

**VERKENNING VAN DE MOGELIJKHEDEN VOOR EEN
NEDERLANDSE CONTACTGROEP
BIOLOGISCHE H₂ PRODUCTIE
t.b.v. deelname aan de IEA Hydrogen Implementing Agreement,
Annex 15: Photobiological Hydrogen Production**

J.H. Reith

| Revisies | | |
|--------------------------------------|---|--------------|
| A | | |
| B | | |
| Opgesteld door: J.H. Reith | Goedgekeurd/vrijgegeven door: H.J. Veringa | ECN Biomassa |
| Geverifieerd door: R. van Ree | | |

Verantwoording

Deze rapportage beschrijft de uitkomsten van het project “Verkenning van de mogelijkheden voor een *Nederlandse Contactgroep Biologische H₂ Productie* t.b.v. deelname aan de IEA Hydrogen Implementing Agreement, Annex 15: Photobiological Hydrogen Production”. Het project (ECN projectnummer 7.2219) werd uitgevoerd in het kader van het NOVEM programma *Nieuwe Energie Conversie Systemen en Technologieën (NECST)* onder projectnummer 249.101-0015. Een essentiële bijdrage aan dit project werd geleverd door de onderzoekers die deelnemen aan de *Contactgroep* activiteiten. De begeleiding namens Novem was in handen van Dr.ir.A.H.M. Kipperman en Dr. H. Barten.

Abstract

Deze rapportage beschrijft de uitkomsten van een project gericht op het vaststellen van het draagvlak bij Nederlandse onderzoekers voor deelname aan IEA Hydrogen Implementing Agreement Annex 15 ‘Photobiological Hydrogen Production’ via de vorming van een *Nederlandse Contactgroep Biologische H₂ productie*. Per 1 september 2002 namen onderzoekers van 11 Nederlandse R&D instellingen aan dit platform deel. De *Contactgroep* heeft zich (inter)nationaal geprofileerd via de organisatie van een Workshop (2001), actieve deelname aan de uitwisseling in IEA Annex 15, het mede-organiseren van de internationale conferentie *BioHydrogen 2002* en publicaties. Een aantal vervolgprojecten is in uitvoering.

Via de oprichting in 2001 van de *Dutch Biological Hydrogen Foundation* is een solide basis gelegd voor continuïteit. Dit project en de lopende vervolgactiviteiten tonen dat er voldoende belangstelling en draagvlak is bij onderzoekers voor voorzetting van de *Contactgroep*. Het versterken van de uitwisseling en samenwerking met bedrijven is aan te bevelen, naast actieve kennisoverdracht via publicaties en andere activiteiten, georganiseerd door de *Dutch Biological Hydrogen Foundation* en/of de *Contactgroep* i.s.m. Novem en andere partijen.

Het ontwikkelde Internetplatform www.biohydrogen.nl biedt informatie over lopende R&D projecten en de *Contactgroep* activiteiten en kan een belangrijke rol spelen bij de profilering van het Nederlandse onderzoek, het tot stand brengen van nieuwe samenwerkingsverbanden en als publiek platform voor kennisoverdracht.

De vormgeving van nieuwe onderzoeks- en demonstratieprojecten en samenwerkingsverbanden is van groot belang voor de verdere ontwikkeling en realisatie van biologische H₂ productietechnologie, die een substantiële bijdrage kan leveren aan een duurzame energiehuishouding. Daarbij kunnen de mogelijkheden voor het versterken van de uitwisseling en creatieve samenwerking tussen het biologisch H₂ onderzoek en het onderzoek op het gebied van de nauw verwante CH₄ vergisting worden nagegaan. Het is sterk aan te bevelen de mogelijkheden te onderzoeken voor de vormgeving van een nationaal onderzoeks- of prioriteitenprogramma.

INHOUD

| | |
|--|--|
| SAMENVATTING | 6 |
| 1. INLEIDING | 8 |
| 1.1 Achtergrond | 8 |
| 1.2 Doelstelling | 8 |
| 1.3 Werkwijze | 9 |
| 2. RESULTATEN/ACTIVITEITEN | 10 |
| 2.1 Inleiding | 10 |
| 2.2 Achtergrond en potentieel van biologische H ₂ productie | 10 |
| 2.3 Doel van de <i>Contactgroep</i> | 11 |
| 2.4 Deelnemers | 11 |
| 2.5 Bijeenkomsten | 12 |
| 2.6 Internationale kennisuitwisseling en samenwerking: IEA en COST | 13 |
| 2.7 Workshop Biologische H ₂ productie: 4 oktober 2001 | 14 |
| 2.8 Oprichting Stichting 'Dutch Biological Hydrogen Foundation' | 15 |
| 2.9 Internationaal Congres BioHydrogen 2002 | 16 |
| 2.10 Andere activiteiten | 17 |
| 3. FINANCIERING | 18 |
| 4. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN | 19 |
| 4.1 Conclusies | 19 |
| 4.2 Aanbevelingen | 19 |
| REFERENTIES | 21 |
| Bijlage 1 | IEA Hydrogen Implementing Agreement, Annex 15; Photobiological Hydrogen Production. |
| Bijlage 2 | Informatieblad <i>Nederlandse Contactgroep Biologische H₂ productie / Netherlands Biohydrogen Network</i> . |
| Bijlage 3 | Adreslijst deelnemers <i>Nederlandse Contactgroep Biologische H₂ Productie</i> per 1 september 2002. |

SAMENVATTING

In Nederland wordt kwalitatief hoogwaardig onderzoek verricht op het gebied van de biologische H₂ productie en de sterk verwante biologische CH₄ productie. Deelname aan internationale uitwisseling in IEA verband biedt meerwaarde door de mogelijkheid op de hoogte te blijven van actuele ontwikkelingen in het internationaal onderzoek en de technologische 'state-of-the-art', het creëren van uitwisselingsmogelijkheden voor onderzoekers, en de vorming van internationale samenwerkingsverbanden. Nederlandse deelname vereist de vorming van een platform dat de inbreng in IEA kader coördineert. Daarnaast kan zo'n platform bijdragen aan kennisuitwisseling en samenwerking tussen Nederlandse onderzoekers, bedrijven en overheden en zo bijdragen aan versterking van de R&D infrastructuur en de verdere ontwikkeling en realisatie van biologische H₂ productietechnologie, die een substantiële bijdrage kan leveren aan een duurzame energiehuishouding.

De centrale doelstelling van dit project is: het vaststellen van het draagvlak en de mogelijkheden voor deelname aan IEA Hydrogen Implementing Agreement Annex 15 'Photobiological Hydrogen Production' via de vorming van een *Nederlandse Contactgroep Biologische H₂ productie*. Gedurende de looptijd van het project (01-01-2000 t/m 31-12-2001) werd een start gemaakt met de vorming van de *Contactgroep* via 6 bijeenkomsten. Per 1 september 2002 namen onderzoekers van 11 R&D instellingen aan dit platform deel. Via de oprichting van de *Dutch Biological Hydrogen Foundation* in 2001 werd een solide basis gelegd voor continuïteit en (toekomstige) financiering. De *Contactgroep* heeft zich (inter)nationaal geprofileerd via de organisatie van een Workshop (2001), actieve deelname aan de uitwisseling in IEA Annex 15 (gëffectueerd door NOVEM in 2001), het mede-organiseren van de internationale conferentie *BioHydrogen 2002*, en publicaties. Een aantal vervolgprijekten is in uitvoering, waaronder het inrichten van het Internet platform www.biohydrogen.nl, dat informatie biedt over lopende projecten en de activiteiten van de *Contactgroep*.

Dit project en de vervolgprijecten tonen dat er voldoende belangstelling en draagvlak is bij onderzoekers voor voortgezette deelname aan de *Nederlandse Contactgroep Biologische H₂ productie*. Het versterken van de uitwisseling en samenwerking met bedrijven is aan te bevelen, ter verbreding van de beschikbare kennis en expertise. Daarnaast kan dit bijdragen aan het betrekken van bedrijven bij onderzoeksprojecten en -programma's.

De activiteiten in de afgelopen periode hebben veel informatie en materialen opgeleverd, die beschikbaar zijn voor kennisoverdracht en profilering van het werkgebied. Het is aan te bevelen de kennisoverdracht in de komende periode ter hand te nemen via publicaties en andere activiteiten zoals workshops. Deze activiteiten kunnen worden georganiseerd door de Dutch Biological Hydrogen Foundation en/of de *Contactgroep* i.s.m. Novem en andere partijen. Het ontwikkelde Internetplatform www.biohydrogen.nl kan een belangrijke rol spelen bij de publieke kennisoverdracht en het tot stand brengen van nieuwe samenwerkingsverbanden.

De vormgeving van nieuwe onderzoeks- en demonstratieprojecten en samenwerkingsverbanden is van groot belang voor de verdere ontwikkeling en realisatie van biologische H₂ productietechnologie. Daarbij kunnen de mogelijkheden voor het versterken van de uitwisseling en creatieve samenwerking tussen het biologisch H₂ onderzoek en het onderzoek op het gebied van de nauw verwante CH₄ vergisting worden nagegaan. Het is sterk aan te bevelen de mogelijkheden te onderzoeken voor de vormgeving van een nationaal onderzoeks- of prioriteitenprogramma.

1. INLEIDING

1.1 Achtergrond

Om de positie van het Nederlandse onderzoek op het gebied van de duurzame waterstofproductie te versterken is in 2000 door NOVEM het initiatief genomen om de mogelijke deelname van Nederland na te gaan aan de *IEA Hydrogen Implementing Agreement, Annex 15* gewijd aan *Photobiological Hydrogen Production*. Deze annex is gericht op biologische H₂ productie door micro-organismen. De looptijd is recent verlengd tot 2004 (zie verder Bijlage 1).

In Nederland wordt kwalitatief hoogwaardig onderzoek verricht op het gebied van de biologische H₂ productie en de sterk verwante biologische CH₄ productie. Deelname aan internationale uitwisseling in IEA verband biedt meerwaarde door de mogelijkheid op de hoogte te blijven van actuele ontwikkelingen in het internationaal onderzoek en de technologische 'state-of-the-art', het creëren van contacten en uitwisselingsmogelijkheden voor jonge onderzoekers, en vorming van nieuwe (internationale) samenwerkingsverbanden. Nederlandse deelname vereist de vorming van een platform, verder aangeduid als *Nederlandse Contactgroep Biologische H₂ productie*, dat de inbreng in IEA kader coördineert. Daarnaast kan zo'n platform bijdragen aan versterking van kennisuitwisseling en samenwerking tussen Nederlandse onderzoekers, bedrijven en overheden op het gebied van de biologische H₂ productie en zo bijdragen aan ontwikkeling en implementatie van hernieuwbare energietechnologie.

Op 3 februari en 13 april 2000 vond verkennend overleg plaats met een aantal in het veld actieve onderzoekers [1, 2]. Op basis van die bijeenkomsten werd besloten de mogelijkheden voor de vorming van een *Nederlandse Contactgroep Biologische H₂ productie* te verkennen in het kader van het onderhavige NOVEM project.

De probleemstelling voor het project is:

1. de belangstelling en het draagvlak bij Nederlandse onderzoekers voor deelname aan uitwisseling in een *NL Contactgroep Biologische H₂ productie* en in IEA kader zijn niet bekend;
2. er bestaat (nog) geen structuur voor organisatie en secretariaatsvoering van meetings, overleg en andere uitwisseling, inventarisatie van lopend onderzoek, evaluatie en rapportage van resultaten; een goed functionerende *Contactgroep* kan hierin voorzien;
3. er bestaat geen dekkend overzicht van in Nederland uitgevoerd relevant onderzoek als basis voor 1) uitwisseling binnen de *NL Contactgroep*, in IEA verband en in andere fora en 2) het faciliteren van strategische keuzes t.a.v. optimale biokatalytische routes voor duurzame energieproductie. Dit deel van de probleemstelling wordt uitgewerkt in het project "Status en perspectieven van biologische systemen voor productie van hernieuwbare H₂ en CH₄" NOVEM contract nummer: 249.402-0180 (ECN projectnummer 7.2249).

1.2 Doelstelling

De centrale doelstelling is: het vaststellen van het draagvlak en de mogelijkheden in Nederland voor deelname aan IEA Hydrogen Implementing Agreement Annex 15 via vorming van een *NL Contactgroep Biologische H₂ productie*. In het bijzonder dient te worden nagegaan of voldaan kan worden aan de voorwaarden voor het goed functioneren van zo'n *Contactgroep* t.w.:

- actieve technisch/wetenschappelijke kennisuitwisseling tussen deelnemers;
- vertrouwelijkheid m.b.t. de uitgewisselde onderzoeksgegevens;

- continuïteit via voldoende draagvlak bij de deelnemende onderzoekers/instituten en een toereikende organisatie en secretariaatsvoering;
- adequate financiële ondersteuning voor organisatie en secretariaatsvoering.

1.3 Werkwijze

De werkzaamheden omvatten:

1. organisatie van 5 bijeenkomsten voor onderzoekers betrokken bij relevant onderzoek in Nederland;
2. organisatie van een 1-daagse workshop over het thema (2001);
3. uitwerken van voorstellen voor organisatie en financiering van de te vormen *Contactgroep*;
4. evaluatie en rapportage van de resultaten.

2. RESULTATEN/ACTIVITEITEN

2.1 Inleiding

De projectwerkzaamheden vonden plaats in de periode 01-01-2000 t/m 31-2-2001. In die periode werd een start gemaakt met de daadwerkelijke vorming van de *Contactgroep* via 6 periodieke bijeenkomsten (één meer dan voorzien in de opdracht) en werd de basis gelegd voor formalisering en continuering van de *Contactgroep*, internationale uitwisseling in IEA kader en een aantal vervolghostudieën. Via de oprichting van de *Dutch Biological Hydrogen Foundation* werd een solide basis gelegd voor continuïteit en (toekomstige) financiering. In de projectperiode en daarna heeft de *Contactgroep* zich zowel nationaal als internationaal geprofileerd via o.a. brochures (zie bijlage 2), de organisatie van een Workshop (2001), formalisering van actieve deelname aan IEA Annex 15 (2001), het mede-organiseren van de internationale conferentie *BioHydrogen 2002*, publicaties in de vakpers en andere activiteiten. Een aantal vervolghostudieën die hieraan eveneens bijdragen is momenteel in uitvoering (zie 2.10, dit rapport). Internationaal profileert het platform zich als *Netherlands Biohydrogen Network*. Alles bijeen is via het project een solide basis ontstaan voor voortzetting / continuïteit van de *Contactgroep* en haar activiteiten. De verschillende projectactiviteiten en -resultaten worden hieronder besproken.

2.2 Achtergrond en potentieel van biologische H₂ productie

Biologische H₂ productie uit biomassa residuen en afvalstromen kan een belangrijke bijdrage leveren aan de toekomstige vraag naar hernieuwbare energie. Bio-H₂ productie is gebaseerd op fermentatie van organische verbindingen door micro-organismen en op processen waarbij zonlicht rechtstreeks wordt benut als energiebron door fotosynthetische bacteriën, cyanobacteriën of microalgen. In beide gevallen komt zonlicht beschikbaar in de vorm van hernieuwbare H₂. Biologische H₂ productie lijkt met name geschikt voor relatief kleinschalige, decentrale productie systemen, geïntegreerd met bijvoorbeeld land- en tuinbouw activiteiten, de agro-industrie of de afvalverwerking. De technologie maakt de winning mogelijk van CO₂ neutrale waterstof uit natte biomassa residuen en afvalwaterstromen. In de huidige praktijk blijft het merendeel van deze 'bio-energie' onbenut, bijvoorbeeld omdat verwerking plaatsvindt via compostering, een netto energie consumerend proces. Biologische H₂ productie kan een uitstekende aanvulling vormen op momenteel in ontwikkeling zijnde duurzame H₂ productietechnieken. De verwerking van biologisch materiaal via (micro)biologische processen leidt er tevens toe dat de mineralen intact blijven en kunnen worden gerecycled.

Bij inzet van 50% van de in Nederland beschikbare organische reststromen (totaal 5,3 miljoen ton/jaar) als grondstof voor biologische H₂ productie kan jaarlijks 103 kton H₂ worden geproduceerd (14,7 PJ_{therm}). Via omzetting in brandstofcellen kan hieruit (bij 50% e-rendement) 7,4 PJ_e elektriciteit worden geproduceerd. Dit is voldoende voor de elektriciteitsvoorziening van ca. 600.000 huishoudens (bij een verbruik per huishouden van ca. 3.300 kWh/jaar).

Biologische H₂ productie is nauw gerelateerd aan de breed toegepaste anaërobe vergistingstechniek, waarin organische afvalstromen worden omgezet in methaan. H₂ is in dat proces een tussenproduct. Samenwerking en kennisuitwisseling tussen deze twee gebieden biedt zowel voordelen voor de ontwikkeling van biologische H₂ productie als de verdere ontwikkeling

en optimalisatie van de anaërobe vergistingstechnologie, vanwege de nauwe interactie van het microbieel CH₄ en H₂ metabolisme en gedeelde technologische uitdagingen, waaronder:

- de vereiste optimalisatie van hydrolyse van biomassa-grondstoffen tot fermenteerbare monomeren;
- conditionering en opwerking van productgas;
- combinatie van bioCH₄ en bioH₂ productie met brandstofcellen.

'Groene' CH₄ kan worden toegepast in de bestaande energie-infrastructuur, terwijl hernieuwbare H₂ eerst op langere termijn inzetbaar zal zijn door de vereiste infrastructuur aanpassingen. Bio-H₂ dient in het lange termijn onderzoek echter centraal te staan door de voordelen van H₂ als schone, efficiënte en veelzijdige energiedrager.

2.3 Doel van de *Contactgroep*

Het doel van de *Contactgroep* in haar huidige vorm en samenstelling is:

1. het bevorderen van uitwisseling en samenwerking tussen onderzoekers/ontwikkelaars;
2. deelname aan internationale uitwisseling en samenwerking; o.a. in het kader van de *IEA Hydrogen Implementing Agreement, Annex 15: Photobiological Hydrogen production* en de het EU COST Programma;
3. informeren van beleidsmakers en marktpartijen over de mogelijkheden en potentiële toepassingen van biologische H₂ productie;
4. het beantwoorden van vragen uit en fungeren als expertisecentrum voor het veld;
5. ondersteuning bij de vormgeving en financiering van R&D projecten.

Zie ook de informatiebladen in Bijlage 2.

2.4 Deelnemers

Het lopend onderzoek in Nederland is gericht op alle fundamentele en toegepaste aspecten van de biologische H₂ productie en -toepassing. Daarnaast bestaat er in Nederland omvangrijke expertise en R&D op het verwante gebied van de CH₄ fermentaties. Samenwerking en kennisuitwisseling tussen deze twee gebieden biedt zowel voordelen voor de ontwikkeling van biologische H₂ productie als de verdere ontwikkeling en optimalisatie van de CH₄ gistingstechnologie, vanwege de nauwe interactie van het microbieel CH₄ en H₂ metabolisme en gedeelde technologische uitdagingen. Per september 2002 nemen onderzoekers van een 12-tal onderzoeksgroepen van universiteiten en R&D instituten uit beide gebieden deel aan de activiteiten van de *Nederlandse Contactgroep Biologische H₂ productie*. De deelnemende onderzoekers en hun belangrijkste relevante expertise gebieden zijn weergegeven in Tabel 1.

Ten opzichte van de oorspronkelijke deelnemers is de *Contactgroep* gedurende de looptijd vooral uitgebreid met onderzoekers actief op het gebied van CH₄ fermentaties. Naar de mening van de *Contactgroep* deelnemers [23] omvat de groep in haar huidige samenstelling alle Nederlandse groepen met relevant onderzoek en dekkende, complementaire expertise. Uitbreiding met bedrijven, evt. ook overheden in de komende periode wordt overwogen ter verbreding van het platform. De *Contactgroep* wordt voorgezeten door Dr. H. Barten, Novem. Zie Bijlage 3 voor een volledig adressenbestand.

Tabel 1 *Deelnemers aan de Contactgroep Biologische H₂ productie en hun belangrijkste relevante expertisegebieden per 1 september 2002*

| Institute | Expertise/R&D |
|--|---|
| Universiteit van Amsterdam Swammerdam Institute for Life Sciences / Biochemistry Dr. S.P.J Albracht | hydrogenases: catalytic site and reaction mechanism |
| Delft University of Technology Dept. of Biotechnology – Enzymology Prof. dr. W.R. Hagen | biochemistry and biotechnology of hyperthermophiles H ₂ production and storage |
| University of Nijmegen Department of Microbiology Dr. J.T. Keltjens | H ₂ and CH ₄ fermentations; physiology + regulation of H ₂ and CH ₄ metabolism |
| University of Groningen Biomolecular Sciences & Biotechnology Institute Dr. ir. T.A. Hansen | physiology of anoxygenic phototrophs |
| Wageningen University – Laboratory of Microbiology Prof. dr. A.J.M. Stams Ir. H. Goorissen | H ₂ production by extreme thermophiles biological water-gas shift reaction |
| Wageningen University – Food & Bioprocess Engineering Dr. ir. R.H. Wijffels, Dr. ir. M. Janssen | photoheterotrophic H ₂ production photobioreactor development |
| Wageningen University Environmental technology Dr. ir. G. Zeeman | anaerobic treatment of waste water and solids effluent post treatment / gas purification |
| Agrotechnological Research Institute ATO B.V. Business Unit Renewable Resources Dr. ir. P.A.M. Claassen, Dr. ir. T. de Vrije, Dr. ir E. van Niel | feedstock pre-treatment & hydrolysis thermophilic H ₂ fermentations & process development |
| TNO Environment, Energy & Process Innovation Environmental Biotechnology Dr. J. van Groenestijn | feedstock pre-treatment / process & reactor development gas separation and purification /effluent treatment |
| Lettinga Associates Foundation Dr. J. van Lier | expertise centre for anaerobic treatment of organic wastes and waste water |
| Energy research Centre of the Netherlands ECN Unit Biomass Drs. J.H. Reith, Ir. E. van Zessen | photobioreactor development, overall system integration and optimisation |
| Energy research Centre of the Netherlands ECN Unit Clean fossil fuels Dr. A. de Groot | infrastructural integration of H ₂ production systems stationary and mobile fuel cell systems (SOFC, PEMFC) |

2.5 Bijeenkomsten

In het kader van het hier gerapporteerde project werden 6 bijeenkomsten georganiseerd in de periode 01-01-2000 t/m 31-12-2001 t.w.:

- 3 februari 2000 NOVEN, Utrecht
- 13 april 2000 WU-Microbiologie, Wageningen
- 21 september 2000 WU-Proceskunde, Wageningen
- 8 februari 2001 ECN Biomassa & Schoon Fossiel, Petten
- 18 april 2001 KU Microbiologie, Nijmegen;
- 19 september 2001 UvA/Swammerdam Institute for Life Sciences, Amsterdam.

In 2002 vonden bijeenkomsten plaats bij het Kluyver Laboratorium voor Biotechnologie, TUDelft op 26 februari 2002 en bij de WU, Sectie Milieutechnologie, op 13 september 2002.

De periodieke bijeenkomsten spelen een belangrijke rol in de *Contactgroep* activiteiten via de geboden:

- kennismaking met deelnemende onderzoekers en instituten via presentaties en rondleidingen;
- kennisuitwisseling via presentaties en discussie over lopend onderzoek;
- overleg over lopende *Contactgroep* activiteiten;
- discussie over / identificatie van nieuwe R&D thema's en projecten; enkele voorbeelden uit de afgelopen periode zijn: de vergisting van slachtafval/diermeel [5,6], alkalofiele H₂ fermentaties [5], geïntegreerde projecten zoals het laaghouden van H₂ spanning in gecombineerde H₂ productie/FC systemen [5]; testen van geïsoleerde hydrogenasen als elektrodemateriaal voor H₂ splitsing in brandstofcellen; bijmengen van H₂ producerende microbiële consortia voor stimuleren van CH₄ gistingprocessen (Kovacs; [4]);
- informatie over internationale ontwikkelingen en onderzoek (IEA ,COST); zie verder 2.5.

De bijeenkomsten bieden zowel inhoudelijk als ten behoeve van uitwisseling en netwerken meerwaarde en daarmee voor het vormgeven van nieuwe samenwerkingsverbanden en projecten.

2.6 Internationale kennisuitwisseling en samenwerking: IEA en COST

Onder de IEA Hydrogen Implementing agreement, waarin Nederland een actieve rol speelt, bestaat een Annex 15: Photobiological Hydrogen Production. Deze annex is gericht op zowel fotobiologische als fermentatieve H₂ productie door micro-organismen. De looptijd van Annex 15 is recent verlengd tot 2004. De inhoud van Annex 15 en status m.b.t. de deelnemers en activiteiten is beknopt weergegeven in onderstaand kader. Meer uitgebreide informatie is te vinden in Bijlage 1 en op de IEA Annex 15 website [8].

IEA Hydrogen Implementing Agreement; Annex 15: Photobiological hydrogen production
Looptijd: 1999 – 2004

'Committed member states' per september 2002: Japan, Noorwegen, Zweden, USA, Canada, Nederland.
Landen die lidmaatschap voorbereiden of overwegen: UK, Hongarije, Mexico, Portugal.

Het werk in Annex 15 is verdeeld in 4 subtaken:

1. Light driven Hydrogen production by Microalgae. Activity Leader: Zweden, P. Lindblad.
2. Maximizing Photosynthetic Efficiencies. Activity Leader: USA; T. Melis.
3. Hydrogen Fermentations. Activity Leader: Japan; Y. Asada
4. Improve Photobioreactor Systems for Hydrogen Production. Activity Leader: UK; Philip Wright

Operating agent: Dr. Peter Lindblad, Uppsala University, Zweden

Deelname aan IEA activiteiten is alleen mogelijk voor landen en niet voor individuele onderzoekers of instituten. Van 'committed member states' wordt als inbreng verwacht dat vertegenwoordigers van elk land de overige IEA leden op de hoogte houden van de vorderingen van relevant lopend onderzoek in dat land. Dit vindt plaats in door IEA georganiseerde /gesponsorde meetings (o.a. Expert Meetings) workshops, congressen, via publicaties e.d.

Via de activiteiten in de *NL Contactgroep Biologische H₂ productie* is de comittingering door Nederland aan Annex 15 voorbereid en geëffectueerd. In de groep bleek voldoende draagvlak voor deelname aan deze activiteiten. Namens Nederland brengt WUR/ATO onderzoek (2 fte) in voor de uitwisseling in IEA kader ('expression of interest'). Aanmelding van het ingebrachte onderzoek en de formele bekrachtiging van de Nederlandse 'commitment' is in 2001 geëffectueerd door Dr. H. Barten, Novem, die voor Nederland zitting heeft in de Executive Committee van de IEA Hydrogen Implementing Agreement. Hiermee is de belangrijkste doelstelling van het project gerealiseerd.

Gedurende de gehele looptijd van het project is er sprake geweest van actieve Nederlandse deelname aan uitwisseling en wederzijdse samenwerking in het kader van de IEA activiteiten, gecoördineerd via de *Contactgroep*. Onder meer betreft dit deelname door een vertegenwoordiger van de *Contactgroep* aan de periodieke Expertmeetings van Annex 15. In deze meetings wordt de status/voortgang gepresenteerd en besproken van lopend onderzoek in de deelnemende landen en vindt uitwisseling plaats m.b.t. nieuwe ideeën, projecten en programma's. De expert meetings worden gerapporteerd aan en gedistribueerd in de *Contactgroep* [9-13], met financiële ondersteuning door Novem. De Expert meetings bieden een uitstekend platform voor internationale uitwisseling m.b.t. onderzoek en techniekontwikkeling, nationale programma's en projecten; belangrijke internationale ontwikkelingen met betrekking tot alternatieve H₂ productiemethoden en gebruik van waterstof, ontwikkelingen en plannen t.a.v. infrastructuur enz. De deelname aan de uitwisseling in IEA kader zal via de *Contactgroep* worden gecontinueerd. Novem ondersteunt dit via de *Dutch Biological Hydrogen Foundation*.

De samenwerking met de IEA is daarnaast gebleken via de succesvolle, internationale conferentie *BioHydrogen 2002*, 21-24 April, te Ede, die werd georganiseerd door de Dutch Biological Hydrogen Foundation onder auspiciën van en met financiële ondersteuning door o.a. het IEA. Zie verder punt 2.9 dit rapport.

Verder is in de IEA meetings gebleken dat het Nederlandse bio-H₂ onderzoek zowel in omvang als kwalitatief op een hoog peil staat. Ook de wijze waarop het onderzoek in Nederland wordt georganiseerd, met name de nauwe samenwerking van R&D instituten met bedrijven zoals Shell Hydrogen, Paques en Duynie, zoals in bijv. EET, STW en Novem projecten, wordt positief beoordeeld.

De *Contactgroep* fungeert verder als platform voor kennisuitwisseling m.b.t. de in EU verband lopende COST actie 841 "Biodiversity of Hydrogen producing Microorganisms", omdat verschillende deelnemers aan deze Cost actie tevens deelnemen aan de *NL Contactgroep* [22].

De *Contactgroep* zelf wordt internationaal als een uitstekend model gezien voor organisatie van 'national focal groups' met deelname van onderzoeksinstituten en de betrokkenheid van de 'national agent' op het gebied van duurzame energie, i.c. Novem. Tevens geldt de *Contactgroep* als model voor internationale platforms voor kennisuitwisseling en samenwerking. In de call voor het komende 6de kader programma van de EU is door Kornel Kovacs (COST; Univ. Szeged) een *Expression of Interest* ingediend voor een *Network of Excellence* op het gebied van biologische H₂ productie, getiteld 'Biological H₂ metabolism for BioH₂ production and utilization' met deelname door 70 laboratoria (uit 13 EU landen), waaronder alle deelnemers aan de Nederlandse *Contactgroep* [14]. De Nederlandse *Contactgroep* Bio-H₂ productie vormt het voorbeeld voor de 'national focal groups' die de basis zullen vormen voor dit Network.

2.7 Workshop Biologische H₂ productie: 4 oktober 2001

Op 4 oktober 2001 werd in het kader van dit project in Utrecht namens de *Contactgroep* een Workshop Biologische H₂ productie georganiseerd door ECN Biomassa i.s.m. Novem, onder voorzitterschap van Dr.Ir. A.H.M. Kipperman (*NECST/Novem*). De organisatie was in handen van Drs J.H. Reith, ECN Biomassa, secretaris van de *Nederlandse Contactgroep Biologische H₂ productie* en Dr. H. Barten, *Programma Nieuwe Energie Conversie Systemen en Technologieën (NECST/Novem)*. Een 40-tal personen uit de R&D sector, overheden, wetenschaps- en technologieorganisaties en het bedrijfsleven namen aan de workshop deel. Doel van de workshop was:

- deelnemers te informeren over mogelijkheden en status van biologische H₂ productie,

- via discussie van workshop deelnemers een beeld te vormen van de perspectieven en voorwaarden voor de realisatie en inpassing van biologische H₂ productiesystemen,
- inzicht te krijgen in de benodigde verdere ontwikkeling vanuit het perspectief van de verschillende betrokken sectoren.

De workshop bestond uit voordrachten, een wetenschappelijke postersessie, en discussies. Een belangrijke conclusie was dat decentrale biologische H₂ productie uit natte rest- en afvalstromen op langere termijn een aantrekkelijke optie is. Echter voor de kortere termijn is ook aandacht gerechtvaardigd voor de biologische CH₄ productie uit dit type stromen, omdat de vergistingstechnologie reeds ver ontwikkeld is en CH₄ inzetbaar is in de bestaande infrastructuur. Voor verdere uitkomsten van de workshop zie [15,16].

2.8 Oprichting Stichting ‘Dutch Biological Hydrogen Foundation’

Gedurende de looptijd werd overeengekomen de mogelijkheid te onderzoeken de *Contactgroep* activiteiten voort te (doen) zetten door een Stichting. Die biedt een goede vorm voor het organiseren van kennisoverdrachtactiviteiten, zoals congressen en workshops, publicaties etc. en tevens een geschikte organisatorische vorm voor het verwerven van subsidies en sponsorgelden. In de projectperiode is de oprichting van de Stichting *Dutch Biological Hydrogen Foundation* door ECN voorbereid en uitgevoerd. De Stichting werd versneld opgericht t.b.v. de organisatie van de internationale Conferentie *BioHydrogen 2002*. De oprichting vond plaats bij notariële akte d.d. 25-10-01. De Stichting is ingeschreven bij handelsregister KvK Noordwest-Holland, onder nr. 37098991. De doelstellingen van de *Dutch Biological Hydrogen Foundation* zijn weergegeven in onderstaand kader.

Doelstellingen Dutch Biological Hydrogen Foundation

De Stichting heeft ten doel:

- het bevorderen van onderzoek en ontwikkeling, samenwerking en kennisoverdracht op het gebied van de biologische waterstofproductie tussen onderzoeksinstituten, overheden en bedrijven, en
- het versterken van nationale en internationale uitwisseling en samenwerking op het gebied van biologische waterstofproductie.

Zij tracht dit doel onder meer te bereiken door:

- het (doen) voeren van een secretariaat ter ondersteuning van activiteiten in het kader van de doelstelling,
- het (doen) organiseren van en deelname aan (inter)nationale bijeenkomsten, workshops en congressen op het gebied van de biologische waterstofproductie, en
- het (doen) uitvoeren van werkzaamheden en het (doen) uitgeven van publicaties op het gebied van de biologische waterstofproductie.

Het bestuur bestaat uit onderzoekers actief op het werkgebied van de Stichting: Dr. R. Wijffels, voorzitter, Drs. J.H. Reith, secretaris/penningmeester, en de bestuursleden: mevr. dr. P.A.M. Claassen, Prof. dr. W.R. Hagen, Dr. J.T.M. Keltjens en Prof. dr. A.J.M. Stams.

De Stichting zal o.m. de *Contactgroep* activiteiten voortzetten en nieuwe activiteiten ontplooiën. De Stichtingsvorm biedt uitstekende mogelijkheden voor financiering en/of sponsoring door NOVEM, NWO, EZ/VRM, R&D instellingen en bedrijven. Voordelen van de Stichtingsvorm zijn:

- een stichting heeft een duidelijkere status dan een contact- of werkgroep. Dit is vooral van belang bij benadering van subsidieverleners en beleidsmakers;
- aan de stichting -als rechtspersoon- kan eenvoudiger financiële ondersteuning worden verleend;
- kenniseigendom kan eenvoudig(er) worden afgeschermd; dit laatste punt maakt het mogelijk dat bedrijven kunnen deelnemen, waarbij de kennis eigendom blijft van de R&D instellingen.

Op 7 februari 2002 heeft de eerste bestuursvergadering plaatsgevonden in Utrecht, waar besluiten zijn genomen t.a.v. het beleid en de werkzaamheden van de Stichting in de komende jaren, onder meer het onderhouden van de website die thans wordt ontwikkeld (zie 2.10), het opbouwen van de Stichting, uitvoering van kennisoverdrachtactiviteiten en werk t.b.v. de vormgeving van nieuwe R&D projecten incl. de mogelijke vorming van een nationaal bio-H₂ (en CH₄) onderzoeksprogramma.

2.9 Internationaal Congres BioHydrogen 2002

Op 21-24 April 2002, werd in Ede het internationaal Congres *BioHydrogen 2002* georganiseerd door de Dutch Biological Hydrogen Foundation onder auspiciën van de International Energy Agency

(IEA) en het EU programma COST. Het congres werd gesponsord door NOVEM, ECN, en de firma Samsung. Dit zeer succesvolle, internationale congres met ca. 140 deelnemers bood een forum voor uitwisseling tussen onderzoekers uit de gehele wereld. Ca. 140 onderzoekers uit de gehele wereld (o.m. de VS, Europa, Japan en andere Aziatische landen, Nederland) namen aan het congres deel. Het programma omvatte lezingen en posterpresentaties met een scala van onderwerpen, variërend van fundamenteel onderzoek naar de katalyse van bio-H₂ productie op moleculair niveau, via procesontwikkeling en (bio)reactorontwerp, tot energieanalyses, evaluatie van de economische haalbaarheid en H₂ toepassingen [17].

De *Contactgroep* en de *Dutch Biological Hydrogen Foundation* speelden een belangrijke rol bij de organisatie van *BioHydrogen 2002*. Het congres bood een uitstekende gelegenheid het Nederlandse onderzoek te presenteren en te profileren. Het onderzoek in Nederland op het gebied van biologische H₂ productie neemt een vooraanstaande positie in [17]. Momenteel vindt kennis- en technologieontwikkeling plaats in het kader van een meerjarig EET project 'Biologische Waterstofproductie' en een EU project 'Biohydrogen', naast de lopende nationale projecten (o.m. NWO, STW, Novem). Op de conferentie waren 3 lezingen en een 10-tal posters gewijd aan de ontwikkelingen in Nederland t.b.v. de ontwikkeling van geïntegreerde biologische processen voor H₂ productie uit biomassa reststromen en zonlicht.

Een algemene constatering n.a.v. *BioHydrogen 2002* is dat (de ontwikkeling van) biologische H₂ productie uit biomassa(rest)stromen en zonlicht internationaal sterk in opkomst is. Zowel in het fundamenteel microbiologisch/biochemisch onderzoek als bij de daadwerkelijke technologie- en systeemontwikkeling wordt uitstekende voortgang geboekt. Dit blijkt uit het grote aantal (140) deelnemende onderzoekers aan de conferentie en de hoge kwaliteit van de lezingen en posterpresentaties. Deelnemende onderzoekers waren afkomstig uit: Verenigde Staten en Canada, Azië: Japan, China, Taiwan, Korea, India, Europa: Groot-Britannië, Duitsland, Nederland, Zweden, Noorwegen, Denemarken, Frankrijk, Italië, Rusland en Hongarije. Het congres bood dan ook een uitstekende gelegenheid voor kennisuitwisseling over de status van de internationale ontwikkeling en voortgang. Er werden nieuwe (internationale) contacten gelegd voor R&D samenwerking en kennisuitwisseling en de vorming van internationale netwerken.

De proceedings van de conferentie (een 40-tal papers) zijn verschenen in het najaar van 2002 in een 'special issue' van het *International Journal of Hydrogen Energy (IJHE)* [17]. In 2004 zal opnieuw een internationaal BioHydrogen congres worden georganiseerd onder auspiciën van het International Energy Agency en het EU programma COST.

Naar aanleiding van BioHydrogen 2002 en de actieve benadering van de pers (via persuitnodigingen + persmap) door *Contactgroep* secretaris J.H. Reith i.s.m. P. Claassen (ATO) verscheen een aantal publicaties in de vakpers over biologische H₂ productie, waarin zowel het

vakgebied, het onderzoek in Nederland, de *Contactgroep Bio-H₂* en de stimulerende rol van Novem uitvoerig werden belicht [18-21].

2.10 Andere activiteiten

Momenteel wordt een aantal vervolgactiviteiten op het hier gerapporteerde project uitgevoerd. Deze projecten worden hier kort besproken omdat ze eveneens betrekking op biologische H₂ productie en versterking en verbreding beogen van de activiteiten van de Contactgroep Bio-H₂.

De voorbereiding van het Project 'Status en perspectieven van biologische systemen voor productie van hernieuwbare H₂ en CH₄' (Novem proj. nr. 249.402-0180) vond plaats in het kader van de hier verantwoorde opdracht. Het project omvat:

- een inventarisatie van R&D op het gebied van de biologische H₂ en CH₄ productie in Nederland; deze inventarisatie is bedoeld als basis voor (inter)nationale kennisuitwisseling;
- het schrijven van essays over de status en perspectieven van biologische H₂ en CH₄ productie; deze essays zijn bedoeld voor het informeren van de beleidssector, bedrijven e.d. over de mogelijkheden en kansen van biologische H₂ (en CH₄) productie;
- inrichting van een dedicated website op het Internet Bio-H₂ platform www.biohydrogen.nl. De gebruikte software (TopShare BV) biedt mogelijkheden voor interactieve kennisuitwisseling. Daarnaast kan door deze software de website eenvoudig en permanent, inhoudelijk worden verrijkt en 'geupdate' door de gebruikers zelf. De mogelijkheid om kennis uit te wisselen via een interactieve website is aantrekkelijk. Echter a-priori is duidelijk dat hiervoor een voortdurende inspanning nodig is van de gebruikers voor het leveren van (nieuwe) informatie voor de website, updates etc. In het lopende project is een kern-groep gevormd (bestaande uit *Contactgroepleden*) om hierin te voorzien.

Dit project is vrijwel afgerond. De resultaten worden ingezet voor (inter)nationale kennisuitwisseling en kennisoverdracht naar een breed publiek. De ingerichte website zal in de toekomst worden gecontinueerd door de Dutch Biological Hydrogen Foundation.

De (Engelstalige) essays over de state-of-the-art en perspectieven van bio-H₂ en CH₄ productie die in het kader van genoemd project worden geschreven worden geredigeerd door J.H. Reith en voorzien van een inleidend hoofdstuk/leeswijzer. Het geheel wordt gebundeld en uitgegeven door de *Dutch Biological Hydrogen Foundation*. De publicatie zal breed (internationaal) worden verspreid onder onderzoekers, uitvoeringsorganisaties, beleidsfunctionarissen en bedrijven. De uitgave wordt gesubsidieerd door Novem.

Tenslotte heeft de Stichting een Novem opdracht verworven voor kennisoverdracht op het gebied van Bio-H₂ productie, o.a. een reisbudget voor deelname aan IEA Expert meetings en initiële ondersteuning en opbouw van de nieuwe Stichting en haar activiteiten, waaronder de vormgeving van nieuwe R&D projecten en programma's.

3. FINANCIERING

M.b.t. de financiering van de activiteiten heeft de ondersteuning door Novem een essentiële rol gespeeld in de opstartfase. Hoewel ook in de toekomst een beroep op ondersteuning door Novem kan worden gedaan, is het waarschijnlijk dat in toenemende mate alternatieve financiers moeten worden gevonden.

In Tabel 2 wordt een globale raming gepresenteerd van de jaarlijkse kosten, bij een relatief bescheiden activiteiten palet en exclusief grote(re) speciale projecten, zoals internationale conferenties, grote publicaties e.d., waarvoor afzonderlijke, projectgebonden financiering/sponsoring kan worden gezocht. Ook is voorzien in kosten voor instandhouding van de website en enige “apparaatskosten”. De financieringsbehoefte bedraagt daarmee totaal ca. 15 k€/jaar.

Tabel 2 *Raming jaarlijkse kosten voortzetting Contactgroep*

| | Euro |
|--|--------|
| 1. organisatie en verslaglegging 2 bijeenkomsten NL Contactgroep Biologische H2 productie; | 3.500 |
| 2. Bijwonen IEA Annex 15 Expert meetings + 1 internationaal congres/jaar (reis- en verblijfskosten) | 4.000 |
| 3. Kennisoverdrachtsactiviteiten, publiciteit, verkennen programmavorming, R&D projecten enz. incl. website | 5.000 |
| 4. Administratieve ondersteuning/boekhouding | 1.000 |
| 5. Reiskosten binnenland + diverse kosten | 1.500 |
| | 15.000 |

De *Dutch Biological Hydrogen Foundation* is als rechtspersoon een goed instrument voor verwerven en afhandelen van financiën voor de activiteiten. De financiën van BioHydrogen 2002 worden via de Stichting afgehandeld en twee Novem opdrachten lopen administratief eveneens via de Stichting. Toekomstige financiering van de Contactgroepactiviteiten en andere Stichtingsactiviteiten zal in hoofdzaak verworven moeten worden uit subsidies en sponsoring. Een aantal mogelijke bronnen daarvoor is aangegeven in Tabel 3.

Tabel 3 *Mogelijke bronnen voor financiering*

| | |
|---|--|
| Subsidies (kennisoverdracht, projecten) | Novem: DEN, NEO ? Senter: diverse regelingen SDE |
| Ministeries | VROM, EZ, LNV |
| Onderzoeksfondsen | NWO STW |
| Sponsoring door bedrijven | |
| - engineers/milieutechn./afvalsector | Grontmij, Haskoning, Paques,.... |
| - energiesector | Eneco, Essent, NUON, Shell,.... |
| Bijdragen Contactgroep Deelnemers | ATO, TNO, ECN, TUD, WUR, KUN, UvA,.... |

4. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

4.1 Conclusies

Het project en de daaruit voortvloeiende activiteiten tonen dat er voldoende belangstelling en draagvlak is bij Nederlandse onderzoekers voor deelname aan de *Nederlandse Contactgroep Biologische H₂ productie*. Deelnemers zijn positief t.a.v. voortzetting. Belangrijke redenen voor deelname zijn de mogelijkheden van (inter)nationale kennisuitwisseling en de netwerkfunctie van de *Contactgroep*. Mogelijke uitbreiding met vertegenwoordigers van bedrijven dient volgens de huidige deelnemers te worden nagegaan.

Via de *Contactgroep* activiteiten is de actieve deelname door Nederland aan IEA Hydrogen Implementing Agreement Annex 15, Photobiological Hydrogen production, geëffectueerd. De uitwisseling in dit kader verloopt o.m. via halfjaarlijkse Annex 15 Expert meetings. De Nederlandse deelname en inbreng wordt gecoördineerd via de *Contactgroep*. Internationaal wordt de *Contactgroep* als een goed voorbeeld / model gezien voor de organisatie van 'national focal groups' op specifieke gebieden.

In de projectperiode (t/m december 2001) en daarna heeft de *Contactgroep* zich zowel nationaal als internationaal geprofileerd door kennisoverdracht en –uitwisseling in bijeenkomsten, de organisatie van een workshop (2001), het mede-organiseren van de internationale conferentie *BioHydrogen 2002*, publicaties in de vakpers, en andere activiteiten. Een aantal vervolprojecten draagt hieraan eveneens bij via de voorbereiding van publicaties en het inrichten van een internet platform dat informatie biedt over lopende bio-H₂ projecten en mogelijkheden voor interactieve kennisuitwisseling en (inter)nationale profilering van de *Contactgroep* (*Netherlands Biohydrogen Network*) en het Nederlands onderzoek: <http://www.biohydrogen.nl/>. Via de oprichting van de *Dutch Biological Hydrogen Foundation* is een solide basis gelegd voor continuïteit en (toekomstige) financiering van de *Contactgroep* en andere Stichtingsactiviteiten. Voor de financiering van deze activiteiten (via subsidies en sponsoring) vormt de stichting als rechtspersoon een geschikt instrument. De jaarlijkse financieringsbehoefte wordt geraamd op minimaal 15 k€ met name voor internationale uitwisseling (IEA) en kennisoverdracht. Een aantal mogelijke financieringsbronnen is geïdentificeerd. Alles bijeen heeft het project een solide basis gelegd voor voortzetting / continuïteit van de *Contactgroep* en haar activiteiten en is een geschikte structuur gevormd voor organisatie en secretariaatsvoering.

4.2 Aanbevelingen

Gezien het ruim voldoende draagvlak is voortzetting van de *Contactgroep* gewenst. Dit is van belang voor het op peil houden van de internationale uitwisseling in IEA verband en het voorzetten van de kennisuitwisseling op nationaal niveau t.b.v. het creëren van nieuwe R&D benaderingen en –projecten, en samenwerkingsverbanden. Het versterken van de uitwisseling en samenwerking met bedrijven is aan te bevelen. De mogelijke uitbreiding van de *Contactgroep* met vertegenwoordigers van bedrijven dient te worden nagegaan, ter verbreding van de beschikbare kennis en expertise. Daarnaast kan dit bijdragen aan het betrekken van bedrijven bij onderzoeksprojecten en –programma's.

De activiteiten in de afgelopen periode hebben veel informatie en materialen opgeleverd die beschikbaar zijn voor kennisoverdracht en profilering van het werkgebied. Het is sterk aan te bevelen de kennisoverdracht in de komende periode voortvarend ter hand te nemen in de vorm van publicaties en het organiseren van andere kennisoverdrachtsactiviteiten zoals workshops. Deze activiteiten kunnen worden georganiseerd door de Dutch Biological Hydrogen Foundation en/of de *Contactgroep* i.s.m. Novem en andere partijen.

Het ontwikkelde Internetplatform www.biohydrogen.nl kan een belangrijke rol spelen bij de nagestreefde kennisoverdracht, de profilering van het werkgebied, het tot stand brengen van nieuwe samenwerkingsverbanden en de versterking van de R&D infrastructuur. Voor het actief beheer van het platform is een kerngroep van *Contactgroepleden* gevormd. Een actieve bijdrage van alle gebruikers aan het actualiseren van de website en het leveren van informatie is noodzakelijk. Daarnaast dient een actief gebruik te worden nagestreefd voor uitwisseling binnen de *Contactgroep* (kennismanagement functie) en als publiek platform voor kennisoverdracht.

De vormgeving van nieuwe onderzoeks- en demonstratieprojecten en samenwerkingsverbanden is van groot belang voor de verdere ontwikkeling en realisatie van biologische H₂ productietechnologie, die een substantiële bijdrage kan leveren aan een duurzame energiehuishouding. Daarbij kunnen de mogelijkheden voor het versterken van de uitwisseling en creatieve samenwerking tussen het biologisch H₂ onderzoek en het onderzoek op het gebied van de nauw verwante CH₄ vergisting worden nagegaan. Het is sterk aan te bevelen de mogelijkheden te onderzoeken voor de vormgeving van een nationaal onderzoeks- of prioriteitenprogramma.

REFERENTIES

- [1] *Besprekingsverslag Verkennend overleg over NL deelname aan IEA Hydrogen Agreement, Annex 15: Photobiological Hydrogen Production*. 3 februari 2000, NOVEM, Utrecht.
- [2] *Besprekingsverslag 2e Bijeenkomst NL Contactgroep Biologische H₂ Productie i.o.*; 13 april 2000, Wageningen Universiteit, WUR, Lab. voor Microbiologie.
- [3] *Besprekingsverslag 3e Bijeenkomst NL Contactgroep Biologische H₂ Productie i.o.*; 21 september 2000 WU-Proceskunde, Wageningen
- [4] *Besprekingsverslag 4e Bijeenkomst NL Contactgroep Biologische H₂ Productie i.o.*; 8 februari 2001 ECN, Petten
- [5] *Besprekingsverslag 5e Bijeenkomst NL Contactgroep Biologische H₂ Productie i.o.* 18 april 2001, KU Nijmegen;
- [6] *Besprekingsverslag 6e Bijeenkomst NL Contactgroep Biologische H₂ Productie i.o.*; 19 september 2001 SILS/UvA, Amsterdam
- [7] *Besprekingsverslag 7e Bijeenkomst NL Contactgroep Biologische H₂ Productie i.o.*; 26 februari 2002. KLB TUDelft.
- [8] IEA Hydrogen Program Task 15: http://www.eren.doe.gov/hydrogen/iea/iea_research.html
- [9] Rapportage: IEA Hydrogen Implementing Agreement, Annex 15: Photobiological Hydrogen production, Expert-Meeting 20 & 21 Maart 2000, Golden, USA; rapporteur: Marcel Janssen, Food & Bioprocess Engineering Group (WU)
- [10] Rapportage: IEA Hydrogen Implementing Agreement, Annex 15: Photobiological Hydrogen production, Expert-Meeting; 11 Augustus 2000, Potsdam, Duitsland; rapporteur: Hans Reith, ECN Biomassa
- [11] Rapportage: IEA Hydrogen Implementing Agreement, Annex 15: Photobiological Hydrogen production, Expert-Meeting 26 & 27 Maart 2001, Porto, Portugal; rapporteur: Marcel Janssen, Food & Bioprocess Engineering Group (WU)
- [12] Rapportage IEA Hydrogen Implementing Agreement, Annex 15: Photobiological Hydrogen Production'; Expert Meeting combined with Cost Action 841 'Hydrogen Biodiversity' Workgroup 4 workshop; 8 - 11 September 2001, Szeged, Hungary; rapporteur: Marcel Janssen, Food & Bioprocess Engineering Group (WU).
- [13] Rapportage IEA Hydrogen Implementing Agreement, Annex 15: Photobiological Hydrogen Production'; Expert Meeting combined with BioHydrogen 2002; 21- 24 April 2002, Ede, Nederland; rapporteur: Peter Lindblad (operating agent), Uppsala University, Sweden
- [14] *Expression of Interest for a Network of Excellence 'Biological H₂ metabolism for BioH₂ production and utilization'*. Call EOI.FP6.2001.
- [15] I.Malsch, "Biologische waterstof doet haasje over met methaan" Nieuwsblad Stroom, 12 oktober 2001: 3
- [16] J.H. Reith, Verslag Workshop Bio-H₂, 4 oktober 2001, Utrecht.
- [17] Biohydrogen 2002 Special Issue. International Journal of Hydrogen Energy, Volume 27, Issues 11-12 (2002).
- [18] H. Walburg Schmidt, "Bacterie geeft gas", Technisch Weekblad 3 mei 2002, pg. 3
- [19] P. Voorter, "Productie biowaterstof combineren met biogas" Nieuwsblad Stroom 3 mei 2002, pg. 4
- [20] P. Voorter, "Productie biowaterstof combineren met biogas" Chemisch Weekblad 10, 11 mei 2002, pg.8
- [21] M. Roggen "Biowaterstof uit afval en biomassa" Energietechniek 6 juni 2002, pg. 30 - 34
- [22] COST website: <http://lbewww.epfl.ch/cost841>
- [23] Inventarisatie van R&D op het gebied van de biologische H₂ en CH₄ productie in Nederland. In uitvoering.
- [24] Biohydrogen R&D in the Netherlands. J.H. Reith. Posterpresentatie voor BioHydrogen 2002.
- [25] Internetplatform www.biohydrogen.nl (portal); public page Netherlands Biohydrogen Network: website <http://www.biohydrogen.nl/biohydrogennetwork>

BIJLAGE A

Zie ook website: http://www.eren.doe.gov/hydrogen/iea/iea_research.html

IEA Hydrogen Agreement Task 15 PHOTOBIOLOGICAL HYDROGEN PRODUCTION

Continuation/Extension, Years 4 and 5

1. Introduction

Biological hydrogen production, the production of H₂ by microorganisms, has been an active field of basic and applied research for many years. Realization of practical processes for photobiological hydrogen production from water using solar energy would result in a major, novel source of sustainable and renewable energy, without greenhouse gas emissions or environmental pollution. The same is true for the fermentative production of hydrogen from organic matter which then acts as a reservoir of solar energy. However, development of such processes requires significant scientific and technological advances, and long-term (>10 yr) basic and applied R&D. Photobiological hydrogen production was a component of the prior Task 10 of the IEA Hydrogen Agreement, and has now evolved into the independent Task 15 with an extension of the research to include fermentative hydrogen production. This effort covers research areas and needs at the interface of basic and applied R&D which are of mutual interest to the countries and researchers participating in the IEA Hydrogen Agreement. Task 15 provides for the establishment of collaborative research projects among participating countries in a coordinated program. The overall objective is to sufficiently advance the basic and early-stage applied science in this area of research over the next five years to allow an evaluation of the potential of such a technology to be developed as a practical renewable energy source for the 21st Century.

Annex 15 was approved in May, 1999 with initially four committed, participating countries: Japan, Norway, Sweden & USA. Since then both Canada and the Netherlands have joined, and UK is in the final stage of joining Annex 15.

Annex 15 was originally planned as a five (three + two) years international collaboration "The overall objective is to sufficiently advance the basic and early-stage applied science in this area of research over the next five years to allow an evaluation of the potential of such a technology to be developed as a practical renewable energy source for the 21st Century."

The continuation/extension of Annex 15 after the first three years has been discussed. Both the initial countries (Japan, Norway, Sweden, and USA), countries which joined during the three years (Canada and the Netherlands) as well as those in a process (UK), or discussing (Hungary, Mexico and Portugal), of joining Annex 15 would like to both continue and to expand this most fruitful international collaboration. The Swedish Energy Agency is willing to sponsor an Operating Agent.

2. Objective

Annex 15 deals in the first place with "biophotolysis", i.e. the biological production of hydrogen from water or organic acids and sunlight using microalgal or bacterial photosynthesis. An earlier IEA Task 10 Report [1] concluded that, in theory, photobiological reactions could achieve close to a 10% solar energy conversion efficiency. The overall objective of Task 15 over the next five years is to advance the basic and early-stage applied science in this area. This will allow an

evaluation of the potential of such a technology to become a renewable energy source for the 21st Century. Presently conceptual, the biophotolysis process to be developed under Task 15 has been subjected to a preliminary economic assessment, published by the IEA Hydrogen Agreement in 1998 [1]. This proposed process uses microalgae, either green algae or cyanobacteria, to fix CO₂ into carbohydrates, which are used by the algae to generate H₂ gas, first in the dark by fermentations and then in the light through photosynthesis-coupled reactions. The analysis published by the IEA [1] suggests that the goal of a 10% conversion efficiency, although ambitious, is potentially approachable in the long-term. The tentative Task 15 goal is to achieve a light conversion of 3% into hydrogen gas.

The fermentative production of hydrogen from organic matter using (hyper)thermophilic bacteria [2] is a new element in this Task. The objective here is to design a bioprocess for the conversion of organic matter in waste or side streams from communities or industries, or crops specifically grown for the production of energy, to hydrogen. A tentative estimate of the efficiency of conversion of biomass to hydrogen shows a number of 25% in terms of energy, which could be increased to 40% in the near future. This bioprocess consists of two fermentations: first a fermentation of mainly sugars to hydrogen and acetate with (hyper)thermophiles followed by a photoheterotrophic fermentation of acetate to hydrogen. It has been observed that near theoretical amounts of hydrogen from glucose or sucrose can be produced using (hyper)thermophilic bacteria. However, in some cases, under suboptimal growth conditions, lactate is the product instead of hydrogen and acetate.

3. Task Approach

The main objective is to develop hydrogen production by microalgae (both green algae and cyanobacteria) emphasizing on early-stage applied research on biophotolysis processes with intermediate CO₂ fixation. This research will help to provide the advances required to achieve the practical efficiencies and cost goals of biological hydrogen production. The Task investigates, among others, microalgal hydrogen metabolism, both in the dark and in the light, as well as the mechanisms that would allow the photosynthetic processes and hydrogen evolution reactions to achieve their maximum possible efficiencies. In addition, subsidiary metabolic processes require investigation, such as the efficient accumulation of large amounts of carbohydrates, the regulation of the photosynthetic processes and the recycling of the algal cells after hydrogen evolution is completed. Complex underlying genetic mechanisms and biochemical pathways are involved in these physiological processes and require significant research efforts. Subtasks include:

Subtask A. Light-driven Hydrogen Production by Microalgae and Photosynthetic Bacteria.

Light-driven hydrogen evolution mediated by hydrogenase(s) and nitrogenases was discovered in green algae and photosynthetic bacteria over fifty years ago, and subjected to extensive investigations over the ensuing decades. However, there are still many fundamental and applied issues that must be addressed before these type of reactions can be considered for practical applications:

- o The electron transport pathways coupling stored products with hydrogenase or nitrogenase activity and involvement of the photosynthetic system(s), directly (through light-driven electron transport) or/and indirectly (through metabolic energy generation).
- o The activation of pre-existing and biosynthesis of new hydrogenase enzymes, their regulation and genetics, in selected microalgae.
- o The down-regulation of the oxygen-evolving component of the photosynthetic process, to avoid oxygen production and concomitant inhibition of hydrogenase function during the light-driven hydrogen production phase.

These objectives requires a fundamental understanding of the genetics, biochemistry and physiology of hydrogenase and nitrogenase functions, including the metabolism and factors

affecting growth of microalgae and photosynthetic bacteria. This research will require the application of modern and advanced tools of molecular biotechnology and microbial physiology, techniques already available at leading laboratories in the participating countries.

Subtask B. Maximizing Photosynthetic Efficiencies.

Photosynthesis can achieve relatively high solar conversion efficiencies, but only at low light intensity. At full sunlight, efficiencies drastically decline. The reason is the large amounts of so-called light-harvesting pigments, which capture more photons at full sunlight than the photosynthetic apparatus can actually handle. These excess photons are thus wasted, with their energy released as heat or fluorescence, even causing damage to the photosynthetic apparatus. Reducing antenna sizes is a method for increasing photosynthetic efficiencies, and this is a central R&D need in photobiological hydrogen production. Specific activities within this subtask are to:

- o Develop green algae and photosynthetic bacteria strains with considerable reduced light-gathering pigment contents in both photosystems using molecular genetic techniques.
- o Demonstrate that such organisms can be used in CO₂ fixation, carbohydrate storage and H₂ production with greatly enhanced overall conversion efficiencies at high light intensities.
- o Use photosynthetic bacteria as laboratory model systems to demonstrate increased photosynthetic efficiencies in pigment-reduced mutants of single photosystem microbes.

Subtask C. Hydrogen Fermentations.

After accumulation of carbohydrates, and activation of their inducible hydrogenase, a fermentation process is initiated in which storage carbohydrates are converted to hydrogen and a number of fermentation products, including acetate, glycerol, and other excreted substrates. Such fermentations have been reported in both green algae and cyanobacteria, but require further study. At present, typical hydrogen yields from storage carbohydrates in the algae are less than 10%, based on a stoichiometry of 12 H₂/mole glucose. A goal of a 30% yield or higher is required and could be achieved through application of the modern methods of metabolic engineering to redirect metabolic reactions. Specific activities include:

- o Investigate yields of anaerobic fermentations as a function of both genetic and environmental factors when using different green algae, cyanobacteria and photosynthetic bacteria.
- o Carry out fundamental research using model systems such as *Escherichia coli*, and apply the tools of metabolic engineering to demonstrate improved H₂ production from glucose and waste waters in relevant systems.
- o Apply the techniques developed in the fermentative studies to photosynthetic bacteria, cyanobacteria and green algae and study the utilization of excreted metabolites (e.g. acetic acid) in hydrogen production (both in the dark and in the light-driven hydrogen production stage).

A new element within this Subtask is hydrogen fermentation of sugars by (hyper)thermophiles. Little knowledge has been obtained yet concerning this subject. At present, hydrogen yields from sugars are about 70-80%, based on a stoichiometry of 4 H₂/mole glucose [2]. This yield is substantially higher than observed with hydrogen producing mesophiles (hydrogen yields: 25-50%). Still a lot of research has to be carried out:

- o Determine the best performing (hyper)thermophiles for producing hydrogen; important properties are: high tolerance for hydrogen and acetate; high production rates; ability to degrade many (polymeric) sugars, especially (hemi)celluloses.
- o Finding optimal conditions for the fermentation process, such as required compounds, temperature: pH-tolerance, salt concentration..

- o Investigate both physiologically and genetically how hydrogen production is regulated.
- o A comparative study on the best performance: monoculture versus consortia, suspended versus immobilized cultures.

Subtask D. Improve Photobioreactor Systems for Hydrogen Production.

A major objective of applied R&D in photobiological hydrogen production has been the development of suitable photobioreactor systems. Development of such systems will serve as an intermediate step in the scale-up of hydrogen production from the laboratory scale to the commercial sector. A large number of different concepts and designs have been proposed and tested. However, there is a lack of engineering research for practical devices. As part of this international collaboration, R&D in photobioreactor engineering and operations is included under Subtask D:

- o Development of mathematical models for photobioreactors adapted to hydrogen production, including biomass growth, hydrogen production, light supply, mass transfer, hydrodynamics, and heat balance calculations.
- o Comparative evaluations of alternative photobioreactor designs, including side-by-side comparisons and testing/optimizing for biological hydrogen production.
- o Experiments in pilot plants for determination of the H₂ production capacity.

References

[1] JR Benemann. 1998. Process Analysis and Economics of Biophotolysis of Water. 35 pages. IEA Technical Report.

[2] PAM Claassen, JB van Lier, AM Lopez Contreras, EWJ van Niel, L Sijtsma, AJM Stams, SS de Vries and RA Weusthuis. 1999. Utilisation of biomass for the supply of energy carriers. *Applied Microbiology and Biotechnology* 52: 741-755.

* * * * *

Comments to the above Outlined Work Programme:

- a) It is based on the original Work Programme, with an extension of the research to include fermentative hydrogen production, updated and expanded through discussions at the ExpertMeetings and by the countries joining Annex 15.
- b) Progress during the first three years will be reported and discussed at Biohydrogen 2002 (April 21-24, 2002), subsequently published in a special issue of *International Journal of Hydrogen Energy* (Elsevier) and in the form of a hardbound copy distributed to all participants of Biohydrogen 2002.
- c) Subtask Leaders will be decided at the next ExpertsMeeting (April 22, 2002).

BIJLAGE B

BIJLAGE C

Deelnemers van de *Nederlandse Contactgroep Biologische H₂ Productie* per 1 september 2002.

