

PPS-eindrapportage

Over de PPS'en die afgerond zijn dient een inhoudelijke en financiële eindrapportage te worden opgesteld. Voor de financiële rapportage dient een totaaloverzicht van de projectkosten van de realisatie en de financiering te worden gegeven.

De eindrapportages worden integraal gepubliceerd op de website van het TKI

Algemene gegevens	
PPS-nummer	BBE-1501
Titel	Production of high value chemical compounds by cyanobacteria in volumetric photo-bioreactors, driven by light from (far)red LEDs.
Roadmap/Koepel	TKI BioBased Economy
Uitvoerende kennisinstelling(en)	Universiteit van Amsterdam
Projectleider onderzoek (naam en emailadres)	Prof. Dr. K.J. Hellingwerf (k.j.hellingwerf@uva.nl)
Penvoerder PPS (namens private partij)	WUR-PRI
Contactpersoon overheid	dr.ir. C.D. de Gooijer
Werkelijke startdatum	1-1-2015
Werkelijke einddatum	1-6-2019
Korte omschrijving inhoud (bij voorkeur 4 regels, max. half A4)	De doelstelling van dit project is het ontwerp, de bouw, en het testen, van een schaalbare en steriliseerbare fotobioreactor, waarin cyanobacteriën op industriële schaal gekweekt kunnen onder omstandigheden waarin (i) de lokale lichtintensiteit niet afneemt tot beneden het 'compensatie punt' (ii); de intredende lichtintensiteit geen foto inhibitie veroorzaakt, en (iii) een groeisnelheid bereikt kan worden die minimaal 50 % is van de maximale groeisnelheid van het testorganisme (i.e. <i>Synechocystis</i>), bij een biomassa dichtheid van 2 g/l.

Goedkeuring penvoerder/consortium

De eindrapportage dient te worden besproken met de penvoerder/het consortium. De TKI's nemen graag kennis van evt. opmerkingen over de rapportage.

De penvoerder heeft namens het consortium de eindrapportage	Goedgekeurd
Evt. opmerkingen over de eindrapportage:	Geen

Mutaties ten opzicht van het oorspronkelijke projectplan en follow-up

Zijn er wijzigingen geweest in het consortium/de projectpartners? Zo ja, benoem deze.	Door het faillissement van Tendris BV heeft dit project een tijd stil gestaan. Een herstart was mogelijk door gebruik te maken van een steriliseerbare 40 l reactor die in het bezit was van Photanol, en het betrekken van een nieuwe partner in het project: Biostream B.V., gevestigd te Doetinchem. Gezamenlijk met de medewerkers van het Technologie Centrum van de UvA, hebben de engineers van dit bedrijf de benodigde aanpassingen aan deze reactor gerealiseerd. Photanol medewerkers hebben de test experimenten met de gebouwde reactor voor hun rekening genomen.
Zijn er inhoudelijke wijzigingen geweest in het project?	De grootte van te gerealiseerde reactor is teruggebracht van 1000 naar 40 liter.

Is er sprake van knelpunten bij de uitvoering van het project?	De wisseling in de samenstelling van het projectteam is met veel vertraging gepaard gegaan en heeft tot noodzakelijke project-aanpassingen geleid.
Is er sprake van afwijkingen van het ingezette budget/de begroting?	Het afhaken van Tendris BV, in combinatie met de toetreding van BioStream BV, is met budget-aanpassingen gepaard gegaan. Voor de exacte getallen: zie toekenningsbrief dd. 4 december 2017.
Is er sprake van een octrooi-aanvraag (evt. first filing) vanuit deze PPS?	Octrooi: ARRANGEMENT OF A PHOTOBIOREACTOR OR A MICROBIOLOGICAL REACTOR Publication number: 20150210970 Inventors: Klaas Jan Hellingwerf, Theo Van Lieshout, Paul Koblenz, Wilmar Van Grondelle, Pascal Van Alphen
Is er sprake van spin-offs (contract-onderzoek dat voortkomt uit dit project, aanvullende subsidies die zijn verkregen of spin-off bedrijvigheid)	Binnen alle drie huidige partners van dit project (i.e. de Universiteit van Amsterdam, Photanol BV en BioStream BV) lopen nu nog (vervolg) projecten waarin gewerkt wordt aan verbeterde concepten voor fotobioreactoren, die mede geïnspireerd zijn door het werk in dit TKI-BBE project.

Resultaten en deliverables	
1. Welke deliverables zijn opgeleverd? (geef een korte beschrijving per deliverable uit het projectplan)	<ul style="list-style-type: none"> • A prototype volumetric photo-bioreactor for the axenic growth of engineered cyanobacteria. <ul style="list-style-type: none"> - Het ontwerp, de bouw en het testen van een 3D PBR is gerealiseerd • Basic knowledge on the factors that dictate the photonic growth yield of oxyphototrophic micro-organisms and its dependence on wavelength of the actinic light. <ul style="list-style-type: none"> - Deze studie is uitgevoerd en beschreven in ref a1] • Basic knowledge on the coupling of intermediary carbon metabolism with engineered product-forming pathways in cyanobacteria. <ul style="list-style-type: none"> - Binnen Photanol BV is mbt dit onderwerp een grote hoeveelheid kennis opgebouwd, parallel aan het 3D-PBR project. • Sets of selective process conditions that favor the producing organism and the production of products. <ul style="list-style-type: none"> - Er is een begin gemaakt met de studies rond dit onderwerp (zie beschrijving "Highlights").
2. Heeft het project onverwachte (neven)uitkomsten opgeleverd, die vooraf niet waren voorzien? Zo ja, benoem deze.	Nee.
3a. Binnen hoeveel jaar zullen de private partijen resultaten uit dit project gaan gebruiken in de praktijk?	0 tot 10 jaar
3b. Kan het gebruik van de resultaten in de praktijk nog worden versneld, en zo ja, wat is daarvoor nodig?	Investering gebaseerd op 'durfkapitaal'.
3c. Op welke wijze is over het project en de resultaten gecommuniceerd naar de brede doelgroep (incl. niet-deelnemende bedrijven)?	Publicaties; presentaties op (wetenschappelijke) congressen; lezingen voor 'interest groups'.
4. In hoeverre heeft het project bijgedragen aan de ontwikkeling van de betrokken kennis-instelling(en)? (bijv. wetenschappelijk	Belangrijkste aspect is de verhoging van het wetenschappelijk trackrecord van de betrokken instelling (i.e. UvA).

track record, nieuwe technologie, nieuwe samenwerkingen)	
5. Krijgt het project een vervolg in de vorm van een nieuw project of een nieuwe samenwerking? Zo ja, geef een toelichting.	Een langjarige samenwerking tussen de Universiteit van Amsterdam en Photanol BV is in de projectperiode geformaliseerd; deze samenwerking betreft echter een veel breder gebied dan alleen het ontwerpen en construeren van nieuwe fotobioreactoren, maar dit gebied maakt wel een essentieel onderdeel uit van deze samenwerking.

Highlights: geef een korte beschrijving van de belangrijkste resultaten

In de beginfase van het project is vastgesteld dat monochromatisch licht met een golflengte van ongeveer 630 nm optimaal is voor grootschalige groei van *Synechocystis* [1]. Dit type licht veroorzaakt zelfs bij intensiteiten oplopend tot 2 mmol fotonen/m²/s nagenoeg geen schade aan het organisme door foto inhibitie [2]. Gebruik van het ver-rode licht heeft het bijkomende voordeel dat voor deze golflengte LEDs beschikbaar zijn met een output efficiëntie van ongeveer 60 %, waardoor speciale voorzieningen voor afvoer van de geproduceerde warmte, in de vorm van 'heat pipes' niet nodig zijn en een eenvoudige waterkoeling van de LEDs kan volstaan.

Wiskundige modellering van de foto-autotrofe groei van *Synechocystis*, als functie van de lichtintensiteit, door medewerkers van Tendris BV, heeft een schatting opgeleverd van het minimaal benodigde aantal LEDs per liter reactor volume. Dit aantal blijkt te liggen in de grootteorde van ongeveer 20 LEDs/l.

Door de vorm van de beschikbare 40 l reactor is vervolgens gekozen voor een systeem van belichting waarbij 33 % van de in totaal 960 LEDs aan de buitenkant van de reactor zijn aangebracht, zodat ze via vier vensters de inhoud van de reactor kunnen belichten. De overige 67 % van de LEDs zijn gearrangeerd op zgn. glazen lichtstaven die in de reactor steken, waarbij er vier LEDs gelijk zijn verdeeld over de 360 graden ruimtehoek die beschikbaar is en er 40 LEDs verdeeld worden over de hoogte van de reactor (~ 1.20 m). In totaal zijn er daarmee 960 LEDs beschikbaar voor 37 l reactor volume. De maximale energie dissipatie per led is 2,4 V x 700 mA = 1,68 W. Voor de totale reactor is dit dan 960 x 1,68 W = 1.6 kW. De output van de LEDs kan gestuurd worden tussen 2 en 100 %.

Op basis van werktekeningen van zowel de te bouwen reactor met ingebouwde LEDs, als de aansturingselektronica en de koeling van de LEDs, is een aangepaste reactor gebouwd door resp. medewerkers van Biostream BV en het TC van de Universiteit van Amsterdam. Via stoomsterilisatie is deze reactor vervolgens gesteriliseerd en gevuld met het standaard groeimedium voor *Synechocystis sp.* PCC6803. Na het enten van de reactor is de groei gevolgd met behulp van een ingebouwde OD₇₃₀ sensor. Een aantal voorlopige testexperimenten zijn uitgevoerd waarbij er een aanzienlijke groeisnelheid werd bereikt bij biomassa dichtheden oplopend tot bijna 2 g/l. Door problemen met lekkage van de reactor bij langdurig gebruik (>> 1 week) is het niet gelukt alle geplande test experimenten uit te voeren. Binnen het programma van onderzoek van Photanol BV staan deze experimenten voor de komende maanden ingepland.

Aantal opgeleverde producten (geef in een bijlage de titels en/of omschrijving van de producten of een link naar de producten op openbare websites)			
Wetenschappelijke artikelen	Rapporten	Artikelen in vakbladen	Inleidingen/ workshops
a	-	b	c

Bijlage: Titels van de producten of een link naar de producten op een openbare website

Geef evt. toelichting op:

- Afwijking opgeleverde producten
- Reden van nog niet plaatsen van product op openbare website

a]

1] Schuurmans RM, van Alphen P, Schuurmans JM, Matthijs HC, Hellingwerf KJ (2015) Comparison of the Photosynthetic Yield of Cyanobacteria and Green Algae: Different Methods Give Different Answers. PLoS One 10(9): e0139061

2] Cordara A, Re A, Pagliano C, Van Alphen P, Pirone R, Saracco G, Branco Dos Santos F, Hellingwerf K, Vasile N (2018) Analysis of the light intensity dependence of the growth of *Synechocystis* and of the light distribution in a photobioreactor energized by 635 nm light. PeerJ. 6: e5256.

b]

Hamed Abedini Najafabadi: "Study of light wavelength dependency on growth and lipid content of microalgae and cyanobacteria in continuous cultivation system" – onderzoeksrapport, Universiteit van Amsterdam, 2017.

c]

De coordinator van dit project heeft de toepassingsmogelijkheden van het 3D photobioreactor concept gepresenteerd op diverse (inter)nationale bijeenkomsten; de meest recente daarvan zijn de ePhot meeting in Uppsala (juni 2018) en de EnOp meeting in Geleen (mei 2019).