaat, methylamine, dimethylamine, methylsulfide,

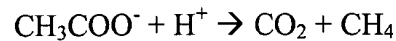
dimethylsulfide, trimethylamine, methylmercaptaan, onvolledig gereduceerde koolstofverbindingen, of andersoortige verbindingen als tussenproduct worden gevormd, alhoewel deze tussenproducten doorgaans slechts in beperkte hoeveelheden zullen worden gevormd. Ingeval in het navolgende de tussenproducten acetaat, koolstofdioxide en waterstof worden aangehaald worden tevens voornoemde alternatieve tussenproducten bedoeld om biomassa te kunnen converteren in methaan. De gevormde tussenproducten worden vervolgens in een methanogenese (IV) – een methaanvormend proces – door anaërobe methanogene micro-organismen omgezet in koolstofdioxide en methaan. Een resterend, relatief klein deel, doorgaans circa 30%, van de fermentatieproducten zal niet worden door middel van acetogenese worden omgezet in voornoemde tussenproducten, maar zal direct door middel van methanogenese worden omgezet in met name koolstofdioxide en methaan. Het totale vergistingsproces wordt tevens schematisch weergegeven in figuur 1.

De fermentatieve micro-organismen, zoals bijvoorbeeld Clostridiumsoorten en Bakteroïdessoorten zijn zuurproducerende micro-organismen. Teneinde voldoende activiteit van de fermentatieve en acetogene micro-organismen te kunnen waarborgen is het van belang om te voorkomen dat de pH onder een kritische pH-waarde van 5 komt door overeenkomstig stap C) base toe te voegen. Het toevoegen van base is tevens van belang om de pH voldoende hoog te houden voor de methanogene micro-organismen die opvolgend overeenkomstig B) de één of meerdere tussenproducten zullen omzetten in methaan. Deze methanogene micro-organismen vertonen namelijk nauwelijks enige activiteit in een relatief zuur milieu. Het toevoegen van ten minste één base aan de te vergisten biomassa om de pH te kunnen verhogen heeft aldus voordelen voor de meest relevante micro-organismen die een rol spelen bij de omzetting van biomassa in methaan.

Tijdens de methanogenese wordt overeenkomstig stap D) zuur toegevoegd aan de tussenproducten, daar de methanogene micro-organismen zuurconsumerend gedrag vertonen en aldus zuur nodig hebben om tot een effectieve biochemische omzetting naar methaan te kunnen komen. Zowel de acetotrofe methanogens, die acetaat omzetten in methaan en koolstofdioxide, alsmede de hydrogenotrofe methanogens, die koolstofdioxide en waterstof (H₂) omzetten in methaan en water, consumeren protonen (H⁺) om de biochemische omzetting te kunnen realiseren. De methanogenese kan middels de volgende reactievergelijkingen worden geïllustreerd:

Methaanvorming uit waterstof/kooldioxide: $4 \text{ H}_2 + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_4 + 3 \text{ H}_2\text{O}$

Methaanvorming uit acetaat:



Anders dan de base die tijdens stap A) wordt toegevoegd wordt het zuur tijdens stap B) niet primair toegevoegd om de pH van het milieu waarin de tussenproducten zich bevinden te reguleren, maar eerder om te kunnen voorzien in voldoende

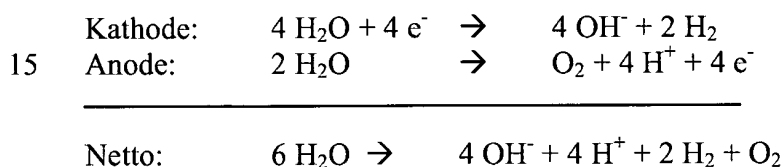
- 5 uitgangproduct om tot een zo efficiënt mogelijke omzetting van tussenproduct in methaan te kunnen komen. Het successievelijk toedienen van een base en een zuur heeft tevens als belangrijk voordeel dat geen buffer aan de biomassa toegevoegd hoeft te worden, hetgeen een (ongewenste) toename van de zoutconcentratie in de biomassa met
- 10 zich mee zou brengen. Bovendien is het toepassen van een base en zuur in plaats van een buffer vanuit financieel en logistiek oogpunt gunstig. Daarbij komt dat middels het toepassen van een base en een zuur in plaats van een buffer een substantieel verbeterde procesbeheersing kan worden gerealiseerd, vanwege de successievelijke basebehoefte en zuurbehoefte tijdens de gefaseerde omzetting van biomassa in methaan. Opgemerkt zij dat de omzetting van de biomassa in het ten minste ene tussenproduct en de
- 15 omzetting van het ten minste ene tussenproduct in methaan doorgaans tevens gelijktijdig plaatsvinden. Doch tijdens stap A) zal voornamelijk biomassa worden omgezet in het ten minste ene tussenproduct, waarbij eventueel een kleine fractie van het tussenproduct wordt omgezet in methaan, en tijdens stap B) zal voornamelijk het ten minste ene tussenproduct worden omgezet in methaan, waarbij eventueel nog een
- 20 restfractie van de oorspronkelijke biomassa wordt omgezet in het ten minste ene tussenproduct. In de praktijk zullen doorgaans zowel acetaat, alsook, koolstofdioxide, alsook waterstof worden gevormd als tussenproduct. Ingeval in de onderhavige beschrijving of conclusies de term biomassa wordt aangehaald, dan zal dit in de praktijk een mengsel zijn van biomassa en tussenproducten, waarbij de voornaamste fractie
- 25 wordt gevormd door biomassa. Ingeval in de onderhavige beschrijving of conclusies de term tussenproduct wordt aangehaald, dan zal dit in de praktijk tevens een mengsel zijn van biomassa en tussenproducten, waarbij de voornaamste fractie wordt gevormd door één of meerdere tussenproducten. Alhoewel het proces overeenkomstig de uitvinding in hoofdzaak anaëroob van aard is, zal de om te zetten biomassa initieel doorgaans
- 30 evenwel zijn voorzien van zuurstof. Deze zuurstof zal tijdens het proces relatief snel worden verbruikt door de micro-organismen. Onderwijl (of eventueel hierna) zal het anaërobe conversieproces zich voltrekken.

De tijdens stap A) toe te dienen base kan divers van aard zijn en zal, zoals reeds vermeld, slechts de rol hebben als protonacceptor, teneinde daling van de pH van de

biomassa tot onder een kritische grens van 5 te kunnen tegengaan. Voorbeelden van toepasbare basen zijn: OH^- , S^{2-} , PO_4^{3-} , NH_3 , et cetera. Het tijdens stap B) toe te dienen zuur wordt bij voorkeur gevormd door een proton (H^+), dat aan een watermolecuul zal zijn gebonden onder vorming van H_3O^+ . Het proton kan daarbij zijn afgesplitst van een (sterk) zuur, zoals bijvoorbeeld HNO_3 , doch het is tevens denkbaar dat het proton is afgesplitst van een zwak zuur, zoals bijvoorbeeld azijnzuur. Teneinde de zuurbalans zo neutraal mogelijk te kunnen houden kan het, afhankelijk van de situatie, voordelig zijn ingeval de (effectieve) molaire hoeveelheden van de tijdens stap A) toegevoerde base en het tijdens stap B) toegevoerde zuur in hoofdzaak identiek zijn, zodat tijdens de omzetting van biomassa in methaan evenveel toegediende base wordt geneutraliseerd als dat er opvolgend toegediend zuur wordt geconsumeerd. In bepaalde situaties, waarbij bijvoorbeeld relatief zure (of basische) biomassa als uitgangsmateriaal wordt genomen kan het echter voordelig zijn om meer (of minder) base toe te dienen dan dat er successievelijk zuur wordt toegediend.

De toe te dienen base en het toe te dienen zuur kunnen apart van elkaar in separate voorraadhouders zijn opgeslagen, en hoeven onderling niet geconjugeerd te zijn. Echter, in een voorkeursuitvoering omvat de werkwijze tevens de stap: E) het vóór en/of tijdens het toedienen van de base volgens stap C) en het toedienen van het zuur volgens stap D) het genereren van de base en het zuur. Het genereren van de base en het zuur gebeurt bij voorkeur op de locatie waar de biomassa en het tussenproduct worden omgezet. Het genereren van de base en het zuur kan op diverse wijzen worden gerealiseerd. Doch, het genereren van de base en het zuur volgens stap E) geschiedt bij voorkeur met behulp van ten minste één elektrochemische cel, die bij nadere voorkeur twee onderling gekoppelde elektrochemische halfcellen omvat. In een elektrochemische cel treedt een redoxreactie op waarbij elektrische energie wordt gebruikt. De elektrochemische cel omvat twee met elkaar verbonden elektroden, waarbij aan de kathode een reductiereactie plaatsvindt terwijl aan de anode een oxidatiereactie plaatsvindt. In de in deze voorkeursuitvoering toegepaste elektrochemische cel worden de om te zetten chemische verbindingen zodanig gekozen dat aan de kathode een base wordt gevormd terwijl aan de anode een zuur wordt gevormd. Ingeval de chemische samenstelling in de afzonderlijke halfcellen van elkaar verschillen, zullen deze halfcellen doorgaans dienen te worden gescheiden, bijvoorbeeld middels een geleidende zoutbrug of een geleidend membraan, waardoor de elektrochemische cel de facto wordt opgedeeld in twee

halfcellen. Het via een redoxreactie laten genereren van een base en een zuur is doorgaans relatief voordelig, doordat de base en het zuur ter plaatse kunnen worden gegenereerd uit één of meerdere (goedkope) bulksubstanties. In een bijzondere voorkeursuitvoering is om te zetten verbinding eenzelfde substantie, in het bijzonder water. Teneinde een redoxreactie aan de elektroden te kunnen laten optreden is het evenwel gewenst dat alsdan een stroombron, zoals bijvoorbeeld een batterij of accu, wordt gekoppeld aan de elektroden om actief de redoxreactie te initiëren en op gang te houden. Het door toepassing van elektrische stroom laten reageren, in het bijzonder ontleden, van een verbinding wordt tevens aangeduid als elektrolyse. Voordelen van de toepassing van water is dat water relatief goedkoop, een typisch bulkgoed, en ongevaarlijk is. Bovendien zal water tijdens de elektrolyse ontleden in OH^- en H^+ volgens onderstaande reactieschema:



Bij de elektrolyse van water wordt er aldus zowel een base (OH^-) alsook een zuur (H^+) gevormd. Bovendien worden bij de elektrolyse van water molair evenveel base als zuur gevormd, waardoor het tijdens het omzetten van biomassa in methaan toedienen van de base en het zuur in principe niet leidt tot een overall verandering van de zuurgraad, waardoor zuurgraadneutraliteit kan worden gewaarborgd. Teneinde regeneratie van water (H_2O) op basis van de gevormde base (OH^-) en het gevormde zuur (H^+) zoveel mogelijk tegen te gaan is tussen de elektrodes in het water bij voorkeur een geleidende barrière, zoals bijvoorbeeld een membraan geplaatst. Toepassing van twee, door een geleidende zoutbrug onderling gekoppelde, elektrochemische halfcellen die ieder zijn gevuld met water is tevens mogelijk om de gevormde base en het gevormde zuur zoveel mogelijk van elkaar te kunnen scheiden en daardoor te kunnen conserveren. Het eveneens gevormde zuurstofgas (O_2) en waterstofgas (H_2) kunnen eventueel worden afgevangen om vervolgens nuttig te worden toegepast.

Het kan voordelig zijn ingeval het genereren van de base volgens stap E) geschiedt in de doorgaans natte biomassa, en bij voorkeur tevens dat het genereren van het zuur volgens stap E) geschiedt in het doorgaans eveneens natte tussenproduct, waardoor geen

separate, op afstand van de om te zetten biomassa en tussenproduct(en) gepositioneerde, elektrochemische cel benodigd is, hetgeen de inrichting voor het omzetten van biomassa in methaan constructief doorgaans aanzienlijk zal vereenvoudigen.

- 5 Echter, in een andere voorkeursuitvoering geschiedt het genereren van de base en het zuur volgens stap E) op afstand (doch veelal in de nabijheid van) van de biomassa en het tussenproduct. Deze voorkeursuitvoering heeft als voordeel dat het elektrolyseproces beter beheersbaar wordt gemaakt, waarbij bovendien het gevormde zuurstofgas en het waterstofgas dat tezamen een brandbaar mengsel vormt gefaciliteerd
- 10 kunnen worden afgevangen, hetgeen vanuit oogpunt van veiligheid doorgaans voordelig zal zijn. Bovendien is de vorming van zuurstof in de biomassa of het tussenproduct doorgaans minder voordelig voor de activiteit van de micro-organismen die een rol spelen bij de omzetting van biomassa in methaan.
- 15 Bij voorkeur is de pH tijdens stap A) gelegen tussen 5 en 7. Tijdens stap A) vinden met name de hydrolyse, de acidogenese, en (een deel van) de acetogenese plaats. Zoals eerder vermeld zijn fermentatieve micro-organismen verantwoordelijk voor de hydrolyse en de acidogenese. Voorbeelden van fermentatieve micro-organismen die verantwoordelijk zijn voor de hydrolyse zijn micro-organismen die behoren tot één van
- 20 de volgende groepen: Clostridium en Ruminococcus. Voorbeelden van de micro-organismen die verantwoordelijk zijn voor de acidogenese zijn micro-organismen die behoren tot één van de volgende groepen: Clostridium, Fusobacterium, Eubacterium, en Propionibacterium. Voornoemde soorten hebben de meest optimale activiteit bij een pH tussen 5 en 7, hetgeen tevens blijkt uit figuur 2, waarin de overall acidogenische
- 25 activiteit van deze micro-organismen (in afvalwater) als functie van de pH is weergegeven. Ingeval de pH lager wordt dan 5 of hoger wordt dan 7 dan zal de biologische activiteit van deze micro-organismen relatief snel afnemen. De zuurgraaddaling die doorgaans gepaard gaat met de acidogenese zal worden tegengaan door de toegevoegde base. Bij voorkeur omvat de werkwijze tevens de stap F) het
- 30 tijdens stap A) detecteren van de pH van de biomassa. In een bijzondere voorkeursuitvoering wordt de hoeveelheid volgens stap C) toe te dienen base althans bepaald op basis van de tijdens stap F) gedetecteerde pH. Door tijdens stap A) de pH te detecteren kan de pH binnen voornoemd bereik worden gehouden. Bovendien kan op deze wijze worden gedetecteerd of op een bepaald moment sprake zal zijn van een

verminderde zuurproductie of zelfs een (substantiële) pH-stijging, hetgeen duidt op een afname in de zuurproductie van de micro-organismen, waaruit blijkt dat een substantieel deel van de biomassa is omgezet in koolstofdioxide, waterstof, en/of acetaat.

- 5 Tijdens stap B) worden voornamelijk de tussenproducten door middel van methanogenese omgezet in methaan. Eventueel zal tijdens stap B) tevens acetogenese nog in enige mate kunnen plaatsvinden. Methanogene micro-organismen zijn verantwoordelijk voor de methanogenese. Voorbeelden van methanogene micro-organismen zijn micro-organismen die behoren tot één van de volgende groepen:
- 10 Methanobacterium, Methanobrevibacter, Methanosphaera, Methanothermus, Methanococcus, Methanomicrobium, Methanogenium, Methanospirillum, Methanoplanus, Methanocorpusculum, Methanoculleus, Methanosarcina, Methanolobus, Methanohalobium, Methanococcoides, Methanothrix, en Methanopyrus. Voornoemde zuurconsumerende micro-organismen gedijen doorgaans het meest
- 15 optimaal in een klimaat met een pH van tussen 6,5 en 7,5, zoals tevens blijkt uit figuren 3a en 3b waarin de methanogenische activiteit van verschillende micro-organismen is weergegeven. In een voorkeursuitvoering omvat de werkwijze tevens G) omvattende het tijdens stap B) detecteren van de pH van het tussenproduct. Op deze wijze kan tevens worden gedetecteerd op welk moment zich een vermindering in zuurconsumptie
- 20 of zelfs een (substantiële) pH-daling voordoet, hetgeen duidt op een vermindering van de biologische activiteit van de methanogene micro-organismen, waaruit blijkt dat een substantieel deel van de tussenproducten is omgezet in methaan. Bij voorkeur wordt de hoeveelheid volgens stap D) toe te dienen zuur althans bepaald op basis van de tijdens stap G) gedetecteerde pH, en in het bijzonder een gedetecteerde (substantieel)
- 25 afgenomen zuurbehoefte en/of een gedetecteerde (substantiële) pH-daling.

- In een voorkeursuitvoering omvat de werkwijze tevens de volgende stappen: H) het vóór het vergisten van ten minste een deel van de biomassa volgens stap A) leiden van de biomassa in een eerste compartiment, en I) het vóór het vergisten van ten minste een
- 30 deel van het tussenproduct volgens stap B) verplaatsen van ten minste een deel van het tussenproduct van het eerste compartiment naar een tweede compartiment. Het eerste compartiment en het tweede compartiment vormen de facto bioreactoren waarin de vergisting van biomassa tot methaan successievelijk zal worden gerealiseerd. Het is daarbij denkbaar dat het eerste compartiment en het tweede compartiment onderling zijn

geïntegreerd tot één compartiment, waarin de base en het zuur successievelijk worden geleid. Na voldoende biomassa te hebben omgezet in methaan, hetgeen bijvoorbeeld middels pH-metingen kan worden vastgesteld zoals hierboven aangegeven, zal het compartiment grotendeels worden leeggemaakt. Een relatief kleine materiaalfractie, 5 doorgaans in de orde grootte van 5 tot 10%, zal in het compartiment blijven om te dienen als voedingsbodem voor nieuwe micro-organismen voor het kunnen omzetten van nieuw in het compartiment aangebrachte biomassa. Echter, aangezien het een zekere tijd duurt voor de concentratie micro-organismen voldoende groot is dat deze niet langer de beperkende factor is voor de snelheid van het omzettingsproces is het van 10 belang de grootte van de achter te blijven materiaalfractie zo zorgvuldig mogelijk te kiezen. De concentratie micro-organismen in een bioreactor groeit als functie van de tijd typisch volgens een curve die in eerste instantie relatief gematigd oploopt, vervolgens sterk (nagenoeg exponentieel) oploopt om vervolgens gematigd verder op te lopen tot een verzadigingsniveau. Na een relatief trage start vanwege een relatief lage initiële 15 concentratie van micro-organismen, mogelijk gecombineerd met niet-optimale groeicondities – met name bepaald door de pH, chemische samenstelling, en temperatuur – neemt het aantal micro-organismen zeer snel, exponentieel toe om daarna sterk vertraagd door te groeien tot een min of meer constante waarde. Verdere groei kan afgeremd worden door bijvoorbeeld een beperkte hoeveelheid substraat (biomassa of 20 tussenproduct), productinhibitie, en een niet-ideale pH. Aannemende dat voornoemde groeicurve in zekere mate puntsymmetrisch is, dan ligt de hoogste groeisnelheid, beschouwd als de afgeleide van de concentratie in de tijd, op een concentratie van micro-organismen van 50%. In de veronderstelling dat nieuw aangevoerde biomassa verhoudingsgewijs een lage concentratie micro-organismen zal bezitten, betekent dit dat 25 als de helft van de uitgereageerde biomassa wordt vermengd met nieuwe, verse biomassa, dat de conditie voor het maximaliseren van de groeisnelheid van de micro-organismen gehandhaafd wordt, hetgeen het omzettingsproces aanzienlijk versnelt. Op deze wijze wordt dan ook een semi-continu omzettingsproces verkregen. In de praktijk zal doorgaans een breder bereik worden toegepast waarin het vervangen van 30 uitgereageerde biomassa door nieuwe biomassa optimaal zal zijn. Bij voorkeur wordt tijdens stap I) maximaal 95%, en bij voorkeur tussen 30% en 80% van het in het eerste compartiment aanwezige tussenproduct verplaatst naar het tweede compartiment. Eenzelfde redenering en dezelfde waarden kunnen worden toegepast voor het in het tweede compartiment vervangen van reststromen door nog te vergisten tussenproduct.

Teneinde de vergistingscapaciteit te kunnen optimaliseren is het doorgaans voordeliger om in plaats van een enkel compartiment, meerdere, bij voorkeur in serie geschakelde compartimenten (bioreactoren) toe te passen, waarbij zowel de acidogenese alsook de methanogenese simultaan doch in hoofdzaak in verschillende compartimenten kunnen worden uitgevoerd. Bij voorkeur geschiedt het verplaatsen van ten minste een deel van het tussenproduct van het eerste compartiment naar het tweede compartiment overeenkomstig stap I) na het detecteren van een pH-verloop tijdens stap F), hetgeen, zoals reeds vermeld, duidt op een afname in de zuurproductie van althans de fermentatieve micro-organismen, waaruit blijkt dat een substantieel deel van de biomassa is omgezet in één of meerdere tussenproducten gevormd als bijvoorbeeld koolstofdioxide, waterstof, en/of acetaat. Het tijdens stap F) gedetecteerde pH-verloop kan zowel een pH-stijging als een pH-daling betreffen, afhankelijk van het moment van toedienen van de base. Ingeval het doseren van de toe te dienen base met name geschiedt na het detecteren van de pH-waarde (en het pH-verloop) overeenkomstig stap F), dan zal een (afnemende) pH-daling per tijdseenheid duiden op een verminderde behoefte aan base. Ingeval het doseren en toedienen van de base gelijktijdig met het detecteren van de pH-waarde (en het pH-verloop) overeenkomstig stap F) geschiedt, dan zal een (toenemende) pH-stijging per tijdseenheid duiden op een verminderde behoefte aan base. In een voorkeursuitvoering zal de pH-meting deel uitmaken van een regelcircuit waarmee de dosering van de hoeveelheid toe te dienen de base per tijdseenheid en/of het moment waarop de biomassa verplaatst dient te worden kunnen worden bepaald.

Bij voorkeur is de temperatuur tijdens stap A) gelegen tussen 20°C en 80°C, bij nadere voorkeur tussen 30°C en 50°C. Deze temperatuur is voor de acidogene (fermentatieve) micro-organismen en acetogene micro-organismen doorgaans optimaal om de biomassa deels te vergisten. Een temperatuur lager dan 20°C zal doorgaans leiden tot een substantieel lagere biologische activiteit van de betreffende micro-organismen, onderwijl een hogere temperatuur schade kan toebrengen aan de micro-organismen, hetgeen de biologische activiteit tevens zal reduceren. Overigens zijn er tevens acidogene micro-organismen bekend die biologisch actief zijn buiten voornoemd temperatuurbereik. Voor het omzetten van de gevormde tussenproducten in methaan door middel van de methanogene micro-organismen kan eenzelfde temperatuurbereik worden aangenomen. Echter, diverse methanogene micro-organismen vertonen

biologische activiteit in een breder temperatuurbereik, namelijk van 0°C tot 110°C, waardoor tijdens stap B) meer vrijheid bestaat in de toe te passen temperatuur.

Teneinde het vergistingsproces relatief nauwkeurig te kunnen beheersen is het voordelig dat de temperatuur van de biomassa tijdens stap A) en het tussenproduct tijdens stap B) middels één of meerdere temperatuurmeters worden gedetecteerd. Teneinde te kunnen voorkomen dat de temperatuur van de biomassa tijdens stap A) zakt tot onder de temperatuur waarbij de micro-organismen een (significant) verminderde of zelfs geen activiteit meer vertonen, en teneinde te kunnen waarborgen dat de temperatuur in hoofdzaak constant en op een optimale waarde wordt gehouden, is het doorgaans voordelig ingeval de biomassa tijdens stap A) en het tussenproduct tijdens stap B) actief worden verwarmd. Het verwarmen van de biomassa kan op diverse wijze worden gerealiseerd, doch zal doorgaans worden gerealiseerd door het toepassen van één of meerdere verwarmingselementen. Het is tevens denkbaar om de biomassa en eventueel het tussenproduct te verwarmen middels bestraling van de biomassa respectievelijk het tussenproduct. Bij voorkeur wordt de warmte die tijdens het omzettingsproces vrijkomt aangewend voor het op temperatuur houden van de biomassa en/of de tussenproducten.

Het aantal micro-organismen benodigd voor een efficiënte vergisting volgens stap A) respectievelijk stap B) is bij voorkeur gelegen tussen 10^7 en 10^{12} per gram biomassa (inclusief water). In een artikel van Jiunn-Jyi Lay, Yu-You Li, Tatsuu Noike, "Developments of bacterial Population and Methanogenic Activity in a Laboratory-Scale Landfill Bioreactor", Wat. Res. 32(1998)3673-3679 worden een concentratie van acetogene micro-organismen van $2,45 \cdot 10^8$ per gram vaste stof en een concentratie van methanogene micro-organismen van $8,5 \cdot 10^8$ per gram vaste stof aangehaald. Bij voorkeur bedraagt de massa van de micro-organismen benodigd voor een efficiënte vergisting volgens stap A) respectievelijk stap B) maximaal 15 massaprocent, en bij nadere voorkeur 5 massaprocent. In dit verband wordt opgemerkt dat massa van de micro-organismen in een herkauwer, een zoogdier dat eveneens biomassa omzet in methaan, doorgaans circa 1,5 massaprocent bedraagt.

Bij voorkeur wordt de biomassa vóór en of tijdens stap A) fijngemalen, fijngehakt, versneden, of anderszins verpulverd, teneinde het omzettingsproces overeenkomstig de uitvinding te kunnen versnellen. In een voorkeursuitvoering worden de biomassa tijdens

- stap A) respectievelijk het tussenproduct tijdens B) in beweging gehouden. Door het in beweging houden van de biomassa respectievelijk het tussenproduct kan een intensieve menging van de biomassa respectievelijk het tussenproduct met de micro-organismen worden bewerkstelligd, hetgeen de efficiency van het vergistingsproces ten goede komt.
- 5 Een homogene temperatuursverdeling, basespreiding en/of zuurspreiding in de biomassa respectievelijk het tussenproduct zijn daarvoor mede van belang. De biomassa respectievelijk het tussenproduct kan daarbij continu in beweging worden gehouden, doch het is tevens denkbaar dat het verplaatsen van de biomassa respectievelijk het tussenproduct bijvoorbeeld semi-continu geschiedt.
- 10 Doorgaans zal na het uitvoeren van stappen A) en B) van de werkwijze overeenkomstig de uitvinding, een mengsel zijn ontstaan van methaan en een restfractie, waarbij de restfractie doorgaans niet omgezette biomassa, niet omgezet tussenproduct, water, overgebleven zouten, en een overige fractie zal bevatten. Bij voorkeur omvat de
- 15 werkwijze tevens de stap: J) omvattende het tijdens of na het vormen van methaan volgens stap B) scheiden van het methaan van de restfractie. De restfractie van niet-vergiste of uitgiste materialen wordt veelal tevens aangeduid als digestaat. Het digestaat kan verder nuttig worden toegepast als meststof. Bij het toepassen van de werkwijze overeenkomstig de uitvinding worden naast methaan (circa 66%) tevens
- 20 koolstofdioxide (circa 33%) en sporen van andere gassen, zoals waterstof, diwaterstofsulfide, en water(damp) gevormd. Het totale gasmengsel wordt tevens veelal aangeduid als biogas. Het biogas kan doorgaans relatief eenvoudig worden gescheiden van het digestaat bijvoorbeeld door afvangen van het biogas. Het methaan zal doorgaans vervolgens dienen te worden ontwaveld, bij voorkeur door toevoeging van
- 25 (atmosferische) zuurstof aan het biogas waardoor het diwaterstofsulfide biologisch zal worden omgezet, en tevens dienen te worden ontvochtigd, bij voorkeur middels een condensatieproces, alvorens het methaan zal worden getransporteerd en nuttig zal worden toegepast.
- 30 De uitvinding heeft tevens betrekking op een inrichting voor het omzetten van biomassa in methaan, in het bijzonder door toepassing van de werkwijze overeenkomstig de uitvinding, omvattende: ten minste één eerste compartiment voor opname van in ten minste één tussenproduct om te zetten biomassa, ten minste één met het eerste compartiment verbonden base afgeevende bron, ten minste één tweede compartiment

voor opname van het ten minste ene, in methaan om te zetten tussenproduct, en ten minste één met het tweede compartiment verbonden zuur afgevende bron. Voordelen van het toepassen van een inrichting overeenkomstig de uitvinding zijn reeds in het voorgaande op uitvoerige wijze beschreven. Bij voorkeur zijn het eerste compartiment
 5 en/of het tweede compartiment in hoofdzaak mediumdicht uitgevoerd, teneinde het toetreden van atmosferische zuurstof tot de compartimenten zoveel mogelijk tegen te gaan, daar zuurstof een negatieve invloed op het (anaërobe) vergistingsproces heeft.

De base afgevende bron en de zuur afgevende bron kunnen bijvoorbeeld worden
 10 gevormd door een eerste voorraadhouder respectievelijk een tweede voorraadhouder voor het op voorraad houden van de base respectievelijk het zuur. Echter, het is tevens denkbaar dat de base genererende bron niet primair is ingericht voor het op voorraad houden van de base, maar voor het genereren en vervolgens afgeven van de base. Hetzelfde kan gelden voor de zuur afgevende bron. Bij voorkeur staan de zuur
 15 afgevende bron en de base afgevende bron onderling in verbinding, en bij nadere voorkeur maken de zuur afgevende bron en de base afgevende bron deel uit van ten minste één elektrochemische cel. Door toepassing van een elektrochemische cel kan middels een redoxreactie een vooraf gedefinieerde base respectievelijk zuur worden gegenereerd. Bovendien kunnen op deze wijze gelijke molaire hoeveelheid base en zuur
 20 worden toegevoegd aan het eerste compartiment respectievelijk het tweede compartiment, hetgeen het middels de inrichting uit te voeren vergistingsproces zuurgraadneutraal maakt. In een bijzondere voorkeursuitvoering wordt de elektrochemische cel gevormd door een elektrolysecel. Voordelen van het toepassen van een elektrolysecel zijn reeds in het voorgaande beschreven. De elektrochemische
 25 cel, in het bijzonder de elektrolysecel, omvat bij voorkeur twee onderling gekoppelde elektrochemische halfcellen.

Een basegenererende halfcel is bij voorkeur geïntegreerd opgenomen in het eerste compartiment, en/of een zuurgenererende halfcel is bij voorkeur geïntegreerd
 30 opgenomen in het tweede compartiment. In een alternatieve voorkeursuitvoering is de ten minste ene elektrochemische cel op afstand (doch in de nabijheid) van het eerste compartiment en het tweede compartiment geplaatst, teneinde de beheersbaarheid van het elektrochemische proces te kunnen verbeteren. Verdere voordelen van beide voorkeursuitvoeringen zijn reeds in het voorgaande beschreven.

Eventueel kunnen het eerste compartiment en het tweede compartiment onderling zijn geïntegreerd, en als zodanig één compartiment vormen. Het gemeenschappelijke compartiment vormt daarbij een bioreactor die in een voorkeursuitvoering wordt
 5 uitgevoerd als een (bio)propstroomreactor (“plug flow reactor”). In een alternatieve voorkeursuitvoering zijn het eerste compartiment en het tweede compartiment onderling in serie gekoppeld, waarbij tussen het eerste compartiment en het tweede compartiment bij nadere voorkeur een afsluiter is aangebracht. Na het omzetten van biomassa in ten minste één tussenproduct gekozen uit de groep: acetaat, waterstof en koolstofdioxide, in
 10 het eerste compartiment wordt de afsluiter geopend en wordt althans een deel van de inhoud van het eerste compartiment verplaatst naar het tweede compartiment alwaar het ten minste ene tussenproduct zal worden omgezet in althans methaan. Vervolgens zal de afsluiter weer worden gesloten, waarna het eerste compartiment wederom kan worden gevuld met verse, nog om te zetten (waterige) biomassa.

15

In een voorkeursuitvoering is het eerste compartiment voorzien van ten minste één eerste zuurgraadmeter voor het detecteren van de pH in het eerste compartiment. Voordelen van het toepassen van een zuurgraadmeter in het compartiment, ingericht voor het uitvoeren van stap A) van de werkwijze overeenkomstig de uitvinding, zijn
 20 reeds in het voorgaande beschreven. In een bijzondere voorkeursuitvoering is de inrichting voorzien van een besturingseenheid, in het bijzonder een besturingseenheid die is ingericht voor het op basis van de door de eerste zuurgraadmeter gedetecteerde pH bepalen van de hoeveelheid gevormd tussenproduct en/of de hoeveelheid toe te dienen base en/of de hoeveelheid toegediende base. Door het zuurgraadverloop in de
 25 tijd te detecteren kan een indicatie worden afgegeven van de activiteit van de vergisting van de biomassa tot het ten minste ene tussenproduct, en derhalve over de hoeveelheid gevormd tussenproduct. Ingeval in het eerste compartiment een (substantiële) afname in zuurproductie of zelfs pH-stijging wordt gedetecteerd, dan impliceert dit dat voornoemde vergisting in hoofdzaak is gerealiseerd, waardoor de besturingseenheid de
 30 afsluiter bij voorkeur kan aansturen, in het bijzonder openen, voor het kunnen verplaatsen van althans een deel van de inhoud van het eerste compartiment naar het tweede compartiment. In het tweede compartiment wordt bij voorkeur tevens de pH gemeten door toepassing van ten minste één tweede zuurgraadmeter, teneinde het vergistingsproces in het tweede compartiment te kunnen volgen. Bij voorkeur is de

- besturingseenheid (tevens) is ingericht voor het op basis van de door de tweede zuurgraadmeter gedetecteerde pH alsmede de hoeveelheid reeds toegediend zuur bepalen van de hoeveelheid gevormd methaan en/of de hoeveelheid toe te dienen zuur en/of de hoeveelheid reeds toegediend zuur. Bij nadere voorkeur is de
- 5 besturingseenheid verder ingericht voor het ontsluiten van het tweede compartiment, in het bijzonder na het detecteren van een stagnerende zuurconsumptie, voor het kunnen verwijderen van althans een deel van het digestaat uit het tweede compartiment. Daartoe zal het tweede compartiment doorgaans tevens zijn voorzien van een afsluiter die kan worden aangestuurd door de besturingseenheid. Het gedetecteerde pH-verloop kan
- 10 zowel een pH-stijging als een pH-daling betreffen, afhankelijk van het moment van toedienen van het zuur. Ingeval het doseren van het toe te dienen zuur met name geschiedt na het detecteren van de pH-waarde (en het pH-verloop), dan zal een (afnemende) pH-stijging per tijdseenheid duiden op een verminderde behoefte aan zuur. Ingeval het doseren en toedienen van het zuur met name gelijktijdig met het detecteren
- 15 van de pH-waarde (en het pH-verloop) geschiedt, dan zal een (toenemende) pH-daling per tijdseenheid duiden op een verminderde behoefte aan zuur.

- In een voorkeursuitvoering is het eerste compartiment en/of het tweede compartiment voorzien van verwarmingsmiddelen voor het kunnen verwarmen van de biomassa
- 20 respectievelijk het tussenproduct. Op deze manier kan de biomassa respectievelijk het tussenproduct op een ideale temperatuur worden gehouden van tussen 20°C en 80°C, bij nadere voorkeur tussen 30°C en 50°C. Teneinde de temperatuur in het eerste compartiment en/of het tweede compartiment te kunnen detecteren is het betreffende compartiment bij voorkeur voorzien van ten minste één thermometer. Bij voorkeur is de
- 25 besturingseenheid ingericht voor het aansturen van de verwarmingsmiddelen afhankelijk van de door de thermometer gedetecteerde temperatuur, teneinde de temperatuur in het eerste en/of het tweede compartiment op een optimale waarde te kunnen houden.

- 30 Bij voorkeur is het eerste compartiment en/of het tweede compartiment voorzien van transportmiddelen voor het in beweging kunnen houden van de biomassa respectievelijk het tussenproduct. Op deze wijze kan voldoende menging van de biomassa respectievelijk het tussenproduct met de micro-organismen worden gewaarborgd, hetgeen het vergistingsproces doorgaans ten goede zal komen.

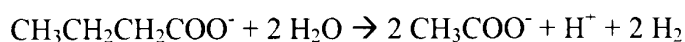
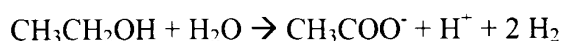
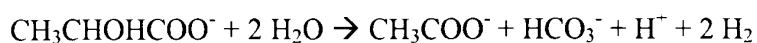
- De uitvinding zal worden verduidelijkt aan de hand van in navolgende figuren weergegeven niet-limitatieve uitvoeringsvoorbeelden. Hierin toont:
- figuur 1 een schematische weergave van het vergistingsproces voor het omzetten van
- 5 biomassa in methaan,
- figuur 2 een grafische weergave van de acidogenische activiteit van micro-organismen als functie van de zuurgraad,
- figuur 3a een grafische weergave van de methanogenische activiteit van *Methanosarcina Barkeri* en *Methanosarcina Hungatei* als functie van de zuurgraad,
- 10 figuur 3b een grafische weergave van de methanogenische activiteit van *Methanosarcina Soehngenii* en *Methanosarcina Mazei* als functie van de zuurgraad,
- figuur 4 een schematische weergave van het omzetten van biomassa in methaan volgens de werkwijze overeenkomstig de uitvinding,
- figuur 5 een schematische weergave van een eerste voorkeursuitvoering van een
- 15 inrichting overeenkomstig de uitvinding,
- figuur 6 een schematische weergave van een tweede voorkeursuitvoering van een inrichting overeenkomstig de uitvinding,
- figuur 7 een schematische weergave van een derde voorkeursuitvoering van een inrichting overeenkomstig de uitvinding,
- 20 figuur 8 een schematische weergave van een vierde voorkeursuitvoering van een inrichting overeenkomstig de uitvinding, en
- figuur 9 een schematische weergave van een vijfde voorkeursuitvoering van een inrichting overeenkomstig de uitvinding,
- figuur 10 een schematische weergave van een zesde voorkeursuitvoering van een
- 25 inrichting overeenkomstig de uitvinding, en
- figuur 11 een schematische weergave van een zevende voorkeursuitvoering van een inrichting overeenkomstig de uitvinding.

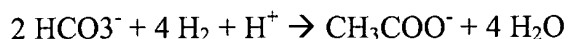
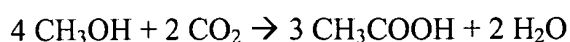
- Figuur 1 toont een schematische weergave van het vergistingsproces voor het omzetten
- 30 van biomassa in methaan. Dit vergistingsproces kan worden opgedeeld in de volgende fasen die zowel successievelijk als simultaan kunnen worden uitgevoerd: hydrolyse (I), acidogenese (of fermentatie) (II), acetogenese (III), en methanogenese (IV).

Tijdens de hydrolyse (I) worden van de biomassa deel uitmakende complexe, niet opgeloste biopolymeren (vetten (α), eiwitten (β) en koolhydraten (γ)) omgezet in minder complexe, opgeloste verbindingen, (aminozuren en suikers (δ), en vetzuren en alcoholen (ϵ), zoals bijvoorbeeld glycerol) door inwerking van extracellulaire enzymen
 5 die worden gevormd door fermentatieve micro-organismen.

Acidogenese of fermentatie (II) wordt gedefinieerd als een microbiologisch zuurproducerend afbraakproces waarbij organische verbindingen zowel als elektronendonator als elektronenacceptor dienst kunnen doen. Opgeloste complexe
 10 organische verbindingen worden hierbij omgezet in voornamelijk vluchtige vetzuren (-COOH). De zuurvorming wordt bewerkstelligd door een grote en zeer gevarieerde groep van fermentatieve bacteriën. Voorbeelden hiervan zijn de groepen van *Clostridium* en *Bakteroïdes*. Het overgrote deel van de fermentatieve bacteriën is obligaat anaëroob (verplicht zuurstofvrije bacteriën), maar in het algemeen bestaat een
 15 deel van de populatie uit facultatief anaërobe bacteriën. Deze laatste groep is in staat om zuurstoffresten die zich in de biomassa bevinden metabolisch om te zetten. Hierdoor worden in feite de obligaat anaërobe bacteriën, waaronder ook de methanogenen, beschermd tegen zuurstofinhibitie.

De gevormde eindproducten bij de acidogenese zijn met name afhankelijk van de soort
 20 bacteriën evenals de procescondities (pH, temperatuur, redoxpotentiaal) en daarnaast de aard van de vergistingsinrichting. Zo wordt bij tweetrapsgisting (waarbij biomassa in een eerste compartiment wordt omgezet in één of meerdere tussenproducten, en waarbij de tussenproducten in een tweede stap worden omgezet in methaan) een mengsel van onder andere butyraat, acetaat, propionaat, ethanol (-OH), CO_2 en H_2 gevormd, terwijl
 25 bij een ééntrapsgisting (waarbij biomassa in één gemeenschappelijk compartiment wordt omgezet in methaan) acetaat, H_2 en CO_2 de belangrijkste producten zijn van de fermentatieve bacteriën. De belangrijkste producten van de fermentatieve (acidogene) bacteriën worden door de acetogene bacteriën omgezet in acetaat, waterstof en koolstofdioxide. Voorbeelden van acetogene reacties in de context van dit octrooischrift
 30 zijn:



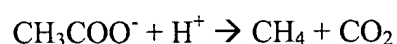


- 5 Bovengenoemde processen hebben allen een negatieve Gibbs-energie en zullen derhalve spontaan verlopen. Echter, de omzetting van bijvoorbeeld ethanol, butyraat en propionaat zal onder standaardcondities niet plaatsvinden bij een hoge partiële druk van waterstof vanwege een positieve Gibbs-energie. Een lage waterstofconcentratie kan dergelijke reacties gunstig beïnvloeden. Het is daarbij gunstig ingeval de partiële druk
- 10 van waterstof niet boven 10^{-4} atmosfeer is gelegen. Gemiddeld zal deze partiële druk doorgaans liggen rond de 10^{-6} atmosfeer. Een lage waterstofspanning wordt gegarandeerd ingeval het gevormde waterstof voldoende snel wordt weggenomen door waterstofconsumerende bacteriën. Derhalve is het doorgaans belangrijk dat zowel de waterstofproducerende bacteriën alsook de
- 15 waterstofconsumerende bacteriën zo goed mogelijk functioneren.

- De methanogenese (IVa; IVb) is de laatste stap in het biogasproductieproces. Deze stap wordt vooral bewerkstelligd door twee groepen bacteriën, namelijk door de hydrogenotrofe en de acetotrofe methanogens. De hydrogenotrofe methanogens zijn
- 20 ingericht voor omzetting van waterstof en koolstofdioxide in methaan (zie pijl IVb) volgens onderstaande reactie:



- 25 Deze hydrogenotrofe methanogens zijn doorgaans verantwoordelijk voor circa 30% van het, in een normaal werkende anaërobe vergistingsinrichting, geproduceerde biogas, waar methaan deel van uitmaakt. De acetotrofe methanogens daarentegen zijn doorgaans verantwoordelijk voor circa 70% van het totaal geproduceerde biogas. Deze laatste methanogens worden tevens veelal aangeduid als de acetaatsplitsende bacteriën,
- 30 doordat ze de carboxylgroep van acetaat afsplitsen onder vorming van koolstofdioxide (CO_2) en methaan (CH_4) (zie pijl IVa) volgens onderstaande reactie:



Echter, zoals reeds eerder vermeld kan methaan tevens op andere wijzen microbiologisch worden gevormd. Het gevormde methaan kan van het gevormde koolstofdioxide worden gescheiden via conventionele methoden.

- 5 Figuur 2 toont een grafische weergave van de acidogenische activiteit van micro-organismen als functie van de zuurgraad. De in figuur 2 weergegeven activiteit betreft de totale activiteit van acidogene micro-organismen. Uit figuur 2 blijkt duidelijk dat de acidogene micro-organismen een optimale activiteit hebben bij een zuurgraad (pH) tussen 5 en 7.

10

Figuur 3a toont een grafische weergave van de methanogenische activiteit van *Methanosarcina Barkeri* en *Methanospirillum Hungatei* als functie van de zuurgraad, en figuur 3b toont een grafische weergave van de methanogenische activiteit van *Methanothrix Soehngenii* en *Methanosarcina Mazei* als functie van de zuurgraad.

- 15 Duidelijk zichtbaar is dat de biologische activiteit van deze methanogene micro-organismen substantieel afneemt bij een zuurgraad hoger dan 7,5. Verwacht wordt tevens dat de activiteit tevens afneemt bij een zuurgraad lager dan 6,5, waardoor deze methanogene micro-organismen optimaal actief zullen zijn bij een zuurgraad gelegen tussen 6,5 en 7,5.

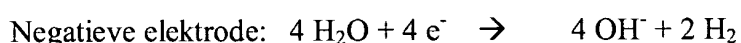
20

Figuur 4 toont een schematische weergave van het omzetten van biomassa in methaan volgens de werkwijze overeenkomstig de uitvinding. Het in figuur 4 getoonde vergistingsproces is identiek aan het in figuur 1 getoonde vergistingsproces, met het verschil dat aan de biomassa een base (OH^-) wordt toegevoegd om de hydrolyse, en de acidogenese, en eventueel de acetogenese te kunnen optimaliseren. Functie van de base is om de zuurgraad voldoende hoog (tussen 5 en 7) te houden, teneinde de biologische activiteit van de micro-organismen te kunnen optimaliseren. Vóór en tijdens de methanogenese wordt een zuur (H^+) toegevoegd in een relatief complex reactiemechanisme dat leidt tot de vorming van methaan.

30

Figuur 5 toont een schematische weergave van een eerste voorkeursuitvoering van een inrichting 1 overeenkomstig de uitvinding. De inrichting 1 omvat een eerste compartiment 2 en een onder tussenkomst van een middels een afsluiter 3 afsluitbare tussenleiding 4 met het eerste compartiment 2 verbonden tweede compartiment 5. Het

eerste compartiment 2 is ingericht voor het laten plaatsvinden van de hydrolyse, acidogenese, en eventueel (een deel van) de acetogenese voor de vorming van de tussenproducten koolstofdioxide, waterstof, en acetaat. Het tweede compartiment 5 is voornamelijk ingericht voor het laten plaatsvinden van de methanogenese, waarbij de gevormde tussenproducten worden omgezet in (onder andere) methaan, koolstofdioxide, en water. Het eerste compartiment 2 is voorzien van een eerste inlaat 6 voor biomassa, een tweede inlaat 7 voor water voor het bevochtigen van de biomassa, en een derde inlaat 8 voor base om aanzienlijke verzuring van de biomassa te kunnen tegengaan. Het eerste compartiment 2 is tevens voorzien van een uitlaat 9 voor eventueel in het eerste compartiment 2 gevormd biogas. Het tweede compartiment 5 is voorzien van een inlaat 10 voor zuur, een eerste middels een afsluiter 11 afsluitbare uitlaat 12 voor digestaat, en een tweede uitlaat 13 voor gevormd biogas. De base en het zuur worden gevormd met behulp van een elektrolytische cel 14 die in figuur 5 schematisch is weergegeven. De elektrolytische cel 14 omvat een stroombron 15, welke stroombron 15 is voorzien van een positieve elektrode 16 en een negatieve elektrode 17. Beide elektrodes 16, 17 zijn aangebracht in een waterige vloeistof 18. In de vloeistof 18 is tevens een geleidende scheidingswand 19 (schematisch weergegeven), zoals bijvoorbeeld een membraan, aangebracht die het anodische en kathodische compartiment onderling in hoofdzaak scheidt. Door toedoen van de stroombron 15 zal het water zich rondom de elektrodes 16, 17 ontleden volgens de volgende reactievergelijkingen:



25

De gevormde base (OH^-) en het zuur (H^+) worden tijdens de reactie in equivalente molaire hoeveelheden gevormd en worden als zodanig toegevoerd aan het eerste compartiment 2 en het tweede compartiment 5, waardoor het totale conversieproces bij voorkeur zuurgraadneutraal blijft. Optioneel kan aan de waterige vloeistof 18 zout worden toegevoegd teneinde de geleidbaarheid van de vloeistof te kunnen verbeteren. Eventueel kan aan de waterige vloeistof (tevens) een buffer worden toegevoegd, teneinde de uiteindelijke zuurgraad van de biomassa en/of het tussenproduct verbeterd te kunnen reguleren. In zowel het eerste compartiment 2 alsook het tweede compartiment 5 zijn roermiddelen en snijmiddelen (niet-weergegeven), zoals

30

- bijvoorbeeld een hakselement, aangebracht voor het in beweging houden en fijn snijden van de biomassa respectievelijk de tussenproducten en het digestaat (compost). Zowel het eerste compartiment 2 als het tweede compartiment 5 zijn voorzien van een zuurgraadmeter 20, 21, en een temperatuurmeter 22, 23. De zuurgraadmeters 20, 21, de temperatuurmeters 22, 23, en de beide afsluiters 3, 11 zijn gekoppeld met een besturingseenheid 24. De besturingseenheid 24 is ingericht voor het verwerken van de in elk compartiment 2, 5 gedetecteerde zuurgraad en temperatuur, en tevens voor het afhankelijk daarvan toevoeren van base respectievelijk zuur via de inlaten 8, 10, alsmede voor het selectief aansturen (openen of sluiten) van de respectievelijke afsluiters 3, 11 en het toevoeren van verse biomassa via de eerste inlaat 6. Optioneel is de inrichting 1 voorzien van (niet-weergegeven) verwarmingsmiddelen voor het kunnen verwarmen van het eerste compartiment 2 en/of het tweede compartiment 5. De verwarmingsmiddelen zijn daarbij bij voorkeur gekoppeld met de besturingseenheid 24, en worden bij nadere voorkeur aangestuurd door de besturingseenheid 24 op basis van de door de temperatuurmeters 22, 23 gedetecteerde temperaturen. Een uitwerking van de aansturing van de inrichting 1 door de besturingseenheid 24 alsmede verdere voordelen van de inrichting 1 zijn reeds in voorgaande beschrijving uitvoerig beschreven.
- Figuur 6 toont een schematische weergave van een tweede voorkeursuitvoering van een inrichting 25 overeenkomstig de uitvinding. De inrichting 25 is constructief gelijkend op de in figuur 1 getoonde inrichting 1, waarbij de vergisting 25 tevens in meerdere in serie geschakelde compartimenten 26, 27 wordt bewerkstelligd, doch waarbij de inrichting 25 is voorzien van een eerste retourleiding 28 voor het terugleiden van een deel van de inhoud van het tweede compartiment 27, voornamelijk gevormd door een mengsel van biomassa, digestaat, tussenproduct, en micro-organismen, naar het eerste compartiment 26. Tevens is de inrichting 25 voorzien van een tweede retourleiding 29 voor het terugleiden van een deel van het reeds uit het tweede compartiment 27 van micro-organismen voorziene digestaat in het tweede compartiment 27. Middels de retourleidingen 28, 29 kan de populatie micro-organismen in de compartimenten 26, 27 relatief snel op een (initieel) niveau worden gebracht, van waaruit relatief snelle groei van micro-organismen kan plaatsvinden, hetgeen de snelheid en efficiency van het vergistingsproces ten goede komt. De retourleidingen 28, 29 zijn bij voorkeur voorzien van een pomp (niet-weergegeven) voor het verplaatsen van de biomassa.

Figuur 7 toont een schematische weergave van een derde voorkeursuitvoering van een inrichting 30 overeenkomstig de uitvinding. De inrichting 30 omvat een vertikaal georiënteerde bioreactor 31 die de facto uit één compartiment bestaat. De in methaan te converteren biomassa wordt via een inlaat 32 in een onderste deel van de bioreactor 31 gebracht en middels een schroef van Archimedes (niet-weergegeven) in opwaartse richting verplaatst. In plaats van het toepassen van een schroef van Archimedes kan de biomassa tevens op andere wijze worden verplaatst in de bioreactor 31, bijvoorbeeld door het uitoefenen van druk op de biomassa. Aan een bovenzijde wordt het digestaat, voornamelijk gevormd door vochtige, uitgeputte biomassa, afgevoerd via een eerste uitlaat 33, en wordt het in de bioreactor 31 gevormde biogas via een tweede (gas)uitlaat 34 afgevangen. De inrichting 30 omvat tevens een elektrolytische cel 35 die zodanig met de bioreactor 31 is verbonden dat base (OH^-) in een onderste deel van de bioreactor 31 wordt geleid en zuur (H^+) in een bovenste deel van de bioreactor 31 wordt geleid. Voordelen voor het plaatsselectief aan de bioreactor 31 toevoegen van base en zuur zijn reeds in het voorgaande beschreven. De inrichting 30 omvat verder verschillende retourleidingen 36 voor het terugleiden van een fractie van de inhoud van de bioreactor 31 naar een lager gelegen deel in de bioreactor 31, teneinde de menging in de bioreactor 31 te kunnen verbeteren en de micro-organismenhuishouding in de bioreactor 31 te kunnen optimaliseren. Daartoe zal elke retourleiding 36 zijn voorzien van een pomp (niet-weergegeven). Teneinde de verticale menging in de bioreactor 31 enigszins te beperken zijn diverse schotten 37 aangebracht in de bioreactor 31.

Figuur 8 toont een schematische weergave van een vierde voorkeursuitvoering van een inrichting 38 overeenkomstig de uitvinding. De inrichting 38 omvat een vertikaal georiënteerde bioreactor 39 die uit één gemeenschappelijk compartiment bestaat. De oriëntatie van de bioreactor 39 is arbitrair, waarbij het bijvoorbeeld tevens denkbaar is dat de bioreactor 39 is opgesteld in een horizontale of diagonale oriëntatie. Een in biogas te converteren biomassa wordt via een inlaat 40 in een onderste deel van de bioreactor 39 gebracht en middels een schroef van Archimedes (niet-weergegeven) in opwaartse richting verplaatst. Aan een bovenzijde wordt het digestaat, voornamelijk gevormd door vochtige, uitgeputte biomassa, afgevoerd via een eerste uitlaat 41, en wordt het in de bioreactor 39 gevormde biogas via een tweede (gas)uitlaat 42 afgevangen. De inrichting 38 omvat tevens een elektrolytische cel 43 die zodanig met

de bioreactor 39 is verbonden dat base (OH^-) in een onderste deel van de bioreactor 39 wordt geleid en zuur (H^+) in een bovenste deel van de bioreactor 39 wordt geleid.

Voordelen voor het plaatsselectief aan de bioreactor 39 toevoegen van base en zuur zijn reeds in het voorgaande beschreven. De inrichting 38 omvat verder meerdere structuren 44 ingericht als hechtoppervlak en groeioppervlak voor micro-organismen. Door de groei van micro-organismen in de bioreactor 39 op de structuren 44 te stimuleren kan de efficiency van het vergistingsproces worden verbeterd.

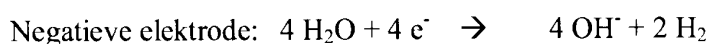
Figuur 9 toont een schematische weergave van een vijfde voorkeursuitvoering van een inrichting 45 overeenkomstig de uitvinding. De inrichting 45 omvat een eerste compartiment 46 en een direct op het eerste compartiment 46 aansluitend tweede compartiment 47. Het eerste compartiment 46 is ingericht voor het laten plaatsvinden van de hydrolyse, acidogenese, en eventueel (een deel van) de acetogenese voor de vorming van de tussenproducten koolstofdioxide, waterstof, en acetaat. Het tweede compartiment 47 is voornamelijk ingericht voor het laten plaatsvinden van de methanogenese en eventueel (een deel van) de acetogenese, waarbij de gevormde tussenproducten worden omgezet in methaan, koolstofdioxide, en water. Het eerste compartiment 46 is voorzien van een eerste inlaat 48 voor biomassa en een tweede inlaat 49 voor water voor het bevochtigen van de biomassa, en een uitlaat 50 voor eventueel in het eerste compartiment 46 gevormd biogas. Het tweede compartiment 47 is voorzien van een middels een afsluiter 51 afsluitbare eerste uitlaat 52 voor digestaat, en een tweede uitlaat 53 voor gevormd biogas. Teneinde het vergistingsproces te kunnen optimaliseren is het bijzonder voordelig om plaatsselectief base en zuur toe te voegen overeenkomstig de uitvinding. De base en het zuur in dit uitvoeringsvoorbeeld gegenereerd in het eerste compartiment 46 respectievelijk het tweede compartiment 47. Daartoe omvat de inrichting 45 een in het eerste compartiment 46 aangebrachte negatieve elektrode 54 en een in het tweede compartiment 47 aangebrachte positieve elektrode 55, welke elektrodes 54, 55 zijn verbonden met een stroombron 56. Door het inbrengen van de elektrodes 54, 55 in de compartimenten 46, 47 vormt ieder compartiment 46, 47 de facto een elektrolytische halfcel voor het genereren van base respectievelijk zuur uit het via de tweede inlaat 49 toegevoerde water en het via de eerste inlaat 48 toegevoerde reeds in de biomassa aanwezige water.

Figuur 10 toont een schematische weergave van een zesde voorkeursuitvoering van een inrichting 57 overeenkomstig de uitvinding. De inrichting 57 omvat een eerste compartiment 58 en een direct op het eerste compartiment 58 aansluitend tweede compartiment 59. Het eerste compartiment 58 is ingericht voor het laten plaatsvinden van de hydrolyse, acidogenese, en eventueel (een deel van) de acetogenese voor de vorming van de tussenproducten koolstofdioxide, waterstof, acetaat, en/of eventuele alternatieve tussenproducten. Het tweede compartiment 59 is voornamelijk ingericht voor het laten plaatsvinden van de methanogenese en eventueel (een deel van) de acetogenese, waarbij de gevormde tussenproducten worden omgezet in althans methaan, koolstofdioxide, en water. Het eerste compartiment 58 is voorzien van een eerste inlaat 60 voor biomassa en een tweede inlaat 61 voor water voor het bevochtigen van de biomassa, alsmede een uitlaat 62 voor eventueel in het eerste compartiment 58 gevormd biogas. Het eerste compartiment 58 is voorzien van snijmiddelen voor het kunnen fijnsnijden en eventueel in beweging kunnen houden van de biomassa in het eerste compartiment 58. Het tweede compartiment 59 omvat een uitlaat 63 voor digestaat alsmede een uitlaat 64 voor biogas. Zoals getoond in deze figuur omvat de inrichting 57 een eerste elektrolytische halfcel 65 die op afstand van de compartimenten 58, 59 is gepositioneerd, en een tweede elektrolytische halfcel 66 die geïntegreerd is opgenomen in het eerste compartiment 58. De eerste halfcel 65 is voorzien van een waterige oplossing 67 waarin een anode 68 is aangebracht, waardoor zich zuurstof (O_2) alsmede zuur (H^+) zullen vormen in de eerste halfcel 65. Het zuur zal vervolgens naar het tweede compartiment 59 worden geleid, onderwijl het gevormde zuurstof, dat nadelig is voor de microbiologische omzetting van biomassa in methaan, eventueel wordt opgevangen en wordt afgevoerd. De tweede halfcel 66 is voorzien van een kathode 69 die geïntegreerd is opgenomen in het eerste compartiment 58, waardoor zich waterstof (H_2) en base (OH^-) zal vormen in het eerste compartiment. Het toevoegen van base aan het eerste compartiment 58 is voordelig zoals in het voorgaande uitvoerig is beschreven. Het toevoegen van waterstof is eveneens bevorderlijk voor het efficiënt kunnen omzetten van biomassa in methaan, temeer dat waterstof één van de uitgangsubstanten vormt om methaan te kunnen vormen. In de compartimenten 58, 59 is tevens een geleidende zoutbrug (niet-weergegeven) aangebracht om de halfcellen 65, 66 elektrisch met elkaar te verbinden.

Figuur 11 toont een schematische weergave van een zevende voorkeursuitvoering van een inrichting 70 overeenkomstig de uitvinding. De inrichting 70 omvat een eerste compartiment 71 en een onder tussenkomst van een middels een afsluiter 72 afsluitbare tussenleiding 73 met het eerste compartiment 71 verbonden tweede compartiment 74.

- 5 Het eerste compartiment 71 is ingericht voor het laten plaatsvinden van de hydrolyse, acidogenese, en eventueel (een deel van) de acetogenese voor de vorming van de tussenproducten zoals bijvoorbeeld koolstofdioxide, waterstof, en acetaat. Het tweede compartiment 74 is voornamelijk ingericht voor het laten plaatsvinden van de methanogenese, waarbij de gevormde tussenproducten worden omgezet in (onder
- 10 andere) methaan, koolstofdioxide, en water. Het eerste compartiment 71 is voorzien van een door een afsluiter 75 afsluitbare eerste inlaat 76 voor biomassa, een tweede inlaat 77 voor water voor het bevochtigen van de biomassa, en een derde inlaat 78 voor base om aanzienlijke verzuring van de biomassa te kunnen tegengaan. Het eerste compartiment 71 is tevens voorzien van een uitlaat 79 voor eventueel in het eerste compartiment 71
- 15 gevormd biogas. Het tweede compartiment 74 is voorzien van een inlaat 80 voor zuur, een eerste middels een afsluiter 81 afsluitbare uitlaat 82 voor digestaat, en een tweede uitlaat 83 voor gevormd biogas. De base en het zuur worden gevormd met behulp van een elektrolytische cel 84 die schematisch is weergegeven. De elektrolytische cel 84 omvat een stroombron 85, welke stroombron 85 is voorzien van een positieve elektrode
- 20 86 en een negatieve elektrode 87. Beide elektrodes 86, 87 zijn aangebracht in een waterige vloeistof 88. In de vloeistof 88 is tevens een geleidende scheidingswand 89, zoals bijvoorbeeld een membraan, aangebracht. Door toedoen van de stroombron 85 zal het water zich rondom de elektrodes 86, 87 ontleden volgens de volgende reactievergelijkingen:

25



30

De gevormde base (OH^-) en het zuur (H^+) worden tijdens de reactie in equivalente molaire hoeveelheden gevormd en worden als zodanig toegevoerd aan het eerste compartiment 71 en het tweede compartiment 74, waardoor het totale conversieproces zuurgraadneutraal blijft. In zowel het eerste compartiment 71 alsook het tweede compartiment 74 zijn roermiddelen en snijmiddelen (niet-weergegeven), zoals bijvoorbeeld een hakselement, aangebracht voor het in beweging houden en fijn

snijden van de biomassa respectievelijk de tussenproducten en het digestaat (compost). Zowel het eerste compartiment 71 als het tweede compartiment 74 zijn voorzien van een zuurgraadmeter 90, 91, een temperatuurmeter 92, 93, alsmede verwarmingsmiddelen 94, 95. De zuurgraadmeters 90, 91, de temperatuurmeters 92, 93, de verwarmingsmiddelen 94, 95, de afsluiters 72, 75, 81 en eventueel de roersnelheden van eventueel toegepaste roerelementen (niet-weergegeven) zijn gekoppeld met een besturingseenheid 96. De besturingseenheid 96 is ingericht voor het verwerken van de in elk compartiment 71, 74 gedetecteerde zuurgraad en temperatuur, de toegevoerde hoeveelheid warmte, en de toegevoerde hoeveelheid base respectievelijk zuur, en tevens voor het afhankelijk daarvan selectief aansturen (openen of sluiten) van de respectievelijke afsluiters 72, 81 en het toevoeren van verse biomassa via de eerste inlaat 75. In dit uitvoeringsvoorbeeld is de elektrolytische cel 84 tevens voorzien van een stroommeter 97 en een spanningsmeter 98, die beiden tevens zijn gekoppeld met de besturingseenheid 96, teneinde de activiteit van de elektrolytische cel 84 te kunnen monitoren. De besturingseenheid zal doorgaans zijn voorzien van tijdregistrerende middelen om het verloop van procesparameters in de tijd te kunnen observeren, waarop doorgaans de aansturing van de inrichting 70 zal worden aangepast. Optioneel kunnen de eerste inlaat 76, de tussenleiding 73, de inlaten 78, 80, en/of de uitlaten 79, 82, 83 zijn voorzien van een debietmeters en/of massameter, die bij voorkeur tevens zijn gekoppeld met de besturingseenheid 96, teneinde de procesaansturing verdergaand te kunnen optimaliseren.

Het moge duidelijk zijn dat de uitvinding niet beperkt is tot de hier weergegeven en beschreven uitvoeringsvoorbeelden, maar dat binnen het kader van de bijgaande conclusies legio varianten mogelijk zijn, die voor de vakman op dit gebied voor de hand zullen liggen.

Conclusies

1. Werkwijze voor het omzetten van biomassa in methaan, omvattende de stappen:
 - A) het laten vergisten van ten minste een deel van de biomassa tot ten minste
 5 één tussenproduct, in het bijzonder ten minste één tussenproduct gekozen uit de groep: waterstof, koolstofdioxide en acetaat, koolmonoxide, vluchtige vetzuren, formiaat, alcoholen, pyruvaat, methylamine, dimethylamine, methylsulfide, dimethylsulfide, trimethylamine, methylmercaptaan, en onvolledig gereduceerde koolstofverbindingen; en
 - 10 B) het laten vergisten van ten minste een deel van het ten minste ene tussenproduct volgens stap A) tot althans methaan,
 waarbij de werkwijze tevens de volgende stappen omvat:
 - C) het tijdens stap A) toevoegen van ten minste één base aan de biomassa, en
 - D) het tijdens stap B) toevoegen van ten minste één zuur aan het tussenproduct.
- 15
2. Werkwijze volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat de molaire hoeveelheden van de tijdens stap C) toegevoerde base en het tijdens stap D) toegevoerde zuur in hoofdzaak identiek zijn.
- 20
3. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, met het kenmerk, dat de werkwijze tevens de volgende stap omvat:
 - E) het vóór het toedienen van de base volgens stap C) en het toedienen van het zuur volgens stap D) het genereren van de base en het zuur.
- 25
4. Werkwijze volgens conclusie 3, met het kenmerk, dat het genereren van de base volgens stap E) geschiedt in de biomassa.
5. Werkwijze volgens conclusie 3 of 4, met het kenmerk dat het genereren van het zuur volgens stap E) geschiedt in het tussenproduct.
- 30
6. Werkwijze volgens conclusie 3, met het kenmerk, dat het genereren van de base en het zuur volgens stap E) geschiedt op afstand van de biomassa en het tussenproduct.

7. Werkwijze volgens een der conclusie 3-6, met het kenmerk, dat het genereren van de base en het zuur volgens stap E) geschiedt met behulp van ten minste één elektrochemische cel.
- 5 8. Werkwijze volgens conclusie 8, met het kenmerk, dat het genereren van de base en het zuur volgens stap E) geschiedt middels elektrolyse van water onder vorming van H^+ ionen en OH^- ionen.
9. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, met het kenmerk, dat de pH
10 tijdens stap A) is gelegen tussen 5 en 7.
10. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, met het kenmerk, dat de werkwijze tevens de volgende stap omvat:
F) het tijdens stap A) detecteren van de pH van de biomassa.
- 15 11. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, met het kenmerk, dat de hoeveelheid volgens stap C) toe te dienen base althans wordt bepaald op basis van de tijdens stap F) gedetecteerde pH.
- 20 12. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, met het kenmerk, dat de pH tijdens stap B) is gelegen tussen 6,5 en 7,5.
13. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, met het kenmerk, dat de werkwijze tevens de volgende stap omvat:
25 G) het tijdens stap B) detecteren van de pH van het tussenproduct.
14. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, met het kenmerk, dat de hoeveelheid volgens stap D) toe te dienen zuur althans wordt bepaald op basis van de tijdens stap G) gedetecteerde pH.
- 30 15. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, met het kenmerk, dat de werkwijze tevens de volgende stappen omvat:
H) het vóór het vergisten van ten minste een deel van de biomassa volgens stap A) leiden van de biomassa in een eerste compartiment, en

- I) het vóór het vergisten van ten minste een deel van het tussenproduct volgens stap B) verplaatsen van ten minste een deel van het tussenproduct van het eerste compartiment naar een tweede compartiment.
- 5 16. Werkwijze volgens conclusie 15, met het kenmerk, dat tijdens stap I) maximaal 95%, en bij voorkeur tussen 30% en 80% van het in het eerste compartiment aanwezige tussenproduct wordt verplaatst naar het tweede compartiment.
- 10 17. Werkwijze volgens conclusie 10 en conclusie 16, met het kenmerk, dat ten minste een deel van het tussenproduct wordt verplaatst van het eerste compartiment naar het tweede compartiment overeenkomstig stap I) na het detecteren van een afwijkend pH-verloop tijdens stap F).
- 15 18. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, met het kenmerk, dat de temperatuur tijdens stap A) en stap B) is gelegen tussen 20°C en 80°C, bij nadere voorkeur tussen 30°C en 50°C.
- 20 19. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, met het kenmerk, dat de temperatuur van de biomassa tijdens stap A) en het tussenproduct tijdens stap B) wordt gedetecteerd.
- 25 20. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, met het kenmerk, dat de biomassa tijdens stap A) en/of het tussenproduct tijdens stap B) actief worden verwarmd.
21. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, met het kenmerk, dat het aantal micro-organismen benodigd voor de vergisting volgens stap A) respectievelijk stap B) is gelegen tussen 10^7 en 10^{12} per gram biomassa respectievelijk tussenproduct.
- 30 22. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, met het kenmerk, dat de massa van de micro-organismen benodigd voor de vergisting volgens stap A) respectievelijk stap B) maximaal 15 massaprocent bedraagt.

23. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, met het kenmerk, dat de biomassa tijdens stap A) respectievelijk het tussenproduct tijdens B) in beweging worden gehouden.
- 5 24. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, met het kenmerk, dat de werkwijze tevens de volgende stap omvat:
J) het tijdens of na het vormen van methaan volgens stap B) scheiden van het methaan van een restfractie.
- 10 25. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, met het kenmerk, dat de biomassa tijdens stap A) wordt onderworpen aan een hydrolyse gevolgd door een acidogenese of een anaërobe oxidatie.
26. Werkwijze volgens conclusie 25, met het kenmerk, dat de acidogenese of de
15 anaërobe oxidatie wordt gevolgd door een acetogenese.
27. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, met het kenmerk, dat het tussenproduct tijdens stap B) wordt onderworpen aan een methanogenese.
- 20 28. Inrichting voor het omzetten van biomassa in methaan, in het bijzonder door toepassing van de werkwijze volgens een der conclusies 1-27, omvattende:
- ten minste één eerste compartiment voor opname van in ten minste één tussenproduct om te zetten biomassa,
 - ten minste één met het eerste compartiment verbonden base afgeevende bron,

25 - ten minste één tweede compartiment voor opname van het ten minste ene, in methaan om te zetten tussenproduct, en

 - ten minste één met het tweede compartiment verbonden zuur afgeevende bron.
29. Inrichting volgens conclusie 28, met het kenmerk, dat de base afgeevende bron en
30 de zuur afgeevende bron onderling in verbinding staan.
30. Inrichting volgens conclusie 29, met het kenmerk, dat de base afgeevende bron en de zuur afgeevende bron deel uitmaken van ten minste één elektrochemische cel.

31. Inrichting volgens conclusie 30, met het kenmerk, dat de elektrochemische cel wordt gevormd door een elektrolysecel.
32. Inrichting volgens conclusie 31, met het kenmerk, dat de elektrolysecel is
5 voorzien van water.
33. Inrichting volgens een der conclusies 30-32, met het kenmerk, dat de elektrochemische cel twee onderling gekoppelde elektrochemische halfcellen omvat.
- 10 34. Inrichting volgens conclusie 33, met het kenmerk, dat een basegenererende halfcel geïntegreerd is opgenomen in het eerste compartiment.
35. Inrichting volgens conclusie 33 of 34, met het kenmerk, dat een zuurgenererende halfcel geïntegreerd is opgenomen in het tweede compartiment.
15
36. Inrichting volgens een der conclusies, 28-35, met het kenmerk, dat het eerste compartiment en het tweede compartiment onderling zijn geïntegreerd.
37. Inrichting volgens een der conclusies 28-35, met het kenmerk, dat het eerste
20 compartiment en het tweede compartiment onderling in serie zijn gekoppeld.
38. Inrichting volgens conclusie 37, met het kenmerk, dat tussen het eerste compartiment en het tweede compartiment een afsluiter is aangebracht.
- 25 39. Inrichting volgens een der conclusies 28-38, met het kenmerk, dat het eerste compartiment is voorzien van ten minste één eerste zuurgraadmeter voor het detecteren van de pH in het eerste compartiment.
- 30 40. Inrichting volgens conclusie 39, met het kenmerk, dat de inrichting is voorzien van een besturingseenheid voor het althans op basis van de door de eerste zuurgraadmeter gedetecteerde pH en/of de hoeveelheid toegediende base bepalen van de hoeveelheid gevormd tussenproduct.

41. Inrichting volgens conclusie 40, met het kenmerk, dat de besturingseenheid is ingericht voor het op basis van de door de eerste zuurgraadmeter gedetecteerd pH bepalen van de hoeveelheid aan het eerste compartiment toe te dienen base.
- 5 42. Inrichting volgens conclusies 38 en 40 of 41, met het kenmerk, dat de besturingseenheid is ingericht voor aansturing van de afsluiter althans afhankelijk van de door de eerste zuurgraadmeter gedetecteerde pH en/of afhankelijk de hoeveelheid toegediende base.
- 10 43. Inrichting volgens een der conclusies 28-42, met het kenmerk, dat het tweede compartiment is voorzien van ten minste één tweede zuurgraadmeter.
44. Inrichting volgens conclusie 43, met het kenmerk, dat de besturingseenheid is ingericht voor het op basis van de door de tweede zuurgraadmeter gedetecteerd pH bepalen van de hoeveelheid aan het tweede compartiment toe te dienen zuur.
- 15 45. Inrichting volgens een der conclusies 40-42, en conclusie 43 of 44, met het kenmerk, dat de besturingseenheid is ingericht voor het op basis van de door de tweede zuurgraadmeter gedetecteerde pH en/of de hoeveelheid toegediend zuur bepalen van de hoeveelheid gevormd methaan.
- 20 46. Inrichting volgens een der conclusies 28-45, met het kenmerk, dat het eerste compartiment en/of het tweede compartiment is voorzien van verwarmingsmiddelen voor het kunnen verwarmen van de biomassa respectievelijk het tussenproduct.
- 25 47. Inrichting volgens conclusie een der conclusies 28-46, met het kenmerk, dat het eerste compartiment en/of het tweede compartiment is voorzien van ten minste één thermometer.
- 30 48. Inrichting volgens conclusies 40, 46 en 47, met het kenmerk, dat de besturingseenheid is ingericht voor het aansturen van de verwarmingsmiddelen afhankelijk van de door de thermometer gedetecteerde temperatuur.

49. Inrichting volgens een der conclusies 28-48, met het kenmerk, dat het eerste compartiment en/of het tweede compartiment zijn voorzien van transportmiddelen voor het in beweging kunnen houden van de biomassa respectievelijk het tussenproduct.

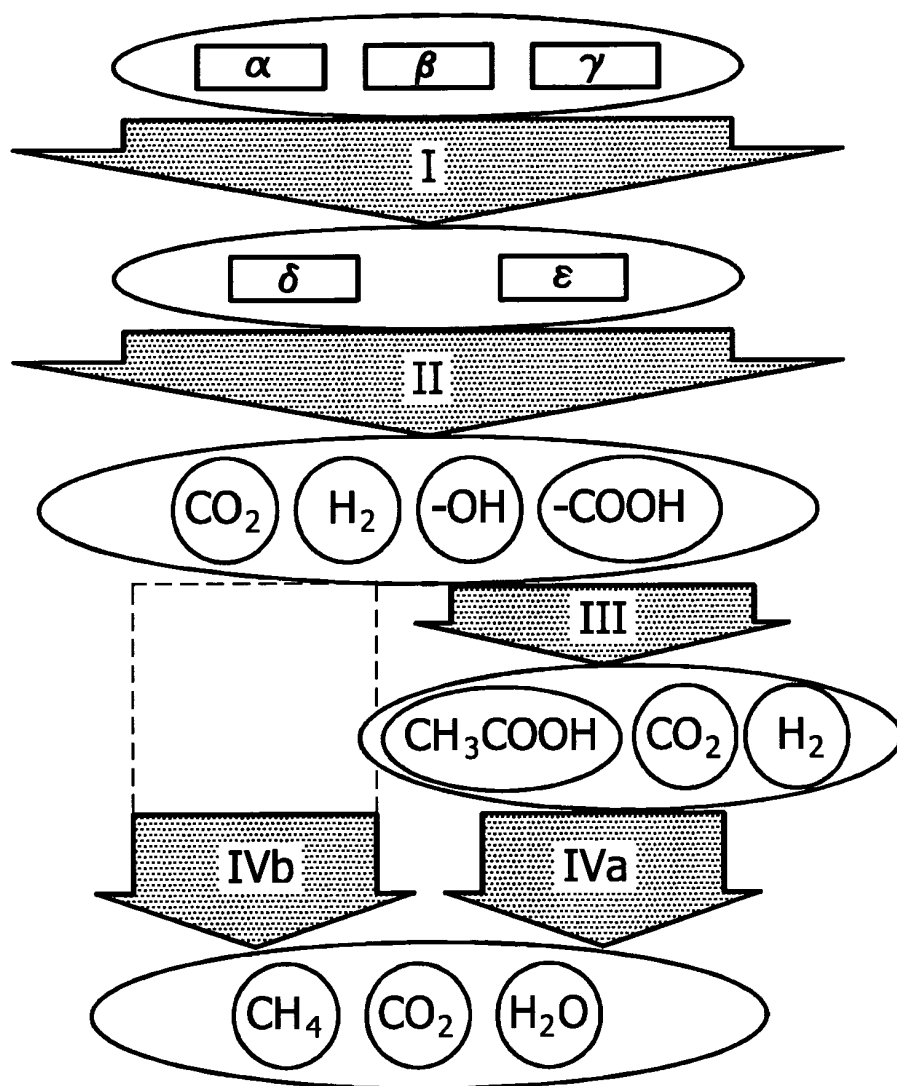


FIG. 1

2/10

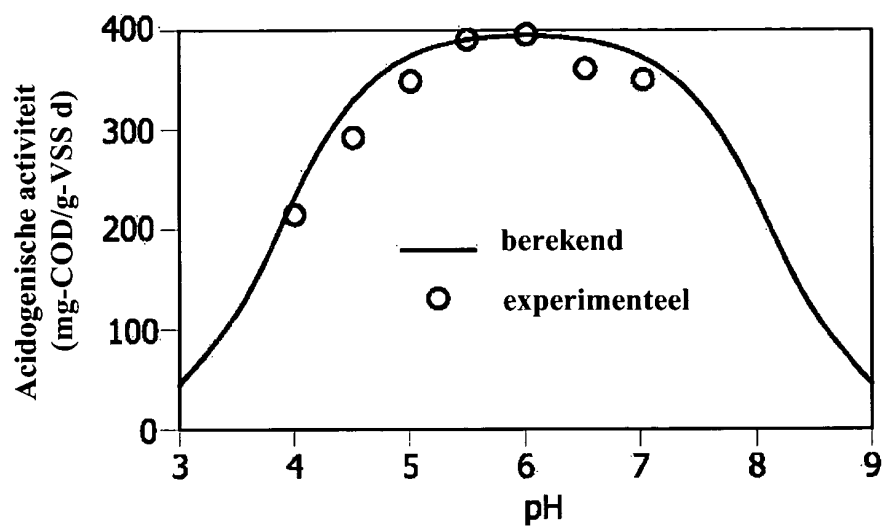


FIG. 2

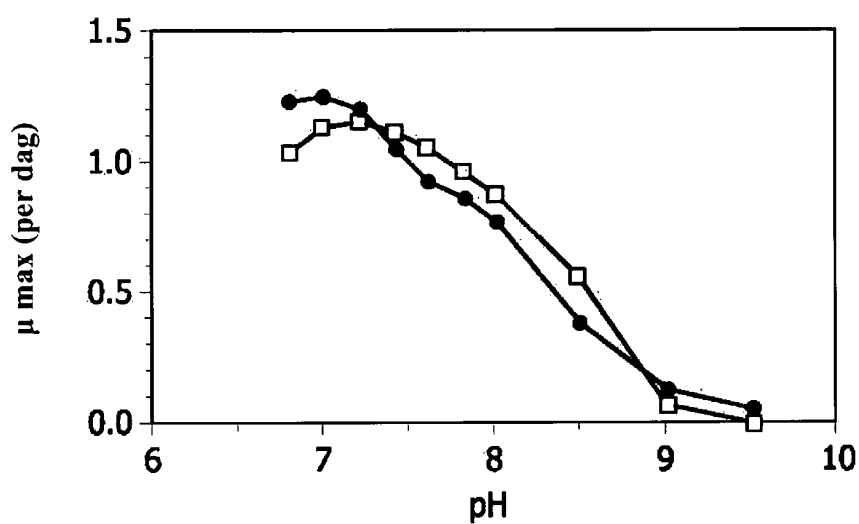


FIG. 3a

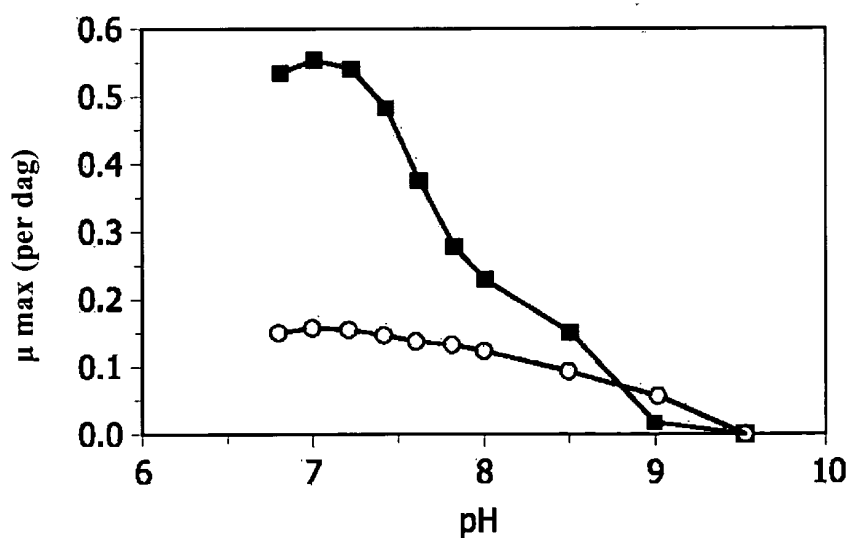


FIG. 3b

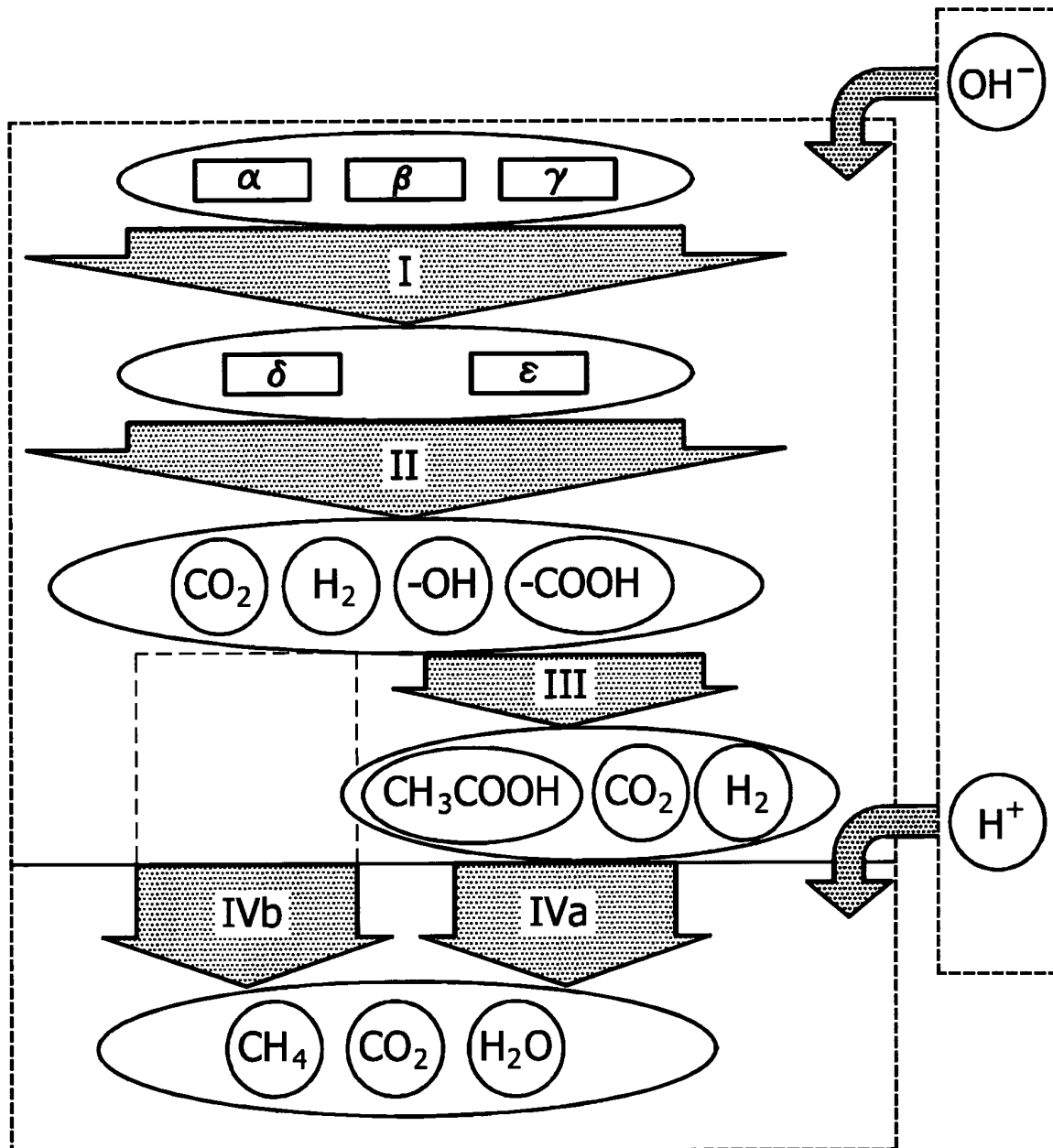


FIG. 4

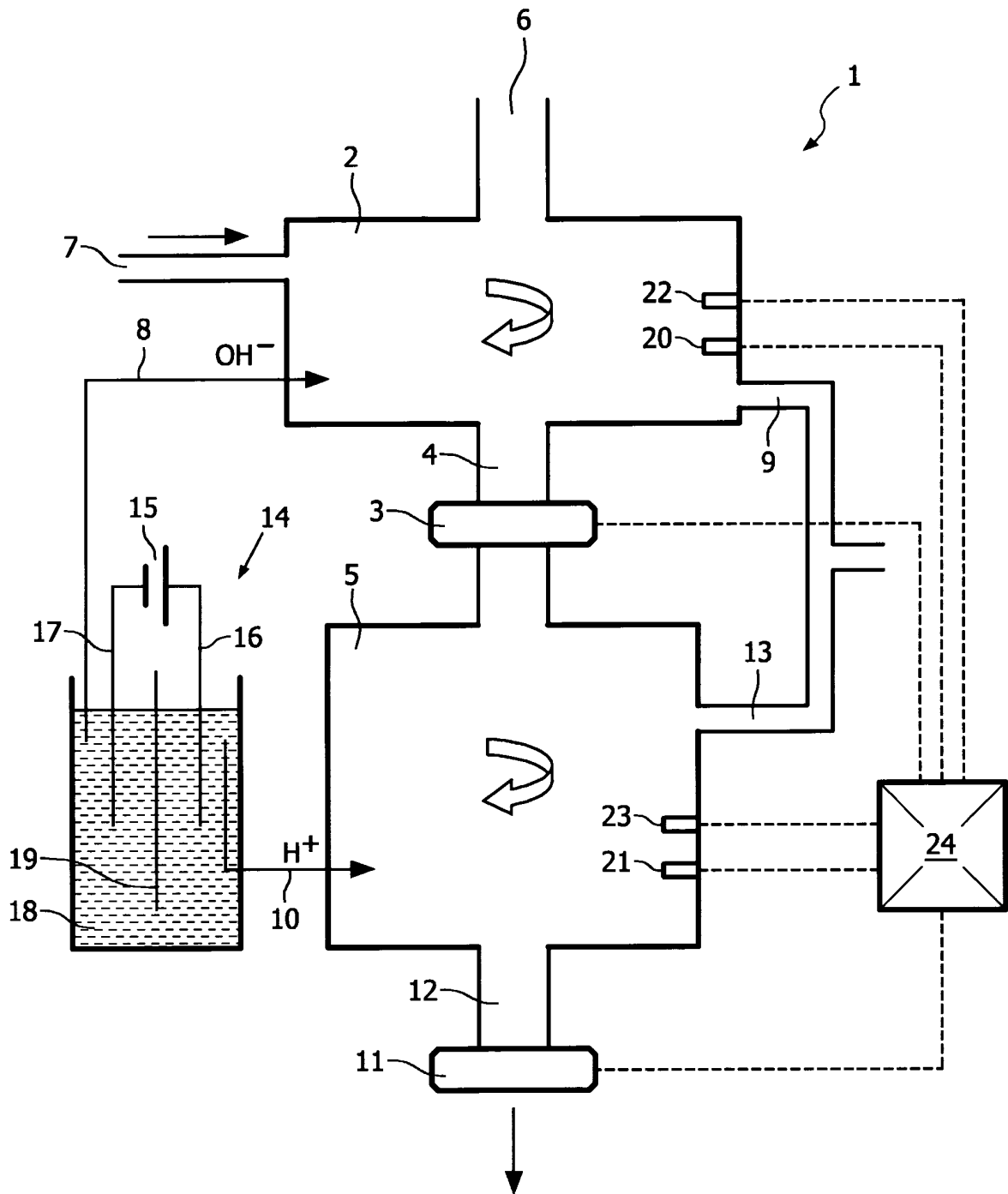


FIG. 5

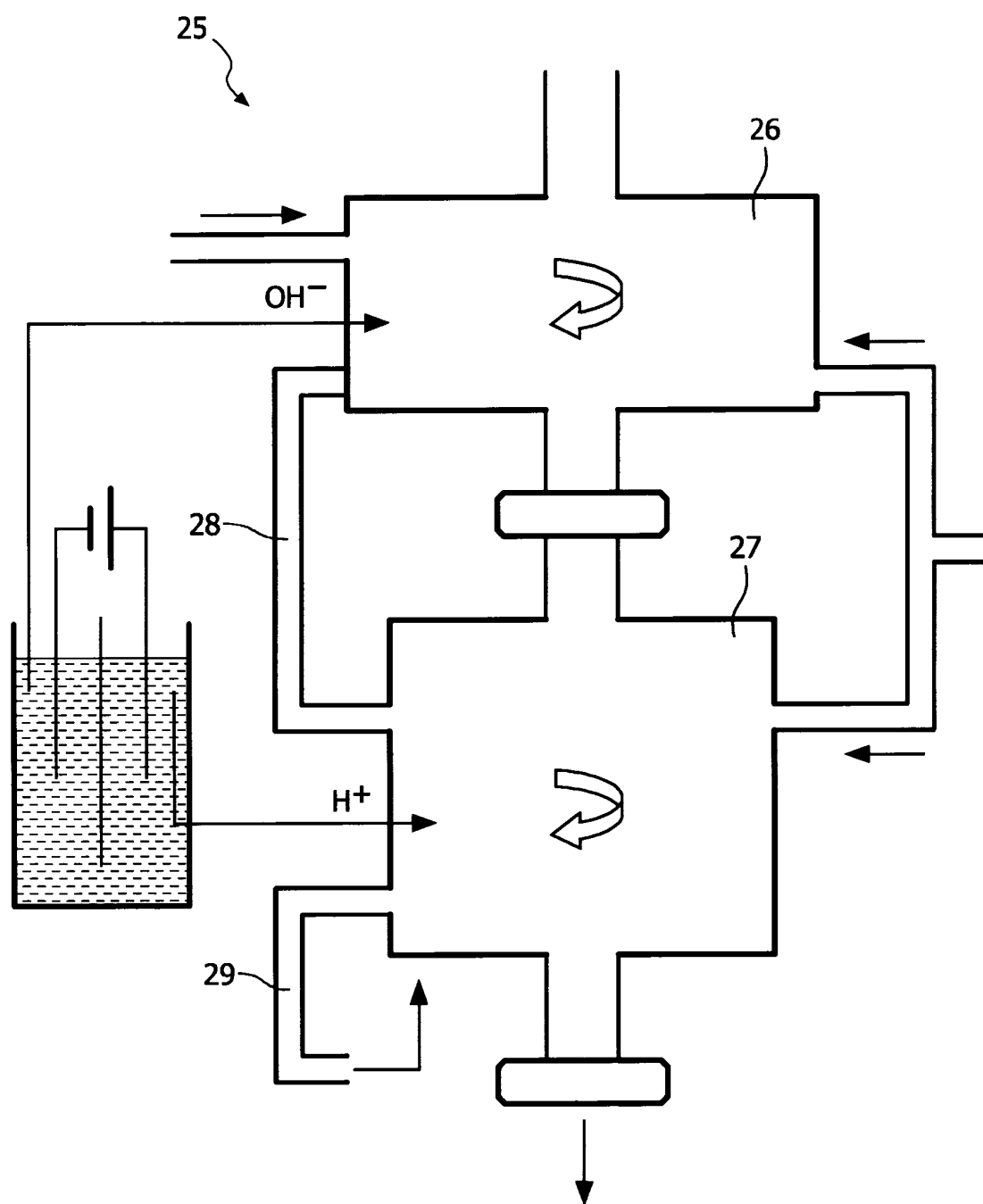


FIG. 6

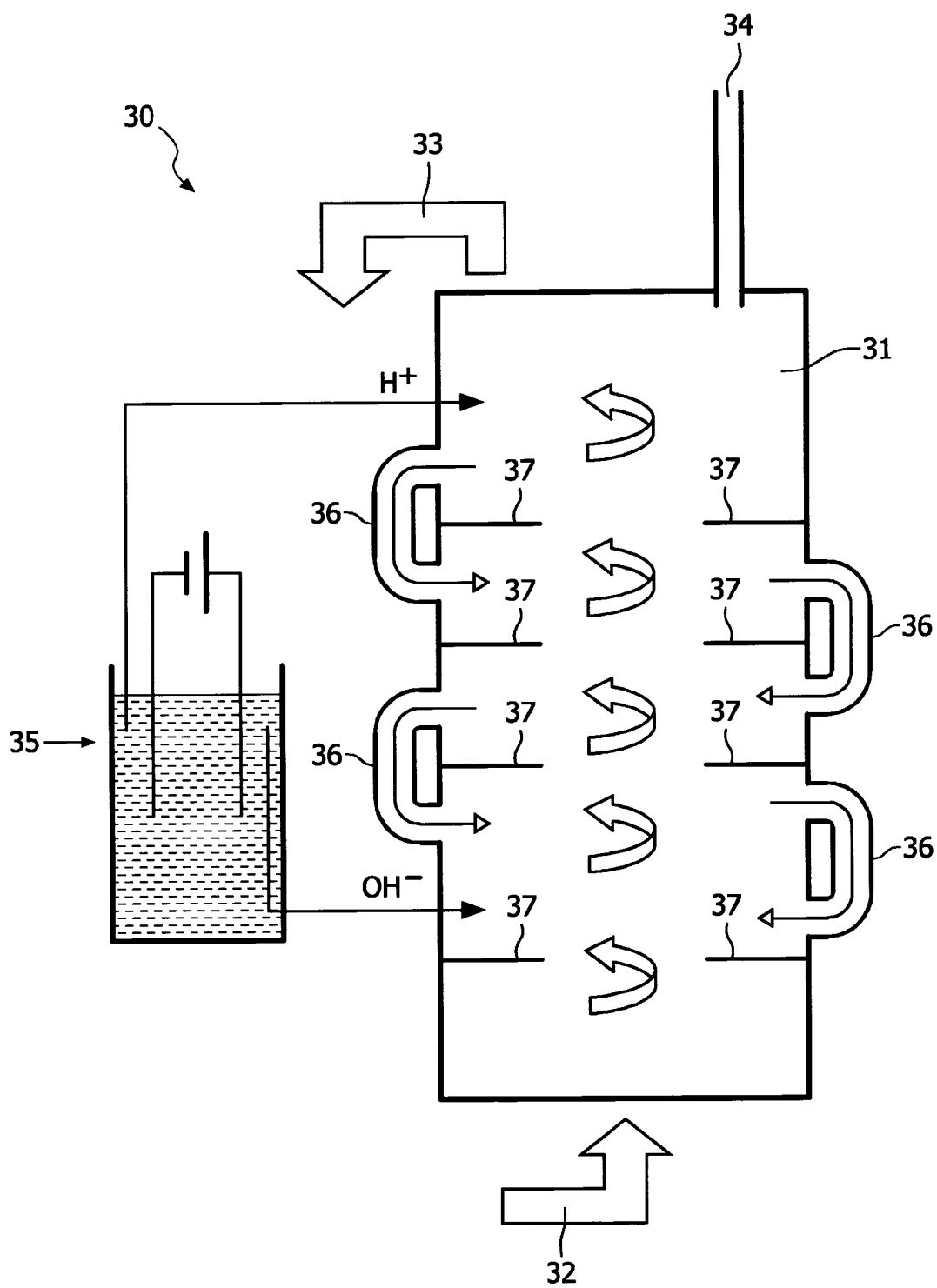


FIG. 7

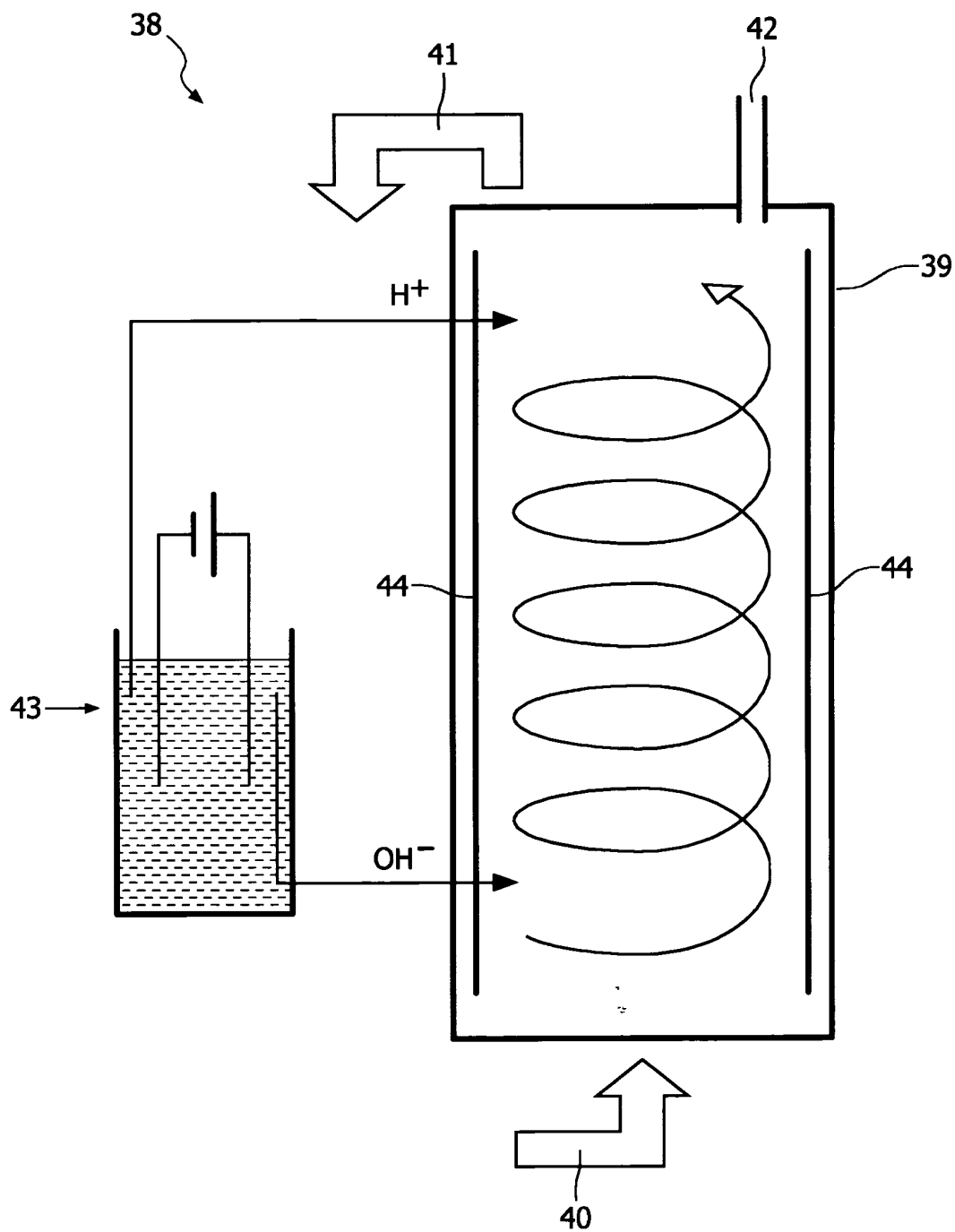


FIG. 8

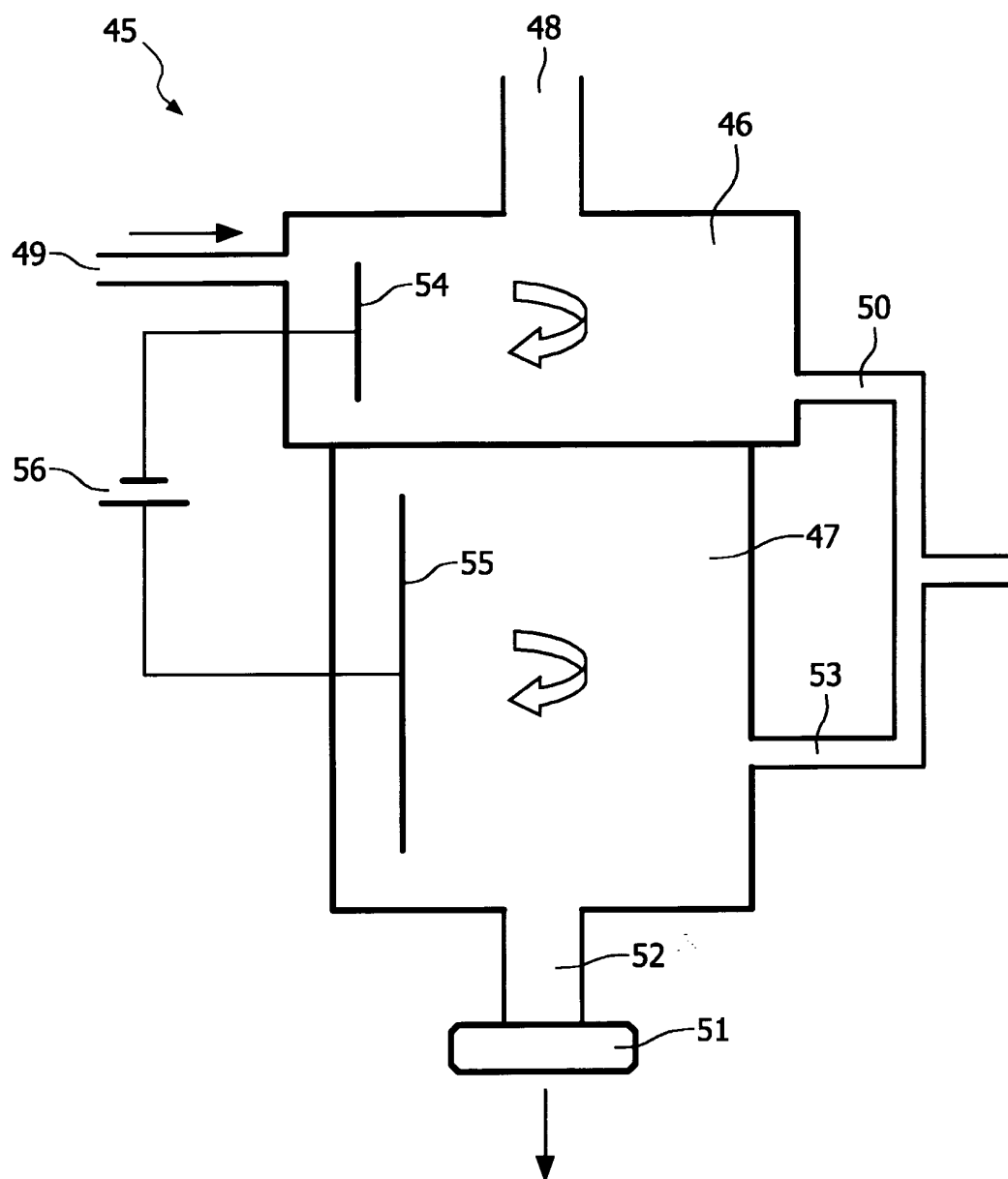


FIG. 9

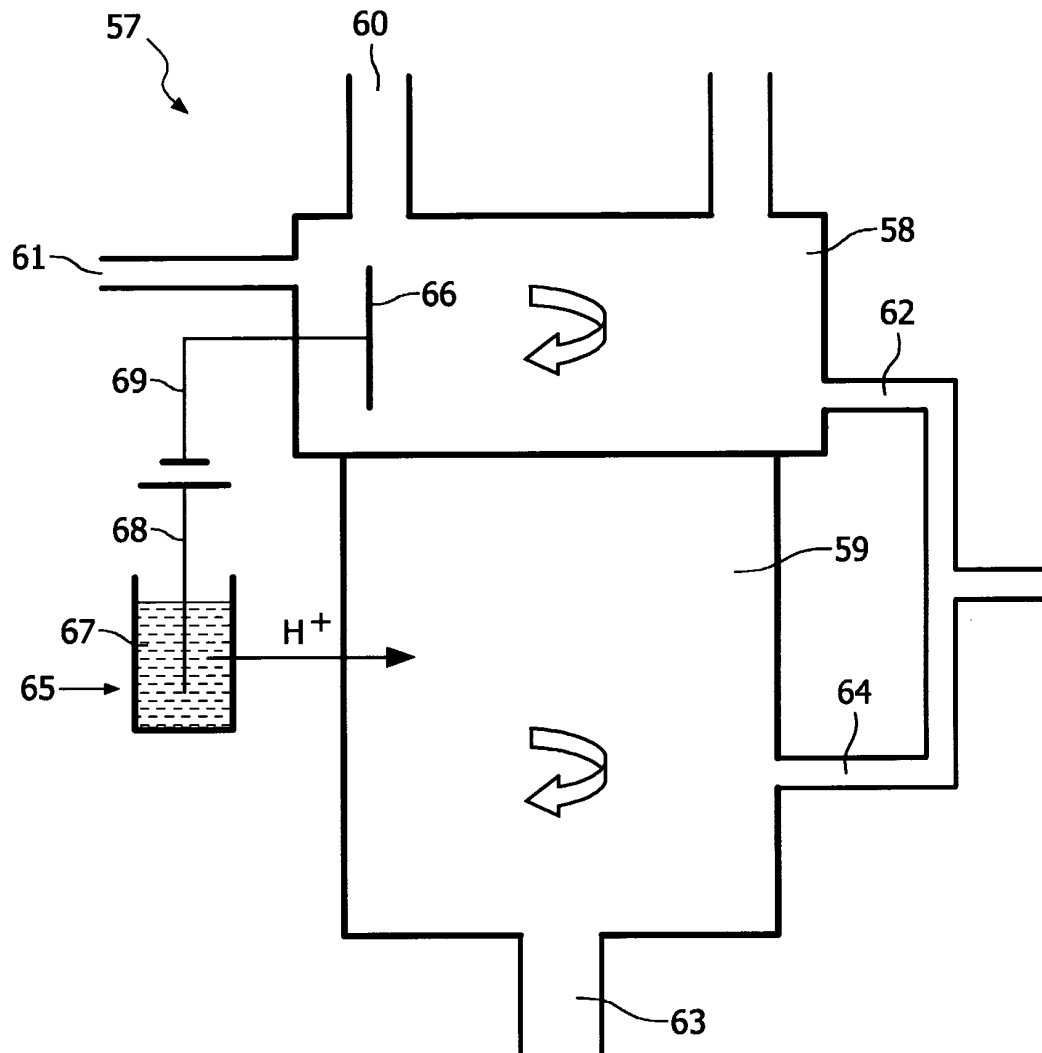


FIG. 10

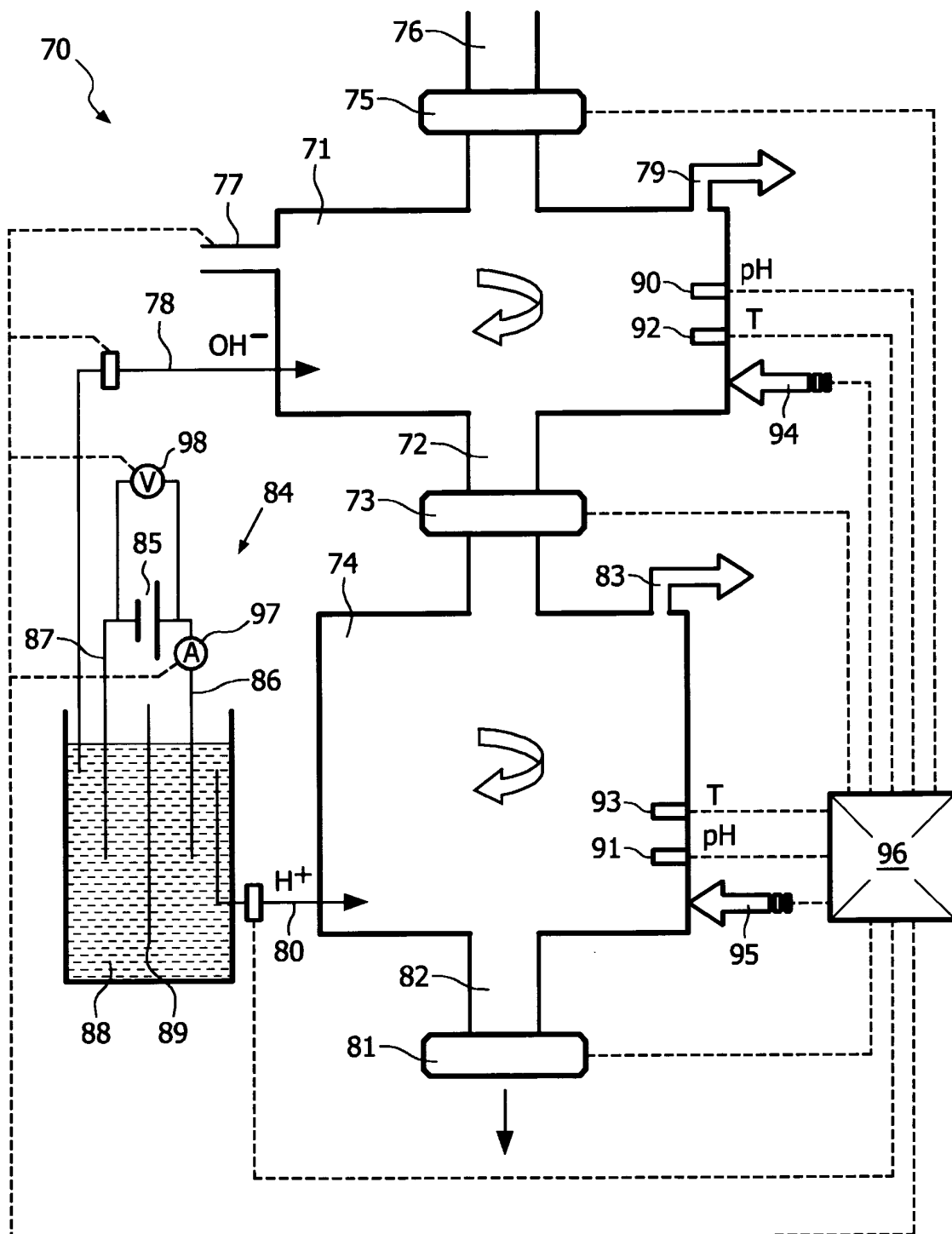


FIG. 11

SAMENWERKINGSVERDRAG (PCT)

RAPPORT BETREFFENDE NIEUWHEIDSONDERZOEK VAN INTERNATIONAAL TYPE

IDENTIFICATIE VAN DE NATIONALE AANVRAGE		KENMERK VAN DE AANVRAGER OF VAN DE GEMACHTIGDE	
		1.579.001 NL	
Nederlands aanvraag nr. 2001067		Indieningsdatum 07-12-2007	
		Ingeroepen voorrangsdatum	
Aanvrager (Naam) SPARK ORIGIN B.V.			
Datum van het verzoek voor een onderzoek van internationaal type 28-02-2008		Door de Instantie voor Internationaal Onderzoek aan het verzoek voor een onderzoek van internationaal type toegekend nr. SN 49884	
I. CLASSIFICATIE VAN HET ONDERWERP (bij toepassing van verschillende classificaties, alle classificatiesymbolen opgeven)			
Volgens de internationale classificatie (IPC) C02F11/04			
II. ONDERZOCHE GEBIEDEN VAN DE TECHNIEK			
Onderzochte minimumdocumentatie			
Classificatiesysteem		Classificatiesymbolen	
IPC8		C02F	
Onderzochte andere documentatie dan de minimum documentatie, voor zover dergelijke documenten in de onderzochte gebieden zijn opgenomen			
III.	☐	GEEN ONDERZOEK MOGELIJK VOOR BEPAALDE CONCLUSIES (opmerkingen op aanvullingsblad)	
IV.	☐	GEBREK AAN EENHEID VAN UITVINDING (opmerkingen op aanvullingsblad)	

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

Nummer van het verzoek om een onderzoek naar
de stand van de techniek
NL 2001067

A. CLASSIFICATIE VAN HET ONDERWERP

INV. C02F11/04
ADD. C02F3/28 C02F1/461

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

B. ONDERZOCHE GEBIEDEN VAN DE TECHNIEK

Onderzochte minimum documentatie (classificatie gevolgd door classificatiesymbolen)
C02F

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, COMPENDEX

C. VAN BELANG GEACHTE DOCUMENTEN

Categorie *	Geciteerde documenten, eventueel met aanduiding van speciaal van belang zijnde passages	Van belang voor conclusie nr.
X	US 2005/194311 A1 (ROZICH ALAN F [US]) 8 september 2005 (2005-09-08) figuur 5 alinea [0058] - alinea [0064] alinea [0072] - alinea [0073] -----	1-49
X	US 5 630 942 A (STEINER CHARLES G [US]) 20 mei 1997 (1997-05-20) figuur 1 kolom 5, regel 40 - kolom 7, regel 15 -----	1, 9-28, 36-49



Verdere documenten worden vermeld in het vervolg van vak C.



Leden van dezelfde octrooifamilie 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 octrooifamilie of overeenkomstige octrooipublicatie

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

26 Juni 2008

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

Janssens, Christophe

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

Informatie over leden van dezelfde octrooifamilie

Nummer van het verzoek om een onderzoek naar
de stand van de techniek

NL 2001067

In het rapport genoemd octrooigeschrift	Datum van publicatie	Overeenkomend(e) geschrift(en)	Datum van publicatie
US 2005194311	A1	08-09-2005	GEEN
US 5630942	A	20-05-1997	GEEN



OCTROOICENTRUM NEDERLAND

WRITTEN OPINION

File No. SN49884	Filing date (day/month/year) 07.12.2007	Priority date (day/month/year)	Application No. NL2001067
International Patent Classification (IPC) INV. C02F11/04 ADD. C02F3/28 C02F1/461			
Applicant Spark Origin B.V. te Nijmegen			

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 Janssens, Christophe
--	----------------------------------

WRITTEN OPINION

Application number
NL2001067

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	4,5,12,16,17,21,22,23,34,35,36,37,38
	No: Claims	1-3, 6-11, 13-15, 18-20, 24-33, 39-49
Inventive step	Yes: Claims	none
	No: Claims	1-49
Industrial applicability	Yes: Claims	1-49
	No: Claims	none

2. Citations and explanations

see separate sheet

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 documents:

D1: US 2005/194311 A1 (ROZICH ALAN F [US]) 8 september 2005

D2: US-A-5 630 942 (STEINER CHARLES G [US]) 20 mei 1997

2. The present application does not meet the criteria of patentability, because the subject-matter of claims 1 and 28 is not new.

- 2.1 The document D1 discloses (the references in parentheses applying to this document):

A method for transforming biomass into methane comprising the following steps:

a) acido- and acetogenesis of the raw biomass in a first reactor tank; and

b) methanogenesis of the reaction product of step a in a second reactor tank.

During step a) a base is added to the raw biomass, during step b) an acid is added to the reaction product of step a). (§58-59)

The document D1 discloses further:

An apparatus for transforming biomass (11) into methane (18, 28) according to the method of claim 1, comprising two compartments. The first compartment (12) is suitable for receiving biomass (11) to be converted into an intermediate product (13) and is connected with an alkaline source (33), the second compartment (22) is suitable for receiving the intermediate product (13) from the first compartment (12) and is connected with an acid source (38) (fig. 5).

The subject-matter of claims 1 and 28 is therefore not new in the light of document D1.

- 2.2 The document D2 also discloses a method according to claim 1 and an apparatus according to claim 28 (see col. 5-6, fig. 1).

3. Dependent claims 2-27 and 29-49 do not contain any features which, in combination with

the features of any claim to which they refer, meet the requirements of novelty and/or inventive step. The subject matter of claims 2, 3, 6-8, 15, 18, 24, 26, 27, 29-33 and 37 is explicitly disclosed in D1, the subject matter of claims 9-11, 13-15, 18-20, 24-27, 37 and 39-49 can be found back explicitly in D2 (see documents D1 and D2 and the corresponding passages cited in the search report). The features of the other claims do not appear to contribute in solving the technical problem as defined on page 2 of the description of the application in an unexpected way.