TKI's topsectoren chemie-energie

Werkpakket Bioenergy & Biochemicals

Het geïntegreerde workpackage BioEnergy & BioChemicals wordt onderdeel van het Businessplan Biobased Economy én van de Innovatiecontracten in de Topsectoren Energie en Chemie.

WP BioEnergy & BioChemicals draagt onder voorwaarden en in potentie langs verschillende routes tot circa 25% renewable energy (ruim 800 PJ/jr) en CO2-emissiereductie (56 Mton CO2e/jr) bij, alsmede tot 4 a 5% (tot circa € 20 miljard/jr) aan het Bruto Nationaal Product.

Kansen voor bedrijven en maatschappij

Wat zijn de kansen voor het Nederlandse bedrijfsleven en kennisclusters voor de komende 5 jaar? Hoe sluiten deze kansen aan op de economische en maatschappelijke innovatiebehoeften? Hoe sluit dit aan op de milestones voor de lange termijn uit 'een punt op de horizon'.

Nederland heeft zeer sterke chemische en energiesectoren met grote multinationale bedrijven, zoals AkzoNobel, Dow Chemical, DSM, SABIC, Shell, RWE-Essent, EON en anderen met daarnaast ook een groot aantal MKB bedrijven, zoals Avantium, BDS en BIRD Engineering. Deze bedrijfstakken maken nu hoofdzakelijk gebruik van fossiele grondstoffen.

Grondstoffen van fossiele oorsprong kunnen we in principe vervangen door biomassa. Van wereldverbruik aan fossiele grondstoffen (420 EJ) is ca. 98% bestemd voor energiedoeleinden en slechts 2% voor materialen. Van deze voor 98 % is weer 40% bestemd voor de elektriciteitsproductie (energiesector); andere belangrijke verbruikers zijn de oliesector voor de productie van transport brandstoffen en de gebouwde omgeving en de industrie voor decentrale warmtevoorziening.

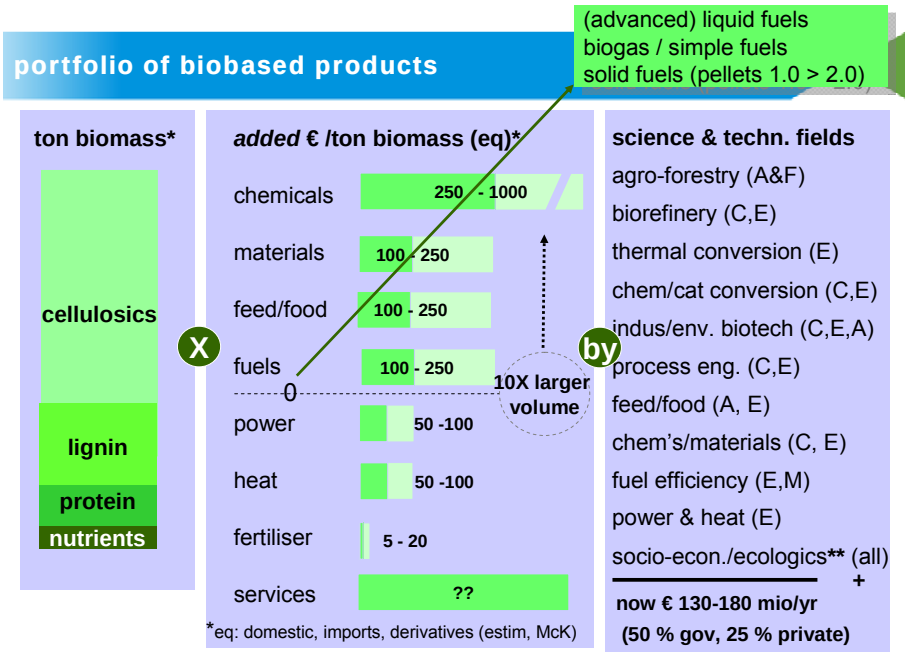
Het wereldverbruik aan biomassa (afgezien van Food&Feed, Constructionwood en Firewood) van 56 EJ wordt voor ongeveer 89% gebruikt voor energiedoeleinden en 11 % voor industriële doeleinden, voornamelijk paper & pulp. Tot 2030 verwacht het IEA[1] een groei van het verbruik voor energiedoeleinden van fossiele en biobased grondstoffen met respectievelijk 120 EJ (van 420 EJ → 540 EJ), en 16 EJ (van 56 EJ →72 EJ), terwijl het de groei van overige duurzame bronnen op ca. 30 EJ (van 38 naar 67 EJ in 2030) schat. Kortom, "Biobased" is de sleutel tot de Cleantech Development.

In de Macro-economische Verkenning van de Impact van de Biobased Economy voor Nederland van 2008-9, en de daaraan voorafgaande rapporten van het Platform Groene Grondstoffen is veel aandacht geschonken aan de kwantitatieve voorspelling en samenhang van economische en klimaateffecten. Vier scenario's zijn bekeken waarvan de extremen het LowTech-Nationale scenario en het HighTech-Internationale scenario waren.

Bij het eerste scenario werd ingezet op beschikbare technologieën (met name voor elektriciteitsopwekking en eerste generatie biofuels) en grondstoffen van eigen of Europese bodem. In het HighTech-Internationale scenario wordt het biobased grondstofpotentieel verruimd door importen van (voorbewerkte of geraffineerde) lignocellulose biomassa dat verder wordt omgezet via nieuw te ontwikkelen conversietechnologieën tot hoogwaardige chemicaliën, bouwstenen voor materialen en advanced biofuels, en waarbij elektriciteit, warmte en simpele biofuels als 'sluitpost' fungeren. Afhankelijk van de ontwikkeling van de

[1] International Energy Agency

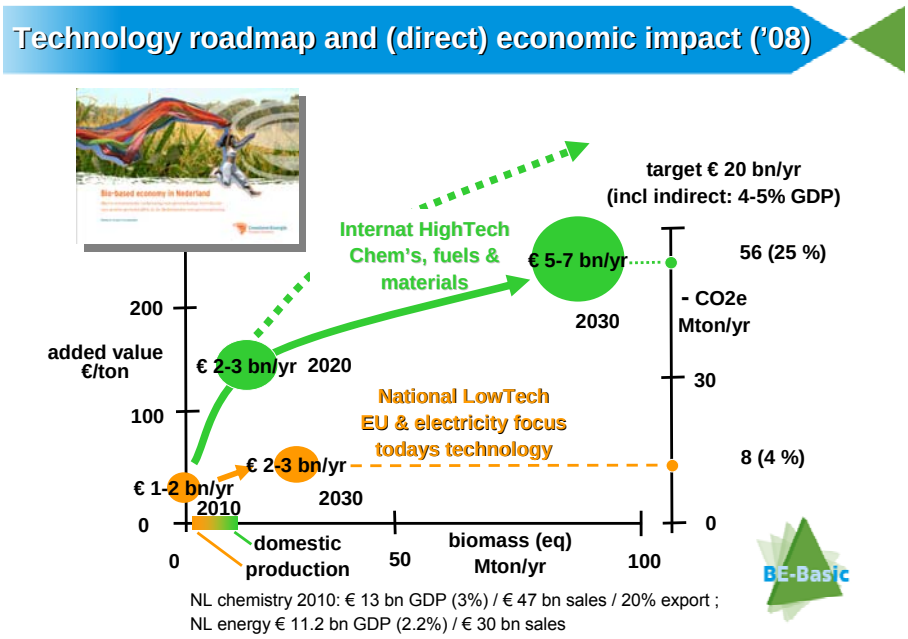
prijzen van ruwe olie en steenkool, zijn de toegevoegde waardes voor de verschillende klassen van biochemicals, biofuels en bioenergy zeer verschillend.



In de figuur zijn die verschillende productcategorieën gerangschikt naar toegevoegde waarde per ton biobased-grondstof. De stippellijn tussen 'fuels' en 'power' geeft aan dat het omslagpunt van onrendabel naar rendabel ruwweg ligt bij de huidige olie-, gas- en kolenprijzen. Tevens is in deze figuur aangegeven welk pakket technologieën ontwikkeld dient te worden om het HighTech- scenario ook mogelijk te maken. Daaraan wordt op dit moment gemiddeld € 130-180 miljoen per jaar uitgegeven, voornamelijk in publiekprivate partnerships zoals BE-Basic/Kluyver Center, CatchBio, ISPT, DPI/BPM, en bij GTI's als ECN, TNO en DLO-instituten met hun industriële partners.

Gegeven de noodzaak van een duurzame energievoorziening met gereduceerde klimaateffecten en ook om duurzame biobased energie (bij- en meestook, biogas, biobrandstoffen) op een concurrerende wijze in de Nederlandse economie te integreren, is de uitdaging aanzienlijk en de noodzaak van verdere, samenhangende wetenschap- en technologieontwikkeling evident.

De scenario's laten geheel verschillende effecten op BNP en op reductie van Green House Gasses (GHG) zien. Onderstaand figuur schetst die verschillen langs een horizontale as van biomassabeschikbaarheid, en een verticale as van gemiddelde toegevoegde waarde van de productmix.



Op de horizontale as is tevens aangegeven hoeveel de in Nederland geteelde biomassa ('domestic production') kan bijdragen aan de realisatie van deze scenario's. Die bijdrage varieert tussen de circa 10 (LowTech) en 20 (HighTech) miljoen ton op jaarbasis. Het is duidelijk dat substantiële biomassa-importen nodig zijn zowel voor een significante BNP bijdrage (€ 2-3 miljard voor LowTech, en € 5-7 miljard voor HighTech), als voor een belangrijke GHG-emissiereductie (tot circa 25% in het HighTech-International Scenario).

Dit moet worden gezien in het perspectief van de huidige € 13 miljard (3%) en € 11.2 miljard (2.2%) die de Chemie- (sales €47 miljard) en Energie(sales 41 miljard) sectoren nu aan het BNP bijdragen. In de High-Level Stuurgroep BBE is tevens gekeken naar mogelijkheden om het BBE-effect verder te verhogen tot circa € 20 miljard per jaar door: ontwikkeling van een wereldwijde biobased service sector, co-development met in Nederland ontwikkelde technologie in biomassarijke landen in Zuidoost Azië en Zuid-Amerika, internationale co-investments en effecten van de Duitse, Franse en Belgische chemische en energie-industrie die op biorenewables aan het omschakelen is.

Cruciale rol voor integratie van duurzame bio-energie en biochemie.

Bio-energie speelt een sleutelrol als:
(1) aanjager / mobilisator van biomassastromen,
(2) integraal onderdeel van biocascadering en bioraffinageconcepten,
(3) parallelle inzet, waarbij de massastromen in de energiesector tenminste een orde groter zijn dan in de chemiesector.
Op dit moment is grootschalige inzet van biomassa met name in de elektriciteit- (en warmte-)sector technisch al goed mogelijk maar tengevolge van de heersende fossiele en biomassa prijzen (~ € 5/GJ of € 75/ton) zonder subsidie niet economisch rendabel. Daarom is de ontwikkeling van cascadering en bioraffinage noodzakelijk om tot economisch rendabele systemen te komen. Met de verdere integratie met hoogwaardiger toepassingen (waarschijnlijk eerst transportbrandstoffen, gevolgd door chemie en fijnchemie) zal de inzet van biomassa voor energietoepassingen verschuiven naar laagwaardiger biomassastromen (< € 3/GJ of € 45/ton) en bioraffinagereststromen. Hierdoor kan de totale bijdrage aan het Bruto Nationaal Product en aan de GHG-emissiereductie verder groeien.

Biomassamarkt en –logistiek. In technologische zin betekent dit dat biomassa aan de bron opgewerkt dient te worden tot compatibeler halffabricaten. Dat kunnen in eerste instantie meer geconcentreerde bio-energiedragers zijn, maar deze ontwikkeling zal doorgroeien naar verder bewerkte tussenproducten (hydrolysaatsuikers of ethanol, lignine en eiwitten). Voor deze halffabricaten zal zich een commodity markt moeten ontwikkelen. Ze moeten zich ook zoveel mogelijk in bestaande logistieke systemen en conversieprocessen voegen. Hiermee ontstaat de noodzakelijke ontkoppeling van het seizoenfluctuerende biomassa-aanbod en gebruik in plaats, tijd en schaalgrootte. Gegeven de noodzaak tot biomassa-importen betekent dit dat internationale samenwerking met betrekking tot technologie-(co-)ontwikkeling, -toepassing en ook co-investment een belangrijke randvoorwaarde is voor een succesvolle biobased ontwikkeling.

Duurzaamheid in dit geheel is een keiharde randvoorwaarde voor de voortgang, zowel met betrekking tot de chemische als de energetische inzet van biomassa. Daarom heeft de energiesector meegewerkt aan de NTA8080 en is vertegenwoordigd in de Commissie Corbey. De Europese energiesector zou graag zien dat er bindende Europese criteria worden vastgelegd, gebaseerd op de REDD/NTA8080. De chemiesector heeft zich op dit moment nog nauwelijks over dergelijke criteria gebogen. Vanwege de afwezigheid van bindende criteria heeft Essent, om de duurzaamheid van de "groene stroom" te garanderen, in 2002 het Green Gold Label ontwikkeld, dat kijkt naar de gehele biomassaketen[2]. Verder hebben zes grote energiebedrijven de krachten gebundeld in het International Woodpellets Buyers Platform (IWBP).
De eerste stappen zijn dus gezet, maar er is een dringende behoefte tot verder wetenschappelijk inzicht in duurzaamheidcriteria, koppeling met (indirecte) verandering in landgebruik, grootschaligheid versus distributed manufacturing, macro-economische effecten, biodiversiteit en watergebruik, inkomensverdeling en andere sociale aspecten. Dergelijke maatschappelijke effecten zijn apart geadresseerd in het betreffende workpackage.

Conclusies:
1. Een sterke internationale oriëntatie is cruciaal voor een succesvolle ontwikkeling van biobased energie en chemie, gegeven de open Nederlandse economie. In feite betekent dit een flinke uitbreiding ten opzichte van de biomassa-importen voor food en feed van dit moment (circa 40 miljoen ton op jaarbasis).
2. Internationale aanvoer en dus marktontwikkeling van duurzame en voorbewerkte biomassahalffabricaten als houtpellets of andere vaste, gestabiliseerde biobrandstofvormen, maar ook ethanol, hydrolysaatsuikers, lignine, eiwitten is eveneens van doorslaggevend belang.
3. Technologieontwikkeling is noodzaak om hoge toegevoegde waardeproducten als chemicaliën, materialen en (advanced) biofuels, kosteneffectief en concurrerend te produceren; voor robuuste, kostenefficiënte bio-energietoepassingen moet dat zoveel mogelijk geschieden uit reststromen uit de (constructie) houtindustrie, de papier- en pulpindustrie en uit agrarische reststromen.
4. De markt voor hoogwaardige chemische en andere toepassingen is relatief beperkt in volume (niet in waarde) en daarom zal “bio-based” vanuit een klimaatoptiek bijdragen aan de overall duurzaamheiddoelstellingen zowel via de energiesector als via zich nog te ontwikkelen (constructie/bouw) materialen zoals composieten en biocement.

Mogelijkheden voor grote industriële spelers

Recentelijk heeft de Werkgroep Groene Chemie van het Rotterdamse Climate Initiative een rondgang gemaakt bij de grote industriële spelers op het gebied van chemie, elektriciteit, transportbrandstoffen en agro-food-processing. De weerslag daarvan, zoals gepresenteerd op 1 november in World Port Center te Rotterdam, geeft in geclusterde vorm een goed overzicht van concrete mogelijkheden voor grote industriële spelers (zie onderstaande tabel). Ook de Green Chemistry Campus in Bergen op Zoom en PlantOne als de Centers of

[2] Wereldwijde systemen als FSC, PEFC, SFI bosbouw en CSA, zijn binnen GGL geaccepteerde systemen.

Open Chemical Innovation (COCI) hebben marktstudies en –verkenningen uitgevoerd. Vooral het middensegment van de waardepiramide, met vergroening van de transportbrandstoffen als chemische bouwstenen voor polymeren op basis van groene grondstoffen, is bijzonder interessant.

	Cluster	**Voorbeelden**
1	Integratie van Energie en Chemie	Pellets 2.0, HCH-lignine, ethanol/methanol feedstocks
2	CO2 als grondstof	e-HCOOH, alifatisch CO2, supercritical CO2,…
3	Agro-food residuen als grondstof	eiwitten /nutriënten uit sojaschroot, ethanol uit DDGS,
4	Bijproducten biofuels als grondstof	glycerol, biopropaan, vrije vetzuren, ..
5	Advanced Biofuels	BioJet, 2nd generatie biodiesel, …
6	Drop-in Biochemicals	aromaten als xyleen /fenol / terephtalate, etheen, isobuteen, VC, acrylzuur, DMPA
7	Advanced Bioplastics/chemicals	lactate, succinaat, poly-olen, levulinezuur, performance chemicals (vlamvertragers, UV stabilisatoren, antioxidanten, release agents) , …
8	Bioconstruction materials	biogrout, biosealing, biopeat, en anderen
9	(Unconventional) biogas	advanced biogas under extreme conditions, ..
10	Waste-to-wealth	vetzuren, bioplastics, anderen

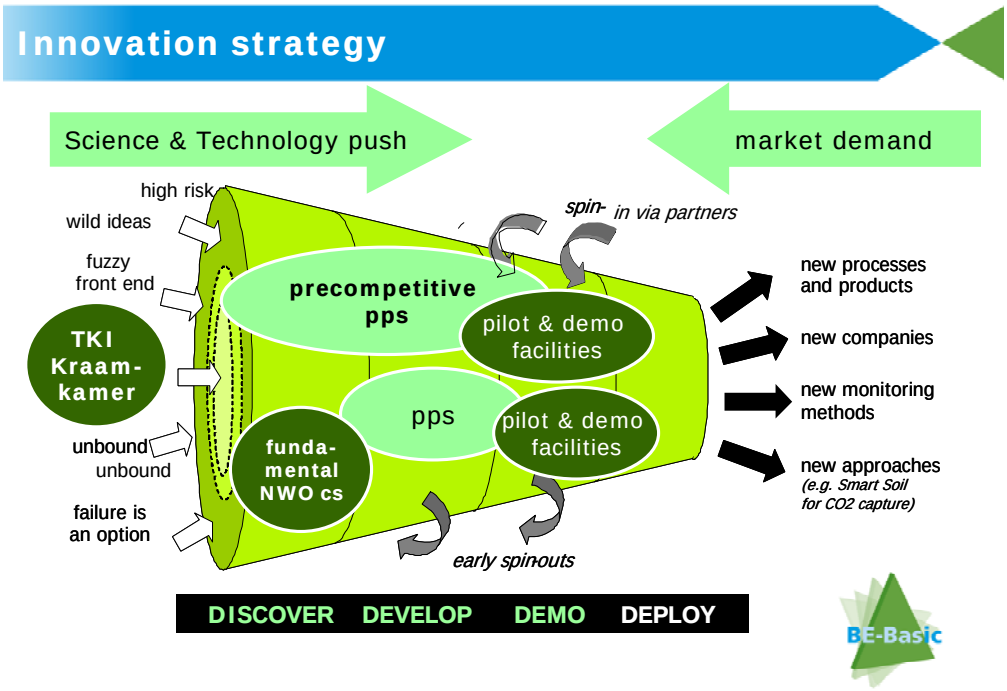
Bovenstaande lijst is niet uitputtend, maar bevat wel de hoofdcategorieën. Van elk high-level cluster is een factsheet met een aantal specifieke cases beschikbaar, waarbij een eerste inventarisatie van de bottlenecks (technologisch, regelgeving, marktontwikkeling, risico) al tijdens de bijeenkomst van 1 november is gedaan. Deze initiële lijst van (clusters van) business cases is bevestigd op de breder ingestoken bijeenkomst van 18 november in Utrecht en met name gericht op vraagstelling vanuit het MKB. Daar is echter wel een andere nadruk gelegd op de manier waarop MKB betrokken kan en moet worden in de Bio-energie en Biochemicals sector.

Sleutelrol voor publiekprivate partnerships: van laboratoriumtafel-tot-pilot plant.

De energie- en chemiesectoren zijn zeer kapitaalsintensief: commerciële productie-installaties vragen investeringen veelal tussen de 100 miljoen en één miljard euro, en soms zelfs nog meer. Om het risico van dergelijke investeringen goed in de hand te houden zijn grote R&D programma's, maar ook grootschalige experimenten (piloting), nodig met installaties die 1-10% van de uiteindelijke productiecapaciteit bedragen (en dus circa 10-100 miljoen euro kosten). Gebruik van grootschalige bio-energie en biobased grondstoffen vraagt dus naast R&D-programma's ook om een kapitaalintensieve piloting omgeving.

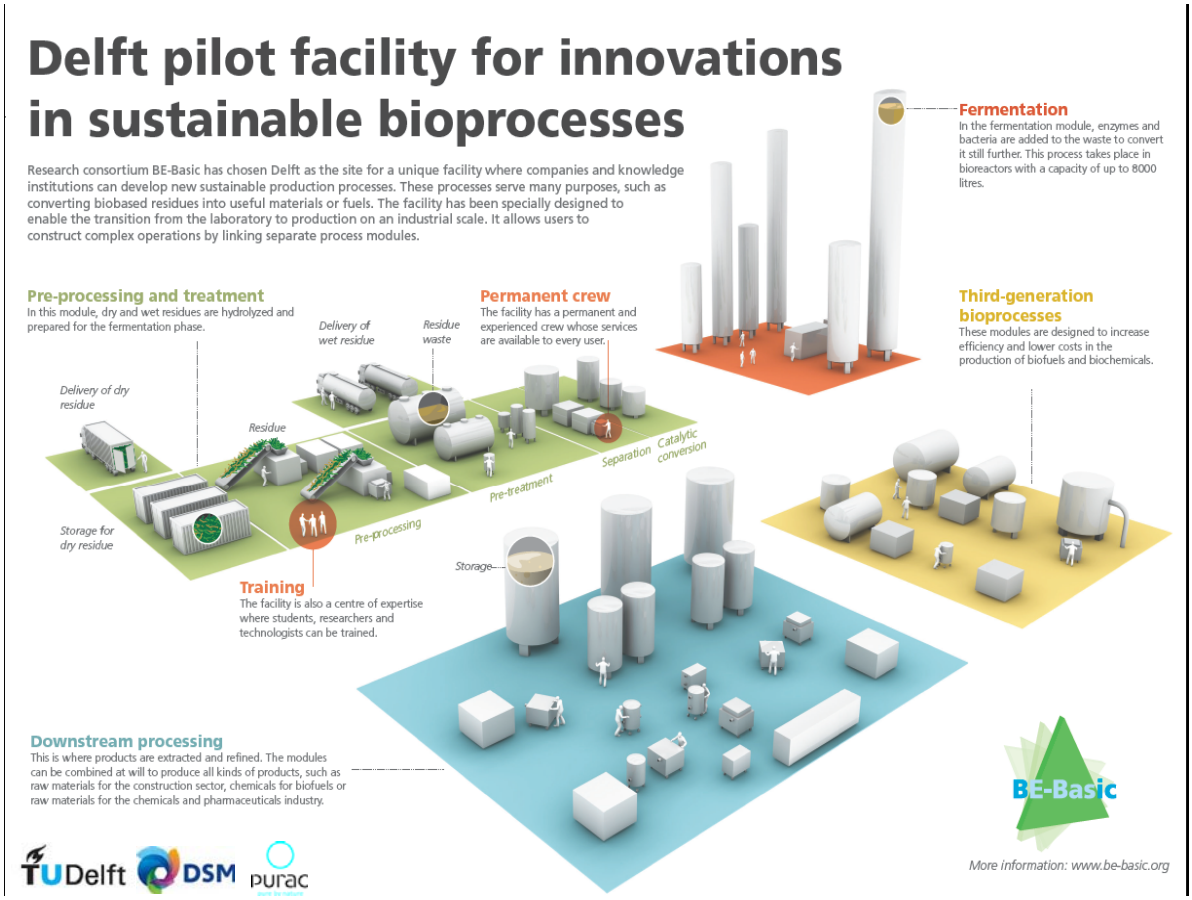
Publiekprivate partnerships brengen daarbij dus niet alleen de noodzakelijke (multidisciplinaire) expertises voor zinvolle R&D samen, maar strekken zich dus nu ook noodzakelijkerwijze verder uit naar de plotomgeving voor kosten- en risicodeling.

Aan de fundamentele en 'ontdekkings' (= linker) kant van de 'innovation funnel' speelt de onderzoeksprogrammering van NWO and FOM een belangrijke rol, evenals consortia zoals destijds onder de vlag van NGI, waar de grootschaliger vragen op het gebied van genomics en synthetische biologie worden onderzocht. Deze 'kraamkamer' van nieuwe ideeën is binnen IC Chemie tot TKI-Kraamkamer geformuleerd om aan te geven dat wetenschap een dynamisch bedrijf is dat tot vele goede, zowel toegepaste als minder toegepaste, ideeën kan leiden. Het innovatiesysteem voor 'biobased' beslaat de gehele innovatieketen, zoals hieronder weergegeven, inclusief spin-outs, mergers en joint ventures.



Afhankelijk van de staat van ontwikkeling en marktpositie (halffabricaat, monomeren, finished product) van de betrokken onderneming(en) en de beschikbare feedstocks kunnen een of meer van de publiekprivate samenwerkingen BE-Basic (inclusief Kluyver Center), CatchBio, ISPT, of DPI/BPM en kennisinstellingen als ECN en DLO assisteren in de precompetitieve kennis en technologieontwikkeling. Voor de biotechnologische en chemische sector bestaan al nationale pilotfaciliteiten (Bioprocess Pilot Facility in Delft, Plant One in Port of Rotterdam, BAC in Naarden, Proeffabriek in Gent) die voor industrieel onderzoek beschikbaar zijn.

Nu echter ook de energiesector (fuels, elektriciteit) de stap naar verdere vergroening zet, dienen aanvullende faciliteiten te worden opgezet. De industrie maakt nu – ten tijde van het Topsectorenbeleid - een aanzet en heeft aanzienlijke middelen uitgetrokken voor dergelijke nationale pilots. Ondersteuning van de *first-movers* versnelt die ontwikkeling en helpt zowel de economische als klimaatdoelstellingen binnen de beoogde kaders (2020) ook daadwerkelijk in zicht te brengen. Daarom hebben TKI Biobased/BioEnergie en de bijbehorende Innovatiecontracten veel oog voor opname van deze cruciale en beslissende grootschalige installaties als integraal onderdeel van de experimentele infrastructuur. (Zie de sectie Grootschalige Nederlandse Faciliteiten voor een nadere detaillering van deze faciliteiten en hun R&D&I programmering).



De Bioprocess Pilot Facility in Delft

Mogelijkheden voor MKB

De veranderingen in de markt als gevolg van de (gedeeltelijke) overgang van een fossiele grondstofbasis naar een hernieuwbare groene grondstofbasis zullen naar verwachting radicaal zijn en veelomvattend en leveren tal van kansen voor het MKB voor toekomstige marktimplementatie en vermarkting van biobased economy-gebaseerde oplossingen (producten, knowhow, technologieën), met een veel beter duurzaamheidprofiel dan de huidige fossiele grondstofgebaseerde aanpak. Deze marktkansen sluiten goed aan op de economische en maatschappelijke innovatiebehoeften, waarbij uiteraard voldoende uitdagingen aanwezig zijn om biobased economy oplossingen niet alleen meer maatschappelijk verantwoord, maar ook economisch haalbaar uit te voeren. Diverse MKB bedrijven binnen e.g. BE-Basic/ Kluyver centrum, BPF, TIFN, W2R, richten zich al sinds enige tijd op verwerking van duurzame biomassa tot biobased producten (chemical building blocks, biobrandstoffen, diverse verwerkingstechnieken van biomassa) en op het evalueren van de veiligheid, duurzaamheid, vermindering van ecologische impact en verbetering van nutriëntcycli, en de daarmee gepaard gaande verbetering van bodemkwaliteit, noodzakelijk voor een continue hoge biomassa productiviteit. In die zin sluiten de innovatiebehoeften goed aan op de milestrone als beschreven in “een punt op de horizon’.

Een (gedeeltelijke) overgang naar biobased economy oplossingen vergt overigens wel aanzienlijke inspanningen in fundamenteel onderzoek en voor wat het MKB betreft aanzienlijke investeringen in innovatie en valorisatie van de hiervoor benodigde nieuwe technologieën, producten en expertiseopbouw (recruitment van goed getrainde HBO-ers, ingenieurs en academici) om deze radicale vernieuwingen ook daadwerkelijk te kunnen uitrollen in de richting van de markt.

KI-MKB. Binnen het MKB zijn het sinds lange tijd de grotere, gevestigde bedrijven, die zich vooral bezig houden met het vervaardigen van hoogwaardig technologische producten en die hun innovatiebehoefte niet zelf uitvoeren, maar voornamelijk “inkopen” via kennisinstellingen en TNO. Anderzijds bestaat er sinds de jaren negentig een groeiende groep van, over het algemeen kleinere en jongere, kennisintensieve MKB (KI-MKB) bedrijven, vaak spin-outs van universiteiten en kennisinstellingen, die hoofdzakelijk bezig zijn met innoveren, i.e. het ontwikkelen van nieuwe technologieën en toepassingsmogelijkheden ten behoeve van henzelf en/of van gevestigde MKB bedrijven en grotere industriële partijen. Voor beide categorieën MKB bestaan grote marktkansen, zowel nationaal als internationaal. Er zijn wel verschillen voor wat betreft de timing van absorptie van nieuwe technologieën en het uitrollen richting de markt, en voor wat betreft de financieringsbehoefte en mogelijkheden.

De KI-MKB bedrijven kennen een snelle absorptie van nieuwe vindingen vanuit universiteiten en kennisinstellingen, waarbij ze opties voor innovatietrajecten in hoog tempo toetsen op technische en marktspecifieke haalbaarheid. Deze KI-MKB bedrijven gedijen het beste binnen een omgeving van publiekprivate samenwerking en vervullen een essentiële rol in het op efficiënte wijze vertalen van wetenschappelijke vindingen naar marktproducten. De inrichting van partijen binnen de PPSen zou idealiter zo moeten zijn dat er een efficiënte overdracht is van de wetenschappelijke vinding (via een of meer KI-MKB bedrijven) naar een industriële marktpartij (grotere industrie en gevestigde MKB). Binnen diverse PPSen in Biochemicals en Bioenergy bestaat een dergelijke inrichting al, bijvoorbeeld in BE-Basic.

De snelle absorptie van vindingen richting innovatie kan alleen maar effectief plaatsvinden als er voldoende financieringsmogelijkheden zijn voor deze KI-MKB bedrijven, want in veel gevallen is de eigen vermogenspositie en de winstgevendheid van KI-MKBs nog verre van voldoende om deze hoog risicoactiviteiten zelfstandig te kunnen financieren. In het huidige klimaat van PPSen is het voor KI-MKB ook mogelijk om tenminste gedeeltelijke subsidies te verkrijgen voor deze innovatieactiviteiten. Dit lijkt in de huidige voorstellen voor financiering (RDA, RDA+) van het Topsectorbeleid onderzoek & innovatie niet meer mogelijk. Immers deze fiscale instrumenten werken alleen als een bedrijf flink winstgevend is en dat is vrijwel niet het geval bij KI-MKB bedrijven. Verder zijn de externe financieringsmogelijkheden via banken, (in)formal investors, capital investors voor het KI-MKB beperkt, vanwege de over het algemeen geringe vermogenspositie en de op kortere termijn (5 jaar) lage winstgevendheid van nieuwe innovatieve biobased technologieën. Een oplossing voor de financiering van KI-MKB bedrijven is dan ook zeer urgent. Zonder die oplossing dreigt het KI-MKB buitenboord te vallen en verdwijnt er een cruciale partij uit het innovatietraject.

De gevestigde MKB bedrijven tonen over het algemeen niet de neiging om snel in te willen stappen op nieuwe, innovatieve technologieën waarvan de technische en markthaalbaarheid nog niet voldoende is aangetoond. De gevestigde MKB zal over het algemeen pas op een wat langere termijn (3-5 jaar) na een nieuwe vinding/innovatie instappen. Echter, er bestaat al een relatief groot aantal innovaties als product uit eerdere innovatieprogramma’s, waarvan de technologische haalbaarheid redelijk ver is uitgetest. Dit is de categorie productinnovaties die naar alle waarschijnlijkheid snel kan worden geabsorbeerd door de gevestigde MKB, mits er voldoende marktperspectief bestaat. Het is daarom van groot belang om het potentieel aan ‘op de plank liggende’ vindingen/technologieën uit eerdere stimuleringsprogramma’s in kaart te brengen en de gevestigde MKB bedrijven hiermee te confronteren, zodat men op korte termijn (binnen een jaar) al kan starten met het uitrollen van de voorraad al bestaande vindingen/technologieën. Het gevestigde MKB heeft over het algemeen niet de neiging om zelf voluit in innovatieontwikkelingen te stappen, maar deze ‘in te kopen’ en te laten uittesten via kennisinstellingen/TNO. De financieringsmogelijkheden voor gevestigd MKB zijn ruimer voorhanden, vanwege de betere eigen vermogenspositie, de winstgevendheid en de uitrol van ‘close-to-market’ technologieën. Voor deze categorie bedrijven kan de RDA/RDA+ regeling mogelijk wel werkbaar zijn.

Van agenda naar programma
Wat is de inhoudelijke onderzoek- en innovatieagenda op de as van fundamenteel, toegepast onderzoek en valorisatie?

Het referentiekader

De tijdige en efficiënte overgang naar het gebruik van hernieuwbare grondstoffen, zoals biomassa, biedt voor de chemie- en energiesectoren grote kansen. Essentieel voor de economische haalbaarheid van het gebruik van groene grondstoffen is dat de verschillende componenten, die aanwezig zijn in de biomassa, maximaal benut worden voor omzetting in hoogwaardige producten: bulkchemicaliën en building blocks, fijnchemicaliën en farmaceutica, en voor de productie van energiedragers. Uitgangspunt voor deze omzettingen is een efficiënte, duurzame en economisch rendabele cascadering: fijnchemicaliën /farmaceutica →bulk chemicaliën → biofuels → energie (elektriciteit/warmte). Voor de productie van energiedragers is het duidelijk dat er een herkenbaar sterke interactie bestaat tussen de productiemethodes voor bio-energie en bio-chemicaliën. De processen voor deze omzettingen dienen aan een aantal eisen te voldoen:

- Grondstofefficiënt: de biomassa is volledig te gebruiken, er zijn weinig of geen afvalstromen, de biomassa die gebruikt wordt is niet in concurrentie met de voedselproductie en moet geproduceerd zijn op basis van verantwoord land- en watergebruik;
- Energie-efficiënt: processen vinden bij voorkeur plaats onder milde omstandigheden, met minimaal gebruik van energie en minimaal verlies van warmte;
- Hulpstofefficiënt: materialen die nodig zijn voor de processen zoals katalysatoren of enzymen zijn duurzaam geproduceerd, m.a.w. ze bevatten geen schaarse elementen, zoals bv. edelmetalen en zeldzame aardmetalen.

Daarnaast is het op de korte termijn voor een soepele overgang naar hernieuwbare grondstoffen van belang dat:
- Biobased halffabricaten en producten worden toegepast ('drop-in') in de huidige (productie- en transport) infrastructuur van de chemische en raffinage-industrie waardoor veel lagere investeringen nodig zijn voor de implementatie van de biobased routes.

Milestones
In het businessplan 'Een punt op de Horizon' worden onder andere de volgende mijlpalen op het gebied van de chemie en energie geïdentificeerd:

2015-2025	Biomassagebruik in energiesector consolideren. Vergroting biogasproductie en gebruik. Gebruik lokale en overzeese biomassa in kolencentrales <€ 5/GJ. (2e generatie) biobrandstoffen in petrochemische structuur en grote volumes biobasis building blocks productie, zoals bio-ethylene en biobutadiene. Nederland heeft een zeer sterke sector van bulk- en fijnchemie met grote bedrijven, zoals Dow Chemical, DSM, SABIC en Shell, met daarnaast ook een groot aantal MKB bedrijven, zoals Avantium. Deze bedrijfstak maakt nu nog hoofdzakelijk gebruik van fossiele grondstoffen.
2015-2040	Volledig benutten van katalyse, enzymen, fermentatie en doorgroei van basis biobased chemie voor building blocks; integratie van productie van energie en platformchemicaliën op lokale (rest) stromen. Commodity grondstoffen met goede beschikbaarheid en constante prijs voor energie, fuels en chemie
2020-2050	Bioraffinage; benutten van alle aanwezige complexiteit en verder ontwikkelen van ingeslagen weg; integratie van grootschalige productie van food, feed, fuel, energie en platformchemicaliën uit lokale of geïmporteerde biomassa.

Biotechnologische, Chemo-katalytische en Thermochemische conversies leveren de gereedschapskist

Biomassa is om te zetten via verschillende processen: met behulp van biokatalyse/fermentatie, via chemo-katalytische routes en via thermochemische processen. Welke technologie wint is op dit moment nog onzeker. Hoogstwaarschijnlijk zal er een bioraffinaderij ontstaan die bestaat uit verschillende modules, waarbij afhankelijk van de grondstoftoevoer, diverse biotechnologische, chemo-katalytische en thermochemische technologieën in cascade zijn toe te passen. Naast deze integratie van technologieën op procesniveau (met aandacht voor de efficiënte omzetting van bijproductstromen), is ook een integratie op reactorniveau van belang om de sterktes van de verschillende technologieën die tot onze beschikking staan ten volste te benutten.

Technologische knelpunten in een geïntegreerde bioraffinaderij voor de productie van chemicaliën en brandstoffen

Het huidige chemisch industriële complex is de afgelopen 60 jaar geëvolueerd tot een uiterst geïntegreerd systeem voor de verwerking en omzetting van fossiele brandstoffen tot een heel scala aan chemicaliën en brandstoffen. Dit heeft geleid tot een complexe infrastructuur waarin optimaal gebruik wordt gemaakt van de fossiele grondstof Geen druppel aardolie wordt verspild, processen zijn op een energie-efficiënte manier aan elkaar gekoppeld en de relatieve samenstelling van het productpalet kan worden aangepast aan de vraag van de markt. Biobased chemicaliën en energiedragers zullen moeten kunnen concurreren met dit huidige efficiënte productieproces. Om de potentie van biomassa voor de duurzame productie van chemicaliën en energiedragers te verwezenlijken, moet er dus een gelijkwaardig energie- en grondstofgeïntegreerd systeem worden ontwikkeld.

Daarbij heeft het grote voordelen als gebruik kan worden gemaakt van de huidige voor de petrochemie gebouwde infrastructuur. Net zoals in de petrochemische raffinaderij zullen er even effectieve processen en katalysatoren moeten worden ontwikkeld voor de omzetting van alle fracties van de biomassastroom om tot eenzelfde palet aan eindproducten te komen. De grootste horde voor de realisatie van zo'n bioraffinaderij voert voornamelijk terug op het verschil in chemische structuur tussen fossiele grondstoffen en (lignocellulosische) biomassa. Waar de huidige processen en katalysatoren in de afgelopen 60 jaar zijn ontwikkeld en geoptimaliseerd voor de omzetting van de uiterst apolaire en niet-gefunctionaliseerde koolwaterstoffen, moeten er in het geval van biomassa processen en katalysatoren worden ontwikkeld voor een grondstof met exact de tegenovergestelde eigenschappen, namelijk de zeer polaire en sterk gefunctionaliseerde biopolymeren en hun bouwstenen.

Specifiek 'chemo-katalytische' uitdagingen

Bij chemo-katalytische conversies zijn de volgende technologische knelpunten aan te wijzen die het gebruik op grote schaal van bovengenoemde biomassastromen in de weg staan:

Stabiliteit katalysatoren in de vloeistoffase

Door de wijze van fractioneren van de verschillende componenten van biomassa zullen de verschillende stromen in de bioraffinaderij onvermijdelijk verwerkt moeten worden als waterige of alcoholische oplossingen of suspensies. Hier komt nog bij dat veel van de bouwstenen van biomassa, zoals de suikers en poly-alcoholen, een lage dampspanning of een beperkte stabiliteit hebben en ontleden bij temperaturen lager dan hun kookpunt. Als gevolg zullen veel van de initiële omzettingen plaats moeten hebben in de vloeistoffase. Dit is in sterk contrast met de huidige situatie, waarin de meeste katalytische omzettingen in de petrochemie plaatsvinden in de gasfase. De sterk polaire, corrosieve omstandigheden waaraan een katalysatormateriaal wordt blootgesteld bij een proces in waterig milieu, stellen zware eisen aan de stabiliteit van de katalysator. De huidige generatie katalysatoren is niet of slechts gedeeltelijk bestand tegen dergelijke omstandigheden.

Drop-in greenification

Om te kunnen concurreren met het huidige aanbod van chemicaliën en energiedragers is het zaak om de conversieprocessen van de verschillende biomassastromen zo snel mogelijk aan te laten sluiten op de huidige infrastructuur. We moeten dus zoeken naar routes die leiden tot zogenaamde 'drop-in' replacements. Dit betekent dat de basisbouwstenen die uit de bioraffinaderij komen (link met workpackage Geïntegreerde Bioraffinage) chemisch identiek moeten zijn aan de huidige niet-duurzame brandstoffen en bulkchemicaliën. Op deze manier kan met de huidige industriële infrastructuur het hele scala aan chemicaliën op een duurzame manier worden geproduceerd en kan, in het geval van de vloeibare brandstoffen, ook de hele eindgebruikerinfrastructuur (denk aan opslag, transport van brandstoffen en de huidige motoren) integraal worden gebruikt. Goede voorbeelden van deze aanpak zijn de productie van de bulkchemicaliën bio-ethyleen en biobutadieen uit bio-ethanol, zoals ook de productie van 'drop-in' benzine, diesel en kerosine uit biomassa identiek moet zijn aan de huidige brandstoffen.

Eén blik op de huidige activiteiten in het veld van de katalytische biomassa conversie laat echter zien dat de meeste aandacht uitgaat naar de ontwikkeling van processen voor de omzetting van suikers naar nieuwe basisbouwstenen voor de chemische industrie (zie bijv. Top 10 Chemical Opportunities for Biorefinery Carbohydrates zoals voorgesteld door het Department of Energy), waaruit vervolgens weer routes voor moeten worden ontwikkeld voor verdere valorisatie. Deze nieuwe bouwstenen zullen dan moeten concurreren met huidige, gevestigde processen. Dit is op de korte termijn wellicht ongewenst en zeker moeilijk te realiseren. In dit opzicht, moet er ook aandacht zijn voor het gebrek aan routes voor de duurzame productie van de belangrijke aromatische bulkchemicaliën zoals benzeen, tolueen, xyleen en fenol. De ligninefractie van lignocellulose is een biopolymeer dat voornamelijk uit aromatische bouwstenen bestaat en is dus een uiterst veelbelovende grondstof voor deze aromaten.

Behoud van specifieke functionaliteit en chiraliteit in biomassa

Voor complexere producten biedt biomassaconversie mogelijkheden om eenvoudiger de gewenste complexiteit te verkrijgen. Zo zijn belangrijke fracties van biomassa, de (poly)saccharides, terpenen, aminozuren, niet alleen al sterk gefunctionaliseerd (ook met heteroatomen zoals stikstof en zwavel), maar ook chiraal. De huidige grote uitdagingen om in de fossiele grondstoffen selectief en efficiënt katalytisch heteroatomen, functionele groepen en chiraliteit te introduceren, zouden dan transformeren tot het ontwikkelen van processen gericht op het behoud van de al aanwezige functionaliteit en chiraliteit in biomassa.

Convergentie tot beperkt aantal producten

De chemische complexiteit en heterogeniteit van de verschillende componenten van (lignocellulosische) biomassa heeft wellicht als onvermijdelijk gevolg dat er in eerste instantie bij omzetting een breed scala aan producten zal ontstaan. Scheiden van fracties en isolatie van specifieke componenten uit deze complexe mengsels zal economisch niet aantrekkelijk zijn. Waar ruwe fossiele stromen relatief makkelijk in componenten gescheiden kunnen worden via destillatie zal dit bij biomassastromen minder eenvoudig zijn, gezien de eerder genoemde beperkte dampspanning en thermische instabiliteit van het mengsel. Om toch tot goed gedefinieerde en verder verwerkbare producten te komen is convergentie van het mengsel tot een beperkt aantal producten noodzakelijk. Ook efficiënte chemische en fysische scheidingsprocessen voor ruwe biomassa zijn van belang om tot deze verwerkbare producten te komen (link naar TKI Procestechnologie, onderdeel van topsector Chemie).

Verwerking van alle componenten in biomassa

In de huidige petrochemische raffinaderij gaan we uitermate efficiënt om met de fossiele grondstof. Alle fracties van ruwe olie vinden een toepassing en er wordt in principe geen druppel verspild. Als de bioraffinaderij in de toekomst economisch rendabel en competitief zal willen zijn, dan zal ook de gehele grondstof, alle componenten dus van de aangeleverde biomassa, efficiënt verwerkt moeten worden tot waardevolle eindproducten. De suikerfractie krijgt echter op dit moment de meeste aandacht, voornamelijk als gevolg van de focus op de

productie van bio-ethanol.

De andere componenten in biomassa, denk hier in het bijzonder aan de ligninefractie maar ook aan bijvoorbeeld humines of chitine, zullen echter ook geïntegreerd moeten worden omgezet tot waardevolle producten. Dat kan deels als CO_2-neutrale energievoorziening voor de bioraffinage. De grote volumes tweede en derde generatie biobrandstoffen zullen onvermijdelijk leiden tot grote reststromen en overschotten aan lignine. De complexe en wisselende chemische structuur en de algemene recalcitrantie van lignine (het is immers door de natuur ontwikkeld ter bescherming van de andere biomassacomponenten tegen weer, wind en biologische afbraak) maakt lignine een erg moeilijk te verwerken component binnen de bioraffinaderij. Aan de andere kant, biedt de zeer aromatische structuur erg veel mogelijkheden tot hoogwaardiger toepassingen dan het simpel verbranden van deze component. De enorme hoeveelheden die beschikbaar zullen komen, vragen dus om de ontwikkeling van nieuwe technologie.

Specifiek 'biotechnologische' uitdagingen

Op grond van intensieve consultatie van industriële partners zijn de volgende zeven thema's geselecteerd als speerpunten voor het fundamentele onderzoeksprogramma in BE-Basic:

Begrijpen en verbeteren van de 'core machinery' van industriële micro-organismen.

Door de stormachtige ontwikkelingen in de synthetische biologie is het ontwerpen en implementeren van 'perifere' stofwisselingsroutes voor substraatconsumptie en productvorming in toenemende mate een industriële onderzoeksactiviteit geworden, en in steeds mindere mate een gebied dat grensverleggend fundamenteel onderzoek vereist. Om de hoge opbrengsten en productiesnelheden te realiseren die nodig zijn voor succesvolle, duurzame nieuwe processen, is het essentieel om centrale processen in de cel, zoals energiekoppeling, compartimentering en regulatie, te begrijpen en gericht te kunnen beïnvloeden. Dit industrieel relevante en wetenschappelijk uitdagende onderwerp vereist naast een systeembiologische benadering een investering in methoden voor ingrijpende genetische modificatie van industriële micro-organismen.

Microbiële productvorming onder complexe, industriële condities.

Procesintensificatie en het efficiënt gebruik van complexe mengsubstraten zijn belangrijke vereisten voor economisch en ecologisch duurzame productie van chemicaliën en brandstoffen, evenals voor fermentatieprocessen in de levensmiddelensector. Een kwantitatief, integraal begrip van de manier waarop micro-organismen worden beïnvloed door de dynamische condities in industriële processen is essentieel voor gerichte verbetering van micro-organismen en processen. Door intensieve interactie met het bedrijfsleven en met pilot-schaal onderzoek in de BPF kan een directe koppeling worden gelegd van laboratoriumonderzoek met 'real-life' procescondities. Naast de optimalisatie van bestaande, succesvolle industriële micro-organismen zal onderzoek worden verricht voor de exploratie van natuurlijke biodiversiteit voor relevante micro-organismen en/of genetische informatie.

Evolutionaire strategieën en evolutionaire optimalisatie van industriële micro-organismen.

Verschillende doorbraken in het Kluyver Centre in de periode 2004-2011 zijn gebaseerd op de ontwikkeling van strategieën voor adaptieve evolutie ('evolutionary engineering') om stofwisseling en cellulaire regelprocessen in een industrieel wenselijke richting te 'sturen'. Toekomstig onderzoek zal zich richten op de wetenschappelijke uitdaging om deze krachtige aanpak uit te breiden tot industrieel relevante eigenschappen van micro-organismen die nu nog niet kunnen worden gekoppeld aan een selectiedruk. Voor het ontwerpen en implementeren van robuuste regelcircuits die belangrijke cellulaire eigenschappen koppelen aan groeisnelheid en/of overleving is het nodig systeembiologisch onderzoek te koppelen aan evolutionaire strategieën van synthetische biologie.

Mengpopulaties van micro-organismen en heterogeniteit in monocultures.

Conversie van ruwe, van samenstelling wisselende afvalstromen met behulp van open, niet-gedefinieerde mengcultures, biedt grote kansen voor duurzame productie van (bulk)chemicaliën en brandstoffen. Succesvol ontwerp en implementatie van zulke processen vereist een diepgaand inzicht in de impact van procescondities op de samenstelling en metabole activiteit van mengcultures en van hun onderlinge interacties. Heterogeniteit is ook een belangrijk onderzoeksonderwerp voor productieprocessen die gebaseerd zijn op 'conventionele' monocultures van micro-organismen. Het wordt in toenemende mate duidelijk dat, zelfs in genetisch homogene cultures, de productiviteit van individuele cellen drastisch kan verschillen. Begrip van de onderliggende mechanismen is essentieel om productvorming te verbeteren.

*Synthetische biologie en high-throughput experimentation***.**

Zowel in de industrie als in het academisch onderzoek zijn steeds complexere interventies in het genoom van industriële micro-organismen vereist. Hoewel de natuur een belangrijke bron van inspiratie blijft, zal in toenemende mate gebruik gemaakt worden van synthetische DNA-sequenties, regelcircuits en enzymen. Gericht onderzoek naar niet-natuurlijke enzymactiviteiten die vervolgens tot industrieel relevante niveaus verhoogd worden via protein-engineering, leidt tot mogelijkheden voor productie van waardevolle nieuwe metabolieten. Selectie van optimale sequenties voor complexe interventies, zowel individueel als combinatorieel, vereist bovendien de beschikbaarheid van high-throughput experimentele set-ups (bijvoorbeeld voor parallelle geautomatiseerde constructie van duizenden microbiële stammen). Dit thema richt zich op de ontwikkeling en implementatie van innovatieve en high-throughput methoden voor modificatie en analyse van industriële micro-organismen en enzymen (zie ook het Symbiont-kader achter dit workoackage).

*Bioprocess engineering***.**

Optimale integratie van microbiële productvorming met upstream en downstream processen voor conversie en scheiding is cruciaal. Door het ontdekken en het begrip van tot dusverre onbekende mogelijkheden van micro-organismen en populaties kunnen nu compleet nieuwe procesconcepten worden ontworpen. Voorbeelden zijn te verwachten bij het gebruik van onconventionele substraten zoals biogas en elektriciteit, en het gebruik van micro-organismen onder extreme condities van bijvoorbeeld temperatuur, pH en substraat/product/cel concentratie. Zulke condities kunnen het overall proces drastisch vereenvoudigen, bijvoorbeeld wat betreft watereconomie. Identificatie van de meest kansrijke procesconcepten kan sturend zijn voor de synthetische biologie. Een belangrijke uitdaging op procestechnologisch gebied is het ontwerp van high-throughput, geminiaturiseerde en gecontroleerde kweeksystemen die het mogelijk maken om groei en productvorming van micro-organismen kwantitatief en onder industrieel relevante condities te analyseren en vervolgens te voorspellen. Voor de upstream en downstream stappen is een analoge aanpak nodig. De aansluiting van R&D programmering op de Bioprocess Pilot Facility in Delft is evident (zie de sectie Grootschalige Nederlandse Faciliteiten).

*Society and communication research***.**

Integratie van biotechnologisch onderzoek en maatschappelijke uitdagingen is een belangrijke voorwaarde voor soepele innovatie. Identificatie van sociale behoeften en issues zal worden gecombineerd met onderzoek om deze maatschappelijke uitdagingen te begrijpen en verhelderen. Dit gaat samen met het ontwerpen en evalueren van nieuwe communicatiemethoden om de innovatie optimaal te laten aansluiten bij maatschappelijke uitdagingen. Een duidelijke focus zal zijn gericht op kwantificering van duurzaamheid, het gebruik en de ontwikkeling van criteria en het gebruik van nieuwe onderzoeksbenaderingen zoals synthetische biologie. De resultaten zullen geïmplementeerd worden in 'decision tools' voor beleid en modules voor educatie en activiteiten voor communicatie.

Specifiek 'thermochemische' uitdagingen.

In nauwe interactie met industriële stakeholders zijn de onderstaande thema's als speerpunten geselecteerd. Die worden deels uitgewerkt in R&D programmering (inclusief de onderzoekprogramma's van ECN en DLO met betrekking tot Bio-energie) en deels verder ontwikkeld in de grootschalige nationale faciliteiten,

Van biomassa tot hoogwaardig vast/vloeibaar halffabricaat
Biomassa als duurzame grondstof voor chemicaliën of energieproductie heeft een reeks lastige eigenschappen uit oogpunt van logistiek (transport, op- en overslag) en eindgebruik, zoals lage energiedichtheid, gevoeligheid voor rotting en broei, slechte maalbaarheid en slechte stromingseigenschappen. Het is daarom zeer aantrekkelijk biomassa al aan de bron op te werken tot enkele hoogwaardige halffabricaten waaronder bio-energiedragers die deze lastige eigenschappen niet meer hebben. Basisidee is om biomassa op te werken tot producten die lijken op kolen of olie, waardoor al bestaande infrastructuur en conversietechnologie kan worden toegepast. Bovendien wordt biomassabeschikbaarheid en -gebruik ontkoppeld in tijd, plaats en schaalgrootte en wordt uitgebreide (internationale) handel en transport technisch en economisch haalbaar. Pelletiseren vormt een mogelijke eerste stap, maar er zijn meer geavanceerde opwerkingstechnieken in ontwikkeling, waaronder droge/natte torrefactie, pyrolyse en natuurlijk een portfolio aan bioraffinagemogelijkheden (zie het workpackage Bioraffinage). Nederlandse kennisinstellingen en bedrijven spelen hierin een voortrekkersrol. Verder onderzoek is er op gericht om deze rol te versterken, de toepasbaarheid van de opwerkingstechniek te verbreden en succesvolle marktintroductie mogelijk te maken. Naast bioraffinage betreft dit:

Droge torrefactie

Droge torrefactie is een thermische voorbewerking (200-300 ^{o}C onder zuurstofarme condities) voor relatief droge biomassastromen (<50 gew.% vocht), waarmee in combinatie met een verdichtingtechniek (bijv. pelleteren of briquetteren) een hoogwaardige vaste bio-energiedrager wordt verkregen met een hoge energiedichtheid, die waterresistent en goed maalbaar is. Naast een pioniersrol voor ECN zijn er in Nederland verschillende industriële technologieontwikkelaars (Topell, TorrCoal, Strampoy Green, FoxCoal, Biolake) en loopt Nederland internationaal voorop. De eerste demonstratie-eenheden zijn in de opstartfase, waarbij de nadruk ligt op opwerking van schone houtstromen. Torrefactie kan echter ook een belangrijke rol spelen in de ontsluiting van laagwaardiger biomassastromen voor energieproductie. Er is wereldwijd nu al een grote marktvraag naar meestookbrandstof in kolencentrales, maar droge torrefactie is ook een belangrijke voorbewerkingoptie voor de productie van transportbrandstoffen en chemicaliën via vergassing en voor industriële warmtekrachtinstallaties.

Voor een goede marktintroductie van torrefactiepellets moet onderzoek en ontwikkeling eerst gericht worden op productoptimalisatie (torrefactie in combinatie met verdichten), validatie voor verschillende eindgebruikopties en kostenreductie, gevolgd door productstandaardisatie (commodity). Daarnaast moet onderzoek en ontwikkeling worden gericht op torrefactie van laagwaardiger biomassastromen (reststromen uit de bosbouw, agroresiduen, specifieke afvalstromen) en bioraffinagereststromen (bijv. lignine-rijke stromen), daarbij inspelend op de verwachte (gedeeltelijke) verschuiving in de biomassa-inzet voor energietoepassingen.

Natte torrefactie

Ook voor bepaalde relatief natte biomassastromen (50-80 gew.% vocht) kan opwerking tot een vaste brandstof aantrekkelijk zijn, mits dit met een voldoende energetisch rendement en tegen voldoende lage kosten kan worden gerealiseerd. Het gaat vooral om stromen die zich niet lenen voor bioraffinage of vergisting (bijv. bermgras of lignine-rijke residuen). ECN ontwikkelt, samen met marktpartijen, hiervoor het zgn. TORWASH concept, een slimme combinatie van wassen (alkalichloride verwijderen), drogen en torrefactie. Na succesvolle proof-of-principle tests bevindt de ontwikkeling zich nu in de proof-of-concept fase, met uitgebreide bench-scale testen en de ontwikkeling van een Process Flow Diagram (PFD) van een integraal TORWASH proces (TORWASH geïntegreerd met afvalwaterzuivering). Pilot-schaal beproeving is voorzien als volgende stap, waarvoor nu de industriële consortiumvorming plaatsvindt. Dit moet het proces

gereed maken voor demonstratie vanaf 2016.

Pyrolyse

Pyrolyse is een biomassavoorbewerkingtechnologie (ook opgenomen in workpackage Bioraffinage), die meestal gericht is op de productie van vloeibare bio-energiedragers of halffabricaten. Deze technologie is toe te passen op lignocellulose biomassa, maar pyrolyse is ook een interessante optie voor de opwerking van de lignine rijke fractie van lignocellulose biomassa. De ontwikkeling van directe (flash) pyrolyse op houtachtige biomassa is rijp voor een stap naar doorontwikkeling voor grootschalige toepassing. Er is een publiekprivaat consortium opgericht dat in het kader van het Topsectorbeleid (Topsectoren Energie en Chemie) klaar is voor de volgende stap in investeringen (beschreven in de sectie Grootschalige Nederlandse Faciliteiten).

Door de ontwikkeling van bioraffinaderijen voor lignocellulose zullen ook grote hoeveelheden van lignine rijke stromen vrijkomen. Deze zijn in sommige gevallen direct te verbranden voor warmte/kracht productie, maar op- en overslag, transport en voeding zijn een probleem. De aromatische structuren in lignine bieden bovendien mogelijkheden voor meer hoogwaardige toepassingen ter vervanging van fossiele producten. Door pyrolyse zijn lignine rijke stromen om te zetten in de beter te hanteren halffabricaten, char en lignine-olie. De char is in te zetten om fossiele koolstof te vervangen (bijvoorbeeld als carbon black) en de lignine-olie kan worden ingezet om fossiele aromaten in een veelheid van toepassingen te vervangen (transportbrandstof, chemicaliën en materialen).
Voor de pyrolyse van lignine ontwikkelt ECN het LIBRA proces. Daarvoor worden in samenwerking met de industrie de mogelijkheden bepaald om met de producten van lignine pyrolyse, fossiele producten te vervangen. De volgende stap is het beproeven van het LIBRA proces op pilotschaal.

Low-cost biomassa-upgradingstechnieken

Naast torrefactie en pyrolyse zijn er ook mogelijkheden voor de ontwikkeling van robuuste andere low-cost biomassa-upgradingstechnologieën om de kwaliteit van een grote variëteit aan beschikbare biomassabrand-/grondstoffen in overeenstemming te brengen met de eisen zoals gesteld door de downstream conversietechnologie (overweging is investeren in een robuuste efficiënte low-cost upgradingstechnologie tegenoven investeren in aanpassingen aan uiteindelijke conversietechnologie om de brand-/grondstofflexibiliteit te vergroten). Hierbij wordt bijvoorbeeld gedacht aan gecombineerd mengen en uitwassen al dan niet in combinatie met mineralenrecirculatie. Bij diverse kennisinstellingen zoals DLO en TU Delft wordt hieraan gewerkt, waarbij ook een aantal innovatieve routes worden verkend.

Hoge percentages biomassa mee- en bijstook

De Nederlandse elektriciteitssector loopt mondiaal voorop in de implementatie van mee- en bijstook van biomassa in kolencentrales. Dit heeft ook belangrijke impulsen gegeven aan de ontwikkeling van biomassa-importketens en duurzaamheidcriteria en certificeringsystemen. Mogelijkheden komen nu in zicht om meestookpercentages te verhogen tot 50% en meer in bestaande eenheden (o.a. Amer 8/9 van Essent), waardoor kolencentrales veranderen in hybride eenheden met CO_2-emissies vergelijkbaar met gascentrales. Om tot dergelijke hoge percentages te komen zijn zorgvuldige implementatietrajecten vereist, uit te voeren door de E-sector, met steun van kennisinstellingen. Daarnaast is er bij verschillende E-bedrijven (Essent, Electrabel, EOn) de ambitie om ook in hun nieuwe kolengestookte eenheden het biomassa-aandeel via meestoken geleidelijk tot hoge percentages op te voeren. Door de ontwikkeling van biomassatoepassingen met een hogere toegevoegde waarde (voor (transport)brandstoffen en chemicaliën) zal daarbij de biomassamix geleidelijk moeten verschuiven van houtpellets naar laagwaardiger biomassastromen (zoals agroresiduen). Dit vereist in vele gevallen upstream opwerking (bijvoorbeeld droge/natte torrefactie of pyrolyse) of downstream preprocessing bij de centrale. Dit kan gebeuren in de vorm van bijstook op basis van vergassing, waarbij de schadelijke componenten in de vergasser/gasreiniging worden afgescheiden en het schone productgas van de vergasser in

de kolencentrale wordt bijgestookt. Om deze ontwikkelingen mogelijk te maken is verdere onderzoek en ontwikkeling nodig, waaronder:

- Onderzoek naar de implicaties van hoge meestookpercentages en inzet van niet-houtachtige biomassa op de performance van de verschillende centraleonderdelen
- Ontwikkeling van specifieke gereedschappen/technologie voor voorspelling en monitoring van centralegedrag
- Ontwikkeling van (bijstook)technologie voor inzet van specifieke niet-houtachtige biomassastromen.

Ontwikkeling robuuste conversietechnologieën

Decentrale warmtekracht eenheden maken het mogelijk biomassa te benutten met een hoog energetisch rendement (80-85%) voor energieopwekking. De huidige biomassaconversiesystemen op basis van verbranding of vergassing hebben echter vaak een nauw bedrijfsvenster voor het type te gebruiken biomassa. Het is noodzakelijk om het biomassa-benuttingsvenster van bestaande systemen door technologische innovaties te vergroten (Grootschalige Nederlandse Faciliteit). Daarnaast liggen er mogelijkheden voor ontwikkeling van verbeterde, robuustere technologie. Nederland beschikt over industrie (E-sector en (MKB), maakindustrie zoals HoSt) en kennisinstellingen die in nauwe samenwerking tot nieuwe technologieconcepten kunnen komen welke wereldwijde toepassing kunnen vinden. Het Platform Bio-energie, als brancheorganisatie van bedrijven die actief betrokken zijn bij de productie van bio-energie, en de daarbij aangesloten leden, kunnen een belangrijke rol spelen in de vraagsturing.

Biomassavergisting en vergassing voor de productie van Groen Gas

Nederland heeft een sterke gasinfrastructuur en Nederlandse bedrijven hebben een sterke positie op de internationale gasmarkt. Groen Gas is een belangrijke duurzame energieoptie waarmee we deze positie kunnen bestendigen en uitgebouwen. Groen Gas draagt bij aan het rijksbeleid om Nederland te positioneren als de Gasrotonde van (Noordwest-) Europa. Dit maakt Groen Gas een belangrijke schakel in de totstandkoming van een biobased economy.

Voor de productie van Groen Gas zijn er twee hoofdroutes te onderscheiden: relatief kleinschalig via vergisting en op grotere schaal via vergassing. Voor Groen Gas via vergisting is marktintroductie aan de gang, terwijl voor Groen Gas via vergassing eerste demonstratieprojecten worden ontwikkeld.

De Groen Gasoptie zal uitgebreid worden geadresseerd binnen de Innovatietafel “Gas”, binnen het Topgebied Energie. In dit overzicht wordt daarom geen verdere uitwerking opgenomen en daar naar verwezen.

Productie van geavanceerde transportbrandstoffen

Zoals eerder besproken, wordt samen met in Nederland gevestigde industriële stakeholders (BioMcN, DSM, Purac, Nedalco/Cargill, Shell, Hygear, Avantium, Abengoa, NesteOil, KLM, BIRD Engineering, Abengoa, en anderen ...) gewerkt aan technologieontwikkelingtrajecten (lab-pilot-demo) om de implementatie van geavanceerde biofuels (zoals methanol, ethanol, butanol, YXY, BtL, H_2) voor transport- en andere doeleinden te bespoedigen. De meeste routes zijn biotechnologisch (BE-Basic) en chemo-katalytisch (Catchbio) van aard. Verschillende routes zijn te bewandelen, zowel de thermochemische als de biochemische. In extreme vorm wordt bij veel thermische routes de biomassa via vergassing eerst afgebroken tot de basisbouwstenen CO en H2, waarmee vervolgens via (bestaande) katalytische processen de chemische structuur weer wordt opgebouwd tot de gewenste producten.

Bij biochemische processen wordt veelal getracht direct functionele componenten van de biomassa af te scheiden middels bioraffinage (zie workpackage Bioraffinage). Ontwikkeling van beide routes is uitermate relevant. Nadruk dient te liggen op biomassastromen, waarmee directe concurrentie met de voedsel- en veevoedervoorziening (food en feed) wordt voorkomen. De aandacht gaat vooral uit naar lignocellulose-biomassastromen en (voor de lange termijn) mogelijk naar aquatische biomassa.

Nederland heeft een sterke kennisbasis om deze knelpunten op te lossen.

BE-Basic. Nederland beschikt over een uitmuntende kennisbasis om deze knelpunten op te lossen. BE-Basic en voorganger B-Basic, Ecogenomics Cluster en het Kluyver Center zijn publiekprivate samenwerkingsprogramma's die zich richten op de biotechnologische en biokatalytische routes. Deze centra en de onderliggende academische onderzoeksgroepen zijn meermalen geëvalueerd door internationale peer review commissies (oa VSNU en NGI visitaties) en komen keer-op-keer als behorend tot de absolute wereldtop te voorschijn. Deze succesvolle initiatieven hebben hun krachten in toenemende mate gebundeld, en komen nu als een competitief BE-Basic naar voren, klaar om als leidend Europees instituut op te treden op het gebied van de industriële en de milieubiotechnologie. Het publiekprivate model en de combinatie voor industriële toepasbaarheid en grensverleggende wetenschap worden gezien als de 'bestpractices' en dienen als rolmodel voor vergelijkbare wereldwijde initiatieven zoals het BIOEN programma en het federale Bioethanol Science and Technology Center CTBE in Brazilie, het Oil Palm Biomass Center in Maleisië, de DoE-centra in de VS, het Energy Bioscience Instituut in Berkeley, CA, en anderen.

CatchBio. Het publiekprivate consortium CatchBio richt zich op de chemo-katalytische routes. De laatste jaren hebben groepen binnen de Nationale onderzoeksschool NIOK, Nederlands Instituut voor Onderzoek in de Katalyse, veel kennis en kunde opgebouwd op het gebied van zowel de analytiek als het uitvoeren en begrijpen van chemo-katalytische processen. Kennis van homogene en heterogene katalyse is hierbij essentieel. De internationaal vermaarde positie van katalyse van de laatste decennia, zoals gebleken uit de afgelopen landelijke onderzoeksvisitaties, alsook de toekenning van de Toponderzoekschool NRSC-C, plaatst de Nederlandse katalyse in een unieke positie om vraagstukken rond de duurzame productie van biochemicals succesvol aan te pakken. Daarnaast bestaat er ook een historisch sterke band tussen de NIOK-onderzoeksgroepen en de chemische bedrijven. Getuige hiervan is de jarenlange samenwerking tussen NIOK en zijn industriële adviesraad, VIRAN, waar niet enkel chemische bedrijven in Nederland, zoals Shell, DSM, Dow Chemical en SABIC, maar ook katalysatorbedrijven, zoals Albemarle Catalysts en BASF Catalysts, deel van uitmaken. Dit heeft onder meer geleid tot de succesvolle toekenning van het SmartMix programma CatchBio, Catalysis for the Sustainable Production of Chemicals from Biomass.

PPS Bio-Energie. Er is op bio-energiegebied binnen Nederland nog geen overkoepelend marktgedreven publiekprivaat consortium actief, ook al zijn Nederlandse kennisinstellingen en bedrijven op onderdelen internationaal toonaangevend. Dit geldt onder andere voor torrefactie (o.a. Topell, ECN), pyrolyse (BTG), biomassa mee- en bijstook (E-bedrijven, Kema, ECN), groen gas (o.a. ECN vergassing; DSM, DLO vergisting) en specifieke transportbrandstoffen (o.a. BioMCN). Voor thermochemische conversie liggen internationaal erkende kenniszwaartepunten bij de Technische Universiteiten van Twente en Delft, en bij ECN. Zo leidt ECN het thermochemische subprogramma in EERA (European Energy Research Alliance) en vindt nauwe samenwerking plaats met andere instituten op dit gebied in Europa en daarbuiten. Er zijn op verschillende onderwerpen groeikernen in de vorm van EOSLT consortia. Uitgaande van deze groeikernen streven de belangrijkste stakeholders (E-sector, KEMA, Platform Bio-energie en daarbij aangesloten industrie, kennisinstellingen ECN en DLO, Energy Valley, torrefactie-ontwikkelaars) er echter naar om in de eerste maanden van 2012 tot een brede publiekprivate samenwerking PPS Bio-energie te komen om fundamenteel en toegepast onderzoek te koppelen aan al lopende marktinitiatieven.

Vervolgstappen bij leidende PPSen.

Industriële en milieubiotechnologie. Het consolideren en uitbouwen van een internationaal leidende onderzoeksinfrastructuur op het gebied van de industriële en milieubiotechnologie in Nederland via BE-Basic vereist de integratie van toponderzoek op drie niveaus:

- Fundamenteel onderzoek aan industriële micro-organismen, aan nieuwe experimentele technieken;

  Translationeel onderzoek waarin concepten worden ontwikkeld en geïmplementeerd voor nieuwe, duurzame producten en processen, en aan maatschappelijke implementatie;

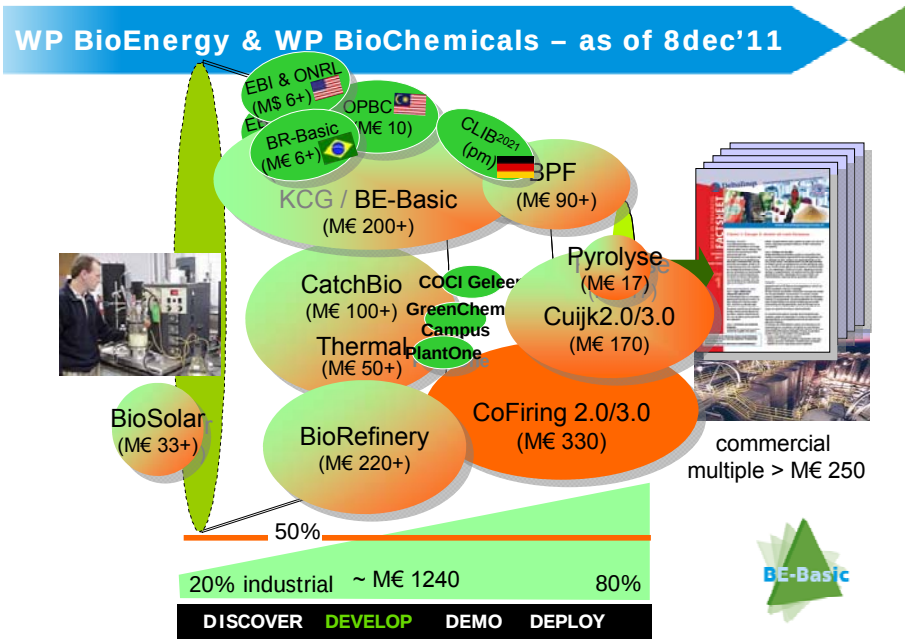
- Onderzoek op industriële schaal in een state-of-the-art pilot-schaalfaciliteit via de Bioprocess Pilot Facility.

Integratie van deze drie niveaus van onderzoek en de intensieve samenwerking tussen kennisinstellingen en bedrijven in BE-Basic bevorderen de snelheid en kwaliteit van innovatie. Concepten die in fundamenteel onderzoek worden ontwikkeld zijn snel te vertalen in processen en op industriële schaal te testen. Tegelijkertijd kunnen problemen uit de industriële praktijk en uit pilot-schaalexperimenten snel worden geadresseerd in wetenschappelijk onderzoek.

Internationalisering, bijvoorbeeld door toenemende participatie van het internationale bedrijfsleven, is te bevorderen door uniforme procedures voor toetreding, kwaliteitsbewaking en valorisatie.

BE-Basic zal deze doelen nastreven door integratie, adaptatie en waar nodig stoppen en uitbreiden van een aantal lopende publiekprivate onderzoeksprogramma's, met als belangrijkste onderdelen het huidige BE-Basic programma, de BPF en het Kluyver Centre (zie 'Een punt op de horizon') mogelijk onder de naam European BE-Basic of E-Basic.

Thermo-chemo-katalytische cluster. De volgende stap voor CatchBio en PPS Bio-Energie is om een Thermo-Chemo Catalytic (TCC) cluster te ontwikkelen dat praktische en duurzame oplossingen kan bieden voor de al genoemde technologische knelpunten. Dit cluster zal actief samenwerking zoeken met BE-Basic (inclusief het Kluyver Center). De uitstekende contacten met de bedrijven, inclusief het MKB, die binnen de programma's CatchBio en BE-Basic zijn opgebouwd, verzekeren een goede verankering in het bedrijfsleven en een vraaggestuurde opzet van het genoemde TCC-cluster.



In aanvulling op het meer funderende pakket wordt voorgesteld op het interface van de industriële/milieu biotechnologie (BE-Basic), het thermo-chemo-katalytische cluster, en

procestechnologie (incl. geïntegreerde bioraffinage – ISPT) een grootschalig hybride pps-programma te organiseren dat het gehele gebied van funderend (NWO/FOM-domein) tot precompetitief wetenschappelijk onderzoek en technologie-ontwikkeling bestrijkt. Voorlopig wordt de omvang geschat op circa € 70-80 miljoen over de periode 2012-2016, waarvan de industrie en kennisinstellingen beide 25% bijdragen (in-cash en in-kind), NWO/FOM 25% en de Topsector Energie uit haar nationale middelen ook circa 25%. In een eerste gedachte, kan de organisatie van de inhoudelijke ontwikkeling van het interfaceprogramma liggen bij de 3 betrokken pps-en (BE-Basic, CatchBio en ISPT), de kwaliteitsborging bij NWO/FOM en de uitvoering wederom bij de pps-en gezamenlijk. Wij stellen voor om dit interfaceprogramma gedurende Q1 van 2012 verder vorm te geven.

Een schematische voorstelling van de intensieve interactie tussen beide technologische pijlers, te weten de thermochemische/chemokatalytische routes en de biotechnologische routes, is weergegeven in deze figuur en sluit direct aan op zowel Grootschalige Nederlandse Faciliteiten en MKB-clusters via de COCI's. Beide pijlers staan in direct contact met het bioraffinagedeel (workpackage Geïntegreerde Bioraffinage). Zoals in bestaande olieraffinaderijen zullen verschillende biomassastromen gezuiverd moeten worden voordat een geschikte katalysator efficiënte omzettingen kan realiseren.

Specifieke programma's voor grootschalige industrie en MKB

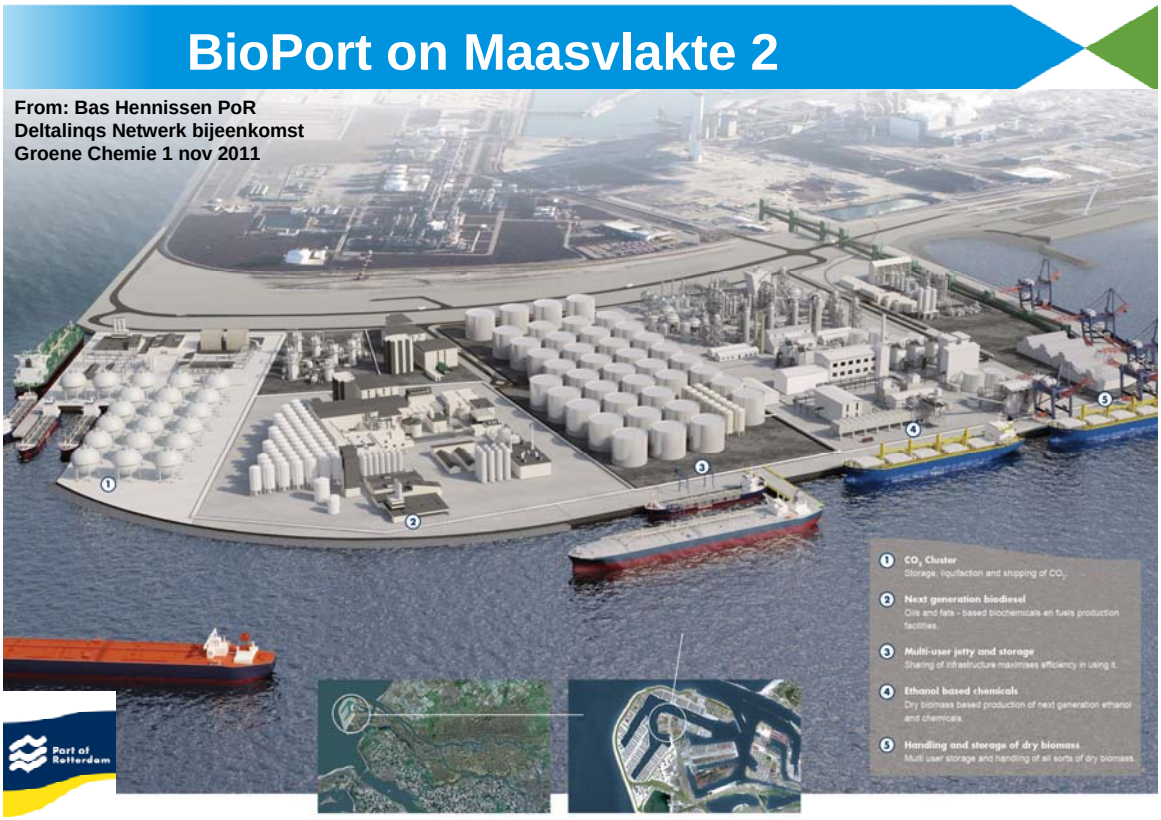
Groot- en kleinschalige industrieën hebben voor hun biobased experimenten een experimenteer ruimte nodig op relevante schaal. Deze geven bovendien aansluiting van regionale clusters en verbeterde vestigingsaspecten. Naast de Centers for Open Chemical Innovation (COCI) die al een zeker biobased profiel hebben (PlantOne, Green Chemistry Campus Bergen op Zoom en COCI Geleen; zie koepelstuk van IC Chemie) is onder TKI Biobased / workpackage BioEnergy & BioChemicals al veel gerealiseerd.

Grootschalige Nederlandse Faciliteiten

Bedrijven en universiteiten hebben al veel onderzoek gedaan op het gebied van duurzame productieprocessen. De laboratoriumresultaten zijn veelbelovend. Maar gedragen die biobased processen zich op grotere schaal hetzelfde? Opschalingonderzoek van nieuwe processen is noodzakelijk om industriële investeringen (€ 100 – 1000 miljoen per fabriek) succesvol en met minimaal risico te kunnen maken. Het risico en de kosten van opschalingonderzoek, de noodzaak om verschillende partijen bij elkaar te brengen en verantwoord beheer en onderhoud van complexe apparatuur vereist een gezamenlijk optrekken van brede samenwerkingsverbanden. Gedurende de afgelopen periode hebben universiteiten, bedrijven en overheden op nationaal niveau de volgende publiekprivate nationale faciliteiten voorbereid en diverse stappen naar realisatie genomen:

Bioprocess Pilot Facility BPF and Delft Biotech Cluster (€ 90+ mio)

Europa, Nederland, de Provincie Zuid-Holland, de gemeentes Rotterdam, Delft en Den Haag, kennisinstellingen als TU Delft en bedrijven als DSM en Purac/CSM hebben zich gecommitteerd om samen circa 100 miljoen euro investeren in de Bioprocess Pilot Facility als pps-proeffaciliteit in Delft. De apparatuur en expertise kunnen op professionele wijze in een industriële setting met alle noodzakelijke vergunningen en infrastructuur gebruikt worden door serieuze organisaties die duurzame processen willen onderzoeken en ontwikkelen op een grote schaal. Ook worden er in de proeffaciliteit mensen op topniveau opgeleid en getraind in samenhang met de betrokken kennisinstellingen.



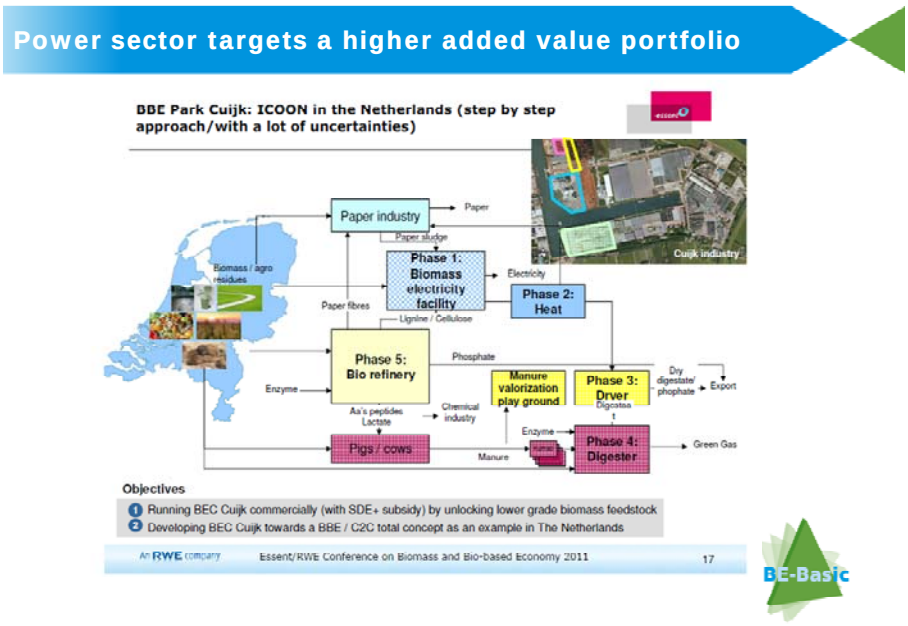
Nu al geeft de Bioprocess Pilot Facility een impuls aan bedrijven die zich bezighouden met duurzame productie en vergroot ze de interesse in vestiging van nationale en internationale partijen in de regio Zuid-Holland. Deze regio heeft daarmee alles in huis om een hoofdrol te spelen in de biogebaseerde economie: een stad vol kennis en ontwikkelingsfaciliteiten (Delft), een stad waar de stromen grondstoffen zullen samenkomen en vervoerd van/naar alle windstreken (Rotterdam met haar wereldhaven tot internationale BioPort Rotterdam op Maasvlakte II – zie onderstaand figuur), en een stad waar internationale wet- en regelgeving gemaakt wordt voor deze nieuwe wereldeconomie (Den Haag) [3].

PPS Cuijk 2.0/3.0 (€ 170 miljoen)

Op basis van de RWE Essent's investering in Cuijk 1.0 (een grootschalig gefluidiseerd bed verbrandingsfaciliteit die 25 MWe aan Green Power produceert, willen RWE Essent en partners de publiekprivate samenwerking PPS Cuijk 2.0 en 3.0 voortzetten om de economisch haalbare toekomst van bio-energie ontwikkelen, testen en demonstreren op relevante schaal, uitgaande van volledig geïntegreerde waardeketens die de Agro, Papier, Chemie en Energiesectoren verbindt. In het pps-concept Cuijk 2.0 wordt de warmte van de biomassagebaseerde energieproductiefaciliteit (Cuijk 1.0) gebruikt om groen gas, groene CO2 en gedroogde (kunst)mestproducten te produceren. In Cuijk 3.0 wordt mest en digestaat verder opgewaardeerd en een complete bioraffinage toegevoegd. Na succesvolle

[3] Deze voorstellen zijn indicatief, gebaseerd op de beste berekeningen en schattingen van dit moment, en afhankelijk van (besluit)vorming van en door het beoogde consortium, van het bereiken van relevante go/no go milestones, relevante regels en richtlijnen, investeringsbeslissingen en –mogelijkheden van partners en van uiteindelijke Board-approval.

ontwikkeling, kan dit geïntegreerde concept van biobased productie worden uitgerold naar een veelheid van andere locaties en situaties, in en buiten Nederland.



In dit publiekprivate partnership zullen innovatieve vergisters worden ontwikkeld, getest en gedemonstreerd evenals nieuwe processen voor voorbehandeling van mest, bemestingsproducten, digestaatbehandeling en bioraffinageconcepten – alles op relevante schaalgrootte. De plannen worden op dit moment verder in detail uitgewerkt en ingeschat op minimaal € 170 miljoen, waarvan de industrie naar verwachting 56% zelf financiert[4].

PPS Co-develop Cofiring (€ 330 miljoen)

In het publiekprivate partnership Codevelop Cofiring willen RWE Essent en partners de groei van de biobased economy in Nederland en de haalbaarheid van de nationale doelstellingen en verplichtingen op gebied van verduurzaming van de energievoorziening aanzienlijk versneld dichterbij brengen door een ontwikkel, test- en implementatie programma van verhoogde bijstook percentages. En daarmee de ontwikkeling van waardevolle biomassaketens binnen de Nederlandse infrastructuur en economie. Innovaties op het gebied van voorbehandeling (torrefactie, pyrolyse en anderen), logistiek en handling, ontwikkeling en test van alternatieve brandstoffen en onderzoek naar duurzaamheid zullen het proces en toepassing van verhoogde biomassameestook voortstuwen en verder versnellen. Het ontsluiten van grote, nieuwe biomassastromen voor meestook zullen de groei van en duurzame biobased economie faciliteren. Deze publiekprivate samenwerking ondersteunt ook de discussie over de implementatie van de leveranciersverplichting in Nederland. De plannen worden op dit moment verder uitgewerkt, maar zijn geschat op minimaal € 330 miljoen, waarvan de industrie naar verwachting 70% zelf financiert[5].

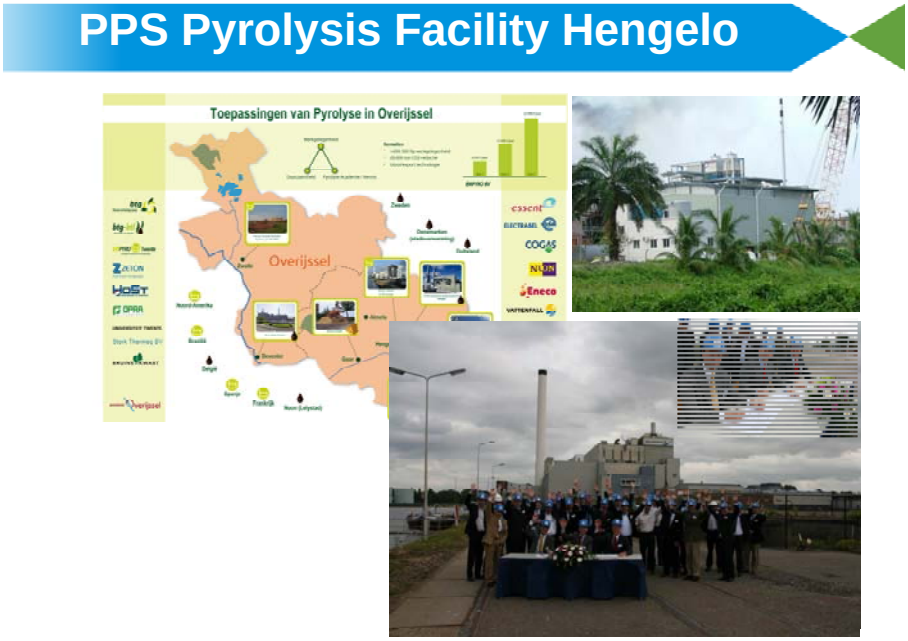
Pyrolyseproeffaciliteit Hengelo (€ 29 miljoen)

[4] Deze voorstellen zijn indicatief, gebaseerd op de beste berekeningen en schattingen van dit moment, en afhankelijk van (besluit)vorming van en door het beoogde consortium, van het bereiken van relevante go/no go milestones, relevante regels en richtlijnen, investeringsbeslissingen en –mogelijkheden van partners en van uiteindelijke Board-approval.

[5] Deze voorstellen zijn indicatief, gebaseerd op de beste berekeningen en schattingen van dit moment, en afhankelijk van (besluit)vorming van en door het beoogde consortium, van het bereiken van relevante go/no go milestones, relevante regels en richtlijnen, investeringsbeslissingen en –mogelijkheden van partners en van uiteindelijke Board-approval.

De doelstelling van deze (internationale) publiekprivate faciliteit is om een 25 MWth (120 t biomassa/d) polygeneratie pyrolyse pilot/demonstratiefaciliteit te ontwikkelen, te testen en te demonstreren die gelijktijdig groene elektriciteit, processtoom en pyrolyse-olie uit houtachtige biomassa produceert. De pyrolyse-olie is voor gebruik on-site, maar kan ook veel andere grootschalige pilot en demonstratie-experimenten voorzien in binnen- en buitenland. Naast de bouw en het bedrijf, op een continue basis van de 25 MWth polygeneration pyrolyse faciliteit, worden in een flankerend R&D-programma de karakteristieken van het flash pyrolyseproces verder onderzocht, de garantiecondities voor proces en producten bepaald, gebruik van pyrolyse-olie voor bij- en meestook in een aantal energiesystemen onderzocht en onderzoek gedaan naar stabilisatie van pyrolyse-olie en verdere verwaarding van het bijproduct azijnzuur.

Het consortium denkt na succes aan een uitrol van 10 pyrolysefabrieken in Europa, gericht op de productie van circa 500 kton pyrolyse-olie, waarmee het daadwerkelijke demonstratietraject van pyrolyse-olie in Europese raffinaderijen kan worden gestart (2014-2018 met een geschat budget van € 650-950 miljoen uit vooral private middelen). Het onderzoek/ontwikkelings-consortium wordt geleid door BTG Biomass Technology bv en Tree Energy bv (zie LoI) en omvat een directe investering in de installatie in Hengelo van € 17 miljoen (waarvoor van de overheid een garantiestelling van € 10 miljoen wordt gezocht), naast een flankerend R&D programma van € 3 miljoen/jaar, waarvoor een overheidsbijdrage van € 1 miljoen/jaar wordt gevraagd voor de periode 2012-2015. Totaal projectbudget is ongeveer € 29 miljoen[6] waarvan de industriële bijdrage circa 75% is. Deze bijdrage is opgenomen onder WP BioRaffinage, maar van groot belang voor WP BioEnergy & BioChemicals.



Energie Regio Initiatief Biomassa Vergassing in Noord Holland Noord

Door de HVC en ECN wordt een demo *Biomassavergassing en productie van groen gas.* ontwikkeld voor de productie van groen gas op basis van de MILENA vergassing- en OLGA teerverwijderingstechnologie. Voorzien wordt om deze demo in 2013 te realiseren. De demo

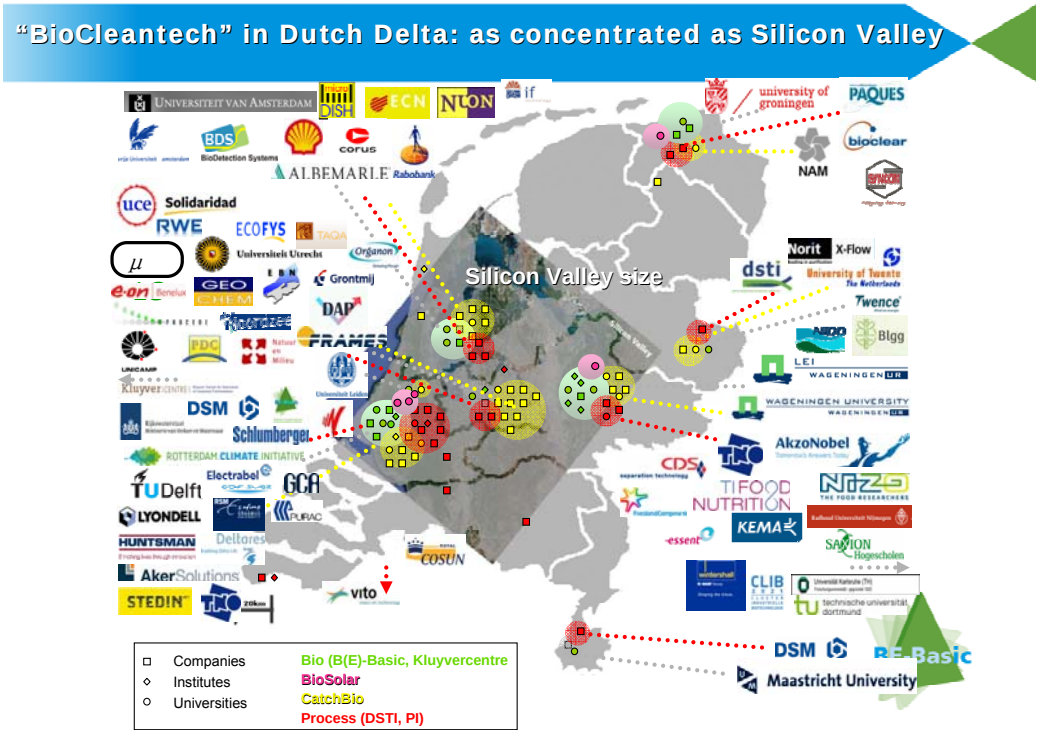
[6] Deze voorstellen zijn indicatief, gebaseerd op de beste berekeningen en schattingen van dit moment, en afhankelijk van (besluit)vorming van en door het beoogde consortium, van het bereiken van relevante go/no go milestones, relevante regels en richtlijnen, investeringsbeslissingen en –mogelijkheden van partners en van uiteindelijke Board-approval.

zal worden geplaatst binnen een grotere plot met goede infrastructuur waardoor een Expertisecentrum Biomassavergassing ontstaat. Partijen die hebben aangegeven hier interesse in te hebben zijn, Gasunie, Ballast Nedam, Taqa Energie en Dahlman. De provincie en de gemeente Alkmaar willen ook deelnemen in dit Expertisecentrum en zien mogelijkheden voor de gebiedsontwikkeling op het gebied van werkgelegenheid, de toeristische sector en de kenniseconomie door het aantrekken van bedrijven.

Valorisatie en MKB

Mogelijkheden voor het MKB om aan te sluiten. Het is het noodzakelijk om innovatie zo te stimuleren dat hieruit meer toepassingen van vindingen zijn te realiseren die moeten landen binnen, hetzij de bestaande MKB en grotere industriële partijen, hetzij worden opgepakt door nieuw op te richten (spin outs) KI-MKBs. Deze innovaties hebben een duidelijke programmatische ondersteuning nodig die gericht is op het screenen op IP-waardige vindingen, het scouten van entrepreneurship en het coachen van jonge innovatieve academici/ingenieurs die zelf een bedrijf willen opzetten. Dat moet inclusief, naast alle aspecten van het opzetten van bedrijvigheid, het vinden en ondersteunen van de financieringsbehoefte voor dergelijke spin-outs, bijvoorbeeld door partnerships dan wel het opzetten/ creëren van (pre)seed fondsen met investeringen uit TKI (overheid en overige partners), capital investeerders en banken (eg RABO Groep en anderen). Grosso modo zou het TKI programma minimaal 15-20% van haar activiteiten en middelen moeten inzetten op innovatie.

Binnen het BE-Basic programma en diverse andere PPSen zijn activiteiten opgezet, gericht op innovatie in de ruimste zin van het woord (i.e., het stimuleren van ondernemerschap, het opzetten van bedrijvigheid, het vastleggen van IP, etcetera). Het zou goed zijn om die diverse innovatieactiviteiten en strategieën van de diverse PPSen te inventariseren en beter op elkaar te laten aansluiten, zodat er een efficiency slag gemaakt kan worden en de best practises van iedere PPS samengevoegd kunnen worden tot een integrale innovatiestimuleringaanpak.



Aansluiting op de Europese onderzoeks- en innovatieagenda

CLIMATE KIC. CLIMATE Knowledge & Innovation Community. Het belangrijkste, en meest grootschalige aansluitpunt op de Europese onderzoek- en innovatieagenda van TKI Biobased / Bio-energie is die op de CLIMATE KIC van het European Institute of Technology (EIT). TUD, WUR, UU, Deltares, TNO, KLM en DSM zijn belangrijke Nederlandse kernleden van de CLIMATE KIC. BE-Basic en CatchBio zijn de belangrijkste 'matching programs' van de Climate KIC, zowel vanuit Nederland als op Europees niveau. De CLIMATE Knowledge & Innovation Community (KIC) brengt leidende academische en industriële spelers bij elkaar om noodzakelijke technologische en maatschappelijke innovaties van klimaatmitigatie en adaptatie om te zetten in economische activiteit. De CLIMATE KIC richt zich in belangrijke mate op de volgende generatie van enterpreneurs, wetenschappers en andere innovatoren via een breed spectrum van activiteiten en faculteiten van partners. Een bondige beschrijving van de CLIMATE KIC CEO, Mary Ritter, is opgenomen in septemberversie van *Nature Climate Change*, en is bijgevoegd als Appendix 1. (Zie verder www.climate-kic.org.)

Het European Biofuels Technology Platform (EBTP) heeft op het gebied van de bio-energie, samen met andere biomassagerelateerde platforms zoals het Renewable Heating & Cooling platform, een leidende rol gespeeld in de opstelling van de Europese R&D agenda. De onder leiding van het EBTP opgestelde Strategic Research Agenda (SRA) en het bijbehorende Strategy Deployment Document (SDD)[7] vormen de basis voor het Europese Strategic Energy Technology plan (SET plan)[8], de Europese technologie roadmapping[9] en de definitie van Europese onderzoekprogramma's op bio-energiegebied, waaronder FP7 en Horizon 2020. Centraal staat de waardeketenbenadering.

De waardeketenbenadering ligt ook ten grondslag aan de onderzoekagenda van het Bioenergy Joint Programme van de European Energy Research Alliance (EERA), waarin de toonaangevende Europese onderzoekinstellingen op bio-energiegebied samenwerken. ECN (trekker onderzoek thermochemische waardeketens) en WUR-DLO nemen beiden deel in EERA-Bioenergy. Het voorgestelde onderzoekprogramma sluit nauw aan bij de Europese onderzoeksagenda wat blijkt uit een goede score in recente FP7 calls.

Inbedding in de mondiale onderzoek- en innovatieagenda – IEA Bioenergy. De bio-energiegerelateerde onderzoek- en innovatieactiviteiten zijn qua kennisimport en –disseminatie mondiaal ingekaderd in de Bioenergy Implementing Agreement (IA) van het International Energy Agency (IEA). Dit samenwerkingsverband biedt enerzijds de nationale overheid de mogelijkheid om in internationaal (en Europees) kader grensoverstijgende onderwerpen op het gebied van de duurzame valorisatie van biomassa voor Food en Non-food toepassingen, incl. bio-energie, te agenderen en anderzijds biedt het samenwerkingsverband industriële/MKB stakeholders de mogelijkheid zich op de hoogte te stellen van de internationale state-of-the-art van duurzame biomassa valorisatie in het algemeen en deelcomponenten in het bijzonder om zich zodoende op een juiste wijze te kunnen positioneren.

Financiën en instrumenten

[7] www.biofuelstp.eu

[8] Strategic Energy Technology (SET) plan: The technology pillar of the EU's energy and climate policy aimed at accelerating innovation in cutting edge European low carbon technologies to achieve the EU 2020 targets and 2050 vision (80-95% GHG reduction). The SET plan contains two main instruments, viz. the European Industrial Initiatives (EII's), aimed at enabling commercial availability of advanced and sustainable low carbon technologies at large scale by 2020 and strengthen EU world technology leadership through demonstration plants and first commercial-scale units (Flagship plants), and the European Energy Research Alliance (EERA), aimed at aligning energy R&D.

[9] E.g., the SET plan Technology roadmap Low Carbon Technologies.

De belangrijkste stakeholders zijn genoemd in Appendix 2 en in TKI Biobased. In essentie is uitgegaan van de actieve pps-en en de al afgegeven harde commitments in termen van Consortium Agreements, Instituutsakten en dergelijke, dan wel aandeelhoudersverklaringen en vergelijkbare documenten in geval van bedrijfsmatig vormgegeven initiatieven of (grootschalige) faciliteiten. In afwachting van verdere opheldering door de Nederlandse overheid rondom het verdere traject, gaat TKI BioBased/Bio-energie door met het verzamelen van committeringsbrieven en Letters of Intent. Maar de omvang van bestaande harde commitments van het Nederlandse bedrijfsleven aan de PPS-en (gezamenlijk ruim € 350 miljoen, circa 35% industrie), en de nieuwe industriële commitments voor bio-energie, biochemie en bioraffinage (gezamenlijk circa € 446 miljoen) geven zicht op een samenhangend programma voor deze werkpakketten van ruim 1.2 miljard euro met tenminste 50% industriële dekking. De enorme schaal waarop industrie en anderen hebben gereageerd en de extreem korte tijd voor uitwerking maakt, dat een nadere detaillering in het eerste kwartaal van 2012 zal moeten plaatsvinden.

Aspecten voor de Human Capital Agenda

Naast wetenschappelijk inhoudelijke vraagstukken is het nodig om voor een efficiënte absorptie van de technologische vindingen en de ontwikkeling en implementatie mogelijk te maken, ervoor te zorgen dat vertegenwoordigers van de diverse stappen in de innovatieketen aan boord zijn binnen het TKI. Verder is het noodzakelijk om aan de 'people' kant ervoor te zorgen dat er een goede theoretische en praktische opleiding wordt geïntegreerd in het TKI programma om hiermee voldoende, goed opgeleide HBO-ers, ingenieurs en academici af te leveren, met een (inter)nationale focus. Immers veel van de biobased transities zullen buiten Nederland gaan plaatsvinden. Deze nieuwe cohorten biobased-technici/academici zijn zeer nodig voor het MKB en de grotere industrie om de biobased innovaties internationaal te kunnen uitrollen.

Om de transitie naar een biobased economy te kunnen realiseren is er, naast specialisten uit diverse expertises, ook grote behoefte aan brede opleidingen voor duurzame productie van biomassa, voor biomassa-importketens, voor co-productie chemicaliën, voor materialen en voor biobrandstoffen, voor groen gas en voor innovatieve chemische toepassingen, evenals op het gebied van duurzaamheid, veiligheid, ecologische impact, nutriëntenrecycling en bodemkwaliteit.

Disclaimer

Uitwerking WP BioEnergy & BioChemicals heeft plaatsgevonden door een compact kernteam Bert Weckhuysen (CatchBio, UU), Hans Gosselink (CatchBio, Shell), Jaap Kiel (ECN) en Luuk van der Wielen (TUDelft, BE-Basic, voorzitter) in samenwerking met vele anderen vanuit industrie, kennisinstellingen en overheid in een reeks aan kleinere en grotere (~300 p) sessies in de periode oktober-december 2011. De WP wordt weliswaar in grote lijnen onderschreven door het compacte kernteam en sector, maar vertegenwoordigt op punten niet noodzakelijkerwijze het standpunt van alle betrokken individuen en organisaties. De verantwoordelijkheid ligt derhalve bij de voorzitter van het Compacte Kernteam Bioenergie (LW).

Appendix 1 Description of CLIMATE KIC

As originally published in *Nature Climate Change* September 2011 as a sponsor section

REGIONAL REPORT

Climate-KIC: innovating for low-carbon production and climate resilience

Mary Ritter

The challenges posed by climate change require an economic and societal revolution. Climate-KIC aims to accelerate and stimulate the innovation required for such a transformation.

A European approach to a global challenge

The world is facing an unprecedented challenge from rising temperatures and changing weather patterns, compounded by depleting resources and overall population growth. Climate change mitigation and adaptation have never been more important. Such mitigation and adaptation require a global economic and societal transformation comparable to the industrial revolution. Existing markets will be radically altered and new ones created across a variety of sectors, including water management, agriculture, building technologies, transportation, observation technologies for climate prediction, ICT systems, energy and material production and distribution.

However, while outcomes must be effective globally, constructive action is more likely to be developed and delivered at a regional level. Thus Europe, with its climatic, geographic and national diversity, provides an excellent regional test-bed for innovative solutions embedded in a green economy. The mission of the Knowledge and Innovation Community (Climate-KIC) is to accelerate and stimulate the innovation required for this transformation, through new technologies, policies, companies and jobs. Our vision for accomplishing this is to create a strong community of world-class private companies, public institutions, researchers, students and an ever-increasing alumni group of climate change entrepreneurs and change agents who work closely together to solve the most important challenges in climate change innovation. In essence: European innovation for the global climate change market.

Climate-KIC not only aims to innovate in the area of climate change, the KIC model itself is an innovation — an experiment that can be applied to other grand challenges. This regional review will therefore consider the nature of the KIC as well as the nature of what it can deliver. The well-known world-class achievements of our many partners in the area of climate change adaptation and mitigation will, therefore, not be addressed in this report. It is the added value of Climate-KIC and its community that will be the focus — our unique public–private community, our integration across Europe linked with dissemination deep into the regions, and our goal of nurturing influence far beyond the boundaries of the KIC itself.

Climate-KIC: bringing together the players in climate change innovation

The knowledge triangle or knowledge square?

Climate-KIC is one of three Knowledge Innovation Communities designated on 1 January 2010 by the European Institute of Innovation and Technology (EIT). The KICs uniquely bring together all three sides of the 'knowledge triangle' — education, research and business — to create the environment to foster innovation. This contrasts with other funding instruments that follow a two-sided approach. However, Climate-KIC takes innovation one step further by adding a fourth dimension, that of government and other public bodies, and so also uses the 'triple helix' model of university–industry–government for the generation of innovation. The role of government is especially important for Climate-KIC because of the nature of the societal problems it aims to address. Rather than speak separately of the knowledge triangle and the triple helix, we should perhaps invoke a 'knowledge square' (Figure 1).

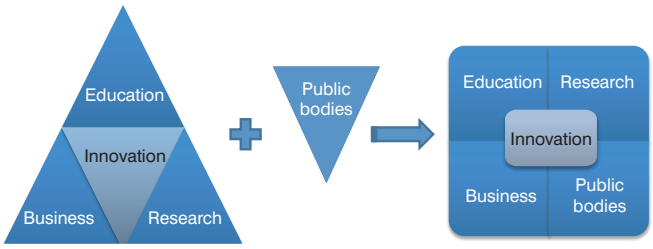


Figure 1: In Climate-KIC, the traditional knowledge triangle is augmented by partners from the public sector ('society'), creating the possibility of a knowledge square.

The Climate-KIC Community

Climate-KIC is a legal entity, a Dutch Association, with 20 Core and 68 Affiliate partners (Box 1) spanning the four sectors of the knowledge square. Core partners play an important role across the KIC and take responsibility for KIC governance. Affiliate partners — many of whom are small/medium-sized enterprises (SMEs) — tend to be involved in specific projects. Very importantly, all partners, whether Core or Affiliate, form an integral part of the KIC Community; in this they are joined by our KIC students, particpants in our Pioneers into Practice programme (see below), KIC supporters and our alumni.

However, Climate-KIC is much more than a consortium of partners from business, research, education and society; it has a unique stucture designed to cross boundaries — discipline, sector, geography — to enhance integration and to provide the platform for an innovation ecosystem across Europe.

First, there are five Co-location Centres (CLCs), which provide a platform where KIC members can meet and work together within an environment that gives both physical and intellectual entrepreneurial support (Figure 2). Although KIC activities must, and do, operate across all CLCs, individual

BOX 1: Climate-KIC CORE PARTNERS

Bayer Technology Services GmbH	Imperial College of Science, Technology and Medicine
Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Energies Alternatives (CEA)	Institute for Sustainability
Delft University of Technology (TU Delft)	Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)
DSM NV	Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines (UVSQ)
Électricité de France SA (EDF)	Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO)
Eidgenössiche Technische Hochschule Zürich (ETH)	Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK)
Forschungszentrum Jülich GmbH	Schiphol Nederland BV
GDF Suez SA	Stichting Deltares
Helmholtz Centre Potsdam GFZ German Research Centre for Geosciences	Technische Universität Berlin
	Utrecht University
	Wageningen University

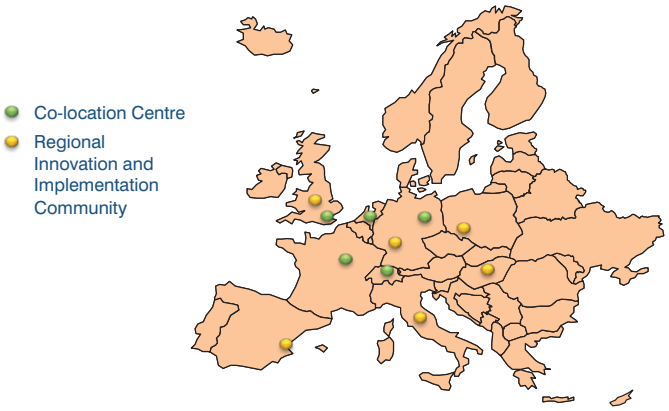


Figure 2: Climate-KIC partners come together at five Co-location Centres and six Regional Innovation and Implementation Communities.

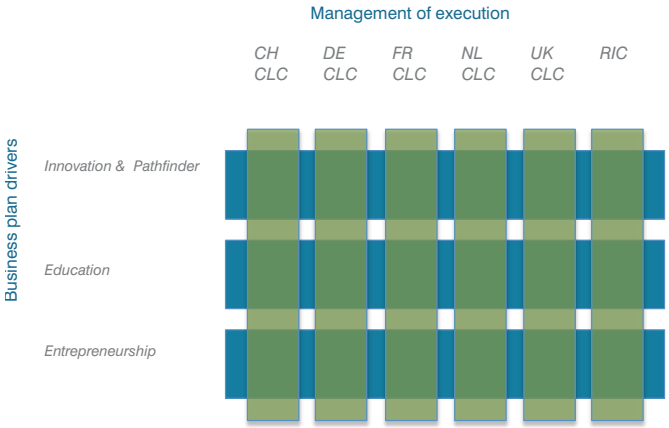


Figure 3: Climate-KIC is organized on the principle of matrix management. Operations are run by an executive team headed by a CEO.

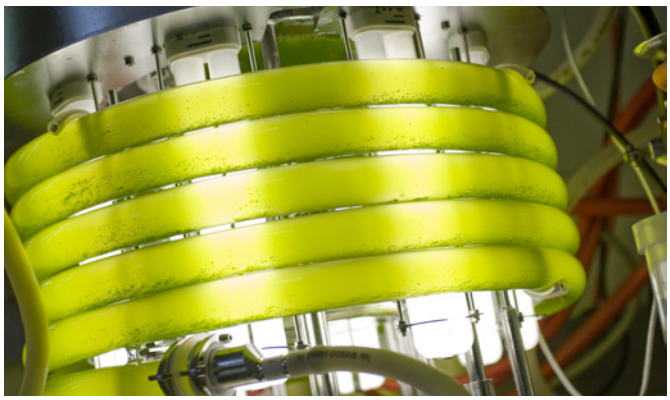
CLCs provide a vital focal point and communication hub for national Core and Affiliate partners.

A second, unique, organization within Climate-KIC is formed by the six Regional Innovation and Implementation Communities (RIC) (Figure 2). These bring together more than 100 public and private bodies, some of which are formal Affiliate partners while all are members of the extended KIC Community. They highlight regional needs and problems while also providing the innovation and implementation test-beds and opportunities for people-based programmes. They thus facilitate outreach and dissemination of innovation throughout Europe such that any new development can have impact well beyond the initial partners responsible.

A third distinctive feature is that Climate-KIC is organized like a business with its operations run by a Chief Executive Officer (CEO) who leads an Executive Team comprising a Director of Operations and Chief Finance Officer, and the Directors of each of the five CLCs, the RIC and the three pillars of Education, Innovation & Pathfinder, and Entrepreneurship. The organization follows typical matrix management (Figure 3), whereby the pillars drive the business, while execution is the responsibility of the CLC and RIC. This business approach is mirrored in the EIT funding model in which the EIT regards itself as an investor rather than a grant-giving agency, providing 25% of the KIC's finance which is used to leverage the remaining 75% via cash and in-kind contributions from partners and a range of external public–private bodies.

Finally, governance is the responsibility of an Assembly, comprising the 20 Core partners. This body approves the annual business plan and grant agreement with the EIT, but delegates more day-to-day governance to a smaller Governing Board whose members are nominated by the CLCs and RIC. Affiliate partners have representation on the Assembly, and all partners, students, supporters and alumni together form the KIC Community which comes together at least once a year at the Climate-KIC Innovation Festival — to be held this year in Budapest.

Photograph courtesy of Dave Guttridge



Biorenewable production systems are a focus area for Climate-KIC innovation.

Our themes, value propositions and pillars

Given the scale of the climate change challenge, the KIC has taken a focused approach in order to be effective. Based on the strategic challenges and the specific expertise of our cross-sectorial partners, Climate-KIC has selected four initial themes on which to focus: assessing climate change and managing its drivers; adaptive water management; low-carbon production systems; and transitioning to resilient low-carbon cities. These are addressed via three closely integrated value propositions (pillars), as mentioned above: Innovation & Pathfinder, Education, and Entrepreneurship. Although discussed separately, these are interdependent and closely integrated across their boundaries, coming together to form the engine of our KIC enterprise.

Innovation and Pathfinder

In order to assess the spectrum of innovative potential across the KIC, an 'Expressions of Interest' (EoI) exercise was organized in 2010, and generated 92 multi-partner cross-CLC project proposals across the four themes of the KIC. A subsequent series of workshops further dissected the Climate-KIC project portfolio, identifying a number of focus areas within each theme (Box 2).

These EoI data remain an important source of inspiration for the development of our project portfolio and are updated annually, most recently in June 2011 at our Ideas Market Place (see below). Further work has led to the concept of two types of project: 'Innovation' and 'Pathfinder' (Figure 4). Innovation projects are those that create promising new collaborations and pioneer new value-chain configurations. They build on existing strengths, represent significant areas of interest in the EoI portfolio, have the potential to deliver quick results, and help to build and demonstrate the KIC added value. In contrast, Pathfinder projects create *de novo* pathways to low-carbon prosperity by fostering the conditions for ongoing innovation. Pathfinder aims to identify barriers to systemic innovation, as well as analysing the market and scoping projects required to cope with climate change. At present, Pathfinder projects are mostly 'upstream' in nature, aiming at identifying potential markets for new products and at preparing KIC Innovation projects. A smaller number are 'downstream', aiming to understand and to remove existing barriers to climate innovation.

Education

The most effective method of knowledge transfer, dissemination and amplification is via trained brains. Education is therefore a key activity for Climate-KIC. Climate-KIC's overarching mission for its education pillar is to

BOX 2: THEMES AND FOCUS AREAS

'Assessing climate change and managing its drivers'. Focus areas: carbon monitoring, reporting and verification; climate knowledge for adaptation (climate services); climate monitoring.

'Transitioning to resilient low-carbon cities'. Focus areas: urban adaptation; sustainable buildings; urban mobility.

'Adaptive water management'. Focus areas: agricultural water management; smart urban water; adaptation to extreme events.

'Low-carbon production systems'. Focus areas: accelerating innovation on bio-renewables; smart energy systems; carbon capture and reuse technologies.

create a generation of climate innovators and entrepreneurs, and for them to create a network of change agents throughout Europe. Our programmes are therefore designed to forge 'students' into a supportive multidisciplinary network, to create a vibrant and supporting alumni community, and to rapidly grow a critical mass to ensure efficacy.

Our education innovation experiment in 2010 was the six-week Contextual Learning Journey. Fifty postgraduate students were selected from 200 excellent applicants from all over the world. The final cohort comprised 9 PhD students, 36 Masters students and 5 employees from corporate partners. They formed a highly talented multidisciplinary group with backgrounds in natural sciences (19), engineering (13), business and management (12), social sciences (3) and architecture (3) — an appropriate mix for innovation in the area of climate change. The programme will now be run annually, with several Learning Journeys run through different combinations of CLCs to accommodate increasing numbers and diversity of students registered on our KIC Masters and Doctoral programmes.

The Contextual Learning Journey programme is focused on 'learning by doing'. Students visit three different CLCs where they gain experience in laboratory, field and business areas, and receive coaching to develop their own business ideas and plans, so they are actually 'doing' climate innovation. The feedback from 2010 was excellent, the students were transformed by their experience and the alumni community is thriving. Two spin-outs were created, and a third is on the way. Thus our first generation of Climate-KIC entrepreneurs has been born!

We are now building on this initial educational experiment to develop the full portfolio of climate innovation education; this will include Masters and Doctoral programmes in innovation, short courses, professional development courses, E-enabled outreach programmes and an alumni association which will be fully integrated with ongoing KIC activities. In this way we plan not only to build but also to maintain and continuously involve our community of climate change innovators.

Entrepreneurship

Our third interconnected pillar — Entrepreneurship — builds platforms to connect and support the wider climate entrepreneurship community, particularly in education programmes, Innovation and Pathfinder projects, start-ups and SMEs. A portfolio of instruments is under development including SME vouchers, and a 'greenhouse' where students and postdoctoral researchers can win support to step aside from their day-to-day job to test business ideas. CLCs play a key role here in providing business advice and incubator support for these fledgling entrepreneurs. More generally, CLCs act as coordinated foci of innovation support and services (incubators, valorization centres, technology transfer organizations) from both public and private sectors in order to set up the local innovation webs. CLCs also share ideas and infrastructure, and collaborate in new developments across the KIC.

Coaching support was provided for ideas that emerged from the Contextual Learning Journey in 2010, in particular for the three start-up ventures that emerged. 'ElectricFeel' pioneers a new urban mobility concept based on individual electric vehicle rentals. The student group

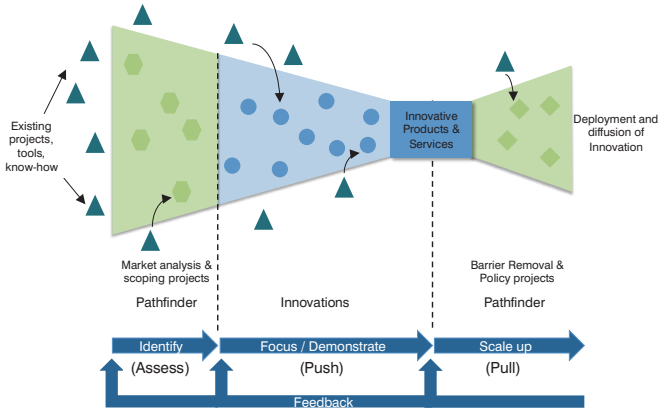


Figure 4: Climate-KIC projects are of two types: Innovation and Pathfinder.

won a KPMG entrepreneurs prize in 2010 and received finance from a Climate-KIC partner to continue the work, and there are plans to found a new company in 2011. DeCo! aims to provide an innovative low-cost technology to produce fertilizer with reduced CO_2 emissions in Ghana, a process also relevant to other developing countries. DeCo!, standing for decentralized composting, received the SEED Award (an award for action on sustainable development) in 2010 and funds from a Climate-KIC partner; it is now a registered association under German law and a legal entity in Ghana. A further start-up, Climate-Aquasar, in which heat from a data centre is used to heat water which then warms greenhouses, is under development. We look forward to more Climate-KIC start-ups emerging from the 2011 Contextual Learning Journey.

Our ecosystem

The ecosystem for climate innovation and its delivery is created by our Co-location Centres and Regional Innovation and Implementation Community, in different but complementary ways.

The co-location centres

Climate-KIC's five CLCs are located in hot-spots of climate innovation in France (Saclay), Germany (Berlin), the Netherlands (Randstad), Switzerland (ETH Zürich) and the UK (Imperial College London). Every CLC has a functioning legal entity and all have representation on the various KIC-level boards and committees. Each CLC manages its national network of partners and ensures that these networks are effectively integrated into KIC-wide processes.

A major role of the CLC is to provide the innovation platforms for the KIC's activities in both a regional and a pan-KIC context. Thus each CLC provides a regional focus, bringing together and supporting its Core and

Photograph courtesy of Christian Richters

Business and academic partners provide a network of incubators as part of Climate-KIC's integrated platform for innovation support.

Affiliate partners and, conversely, mediating dissemination and outreach of innovation to the wider community throughout their geographical region. In tandem with this, CLCs network with each other to ensure full integration and access to the benefits of added value.

CLCs also provide infrastructure and personnel support for the delivery of pillar activities — the Education programmes, the Innovation and Pathfinder projects, and the Entrepreneurship portfolio. CLCs also host gatherings of partners from across the entire KIC; thus discussion fora, workshops, and governing board, executive and pillar meetings are all hosted by a CLC. The most recent of these events was the June 2011 'Ideas Market Place' hosted by the German CLC at its excellent newly developed facilities in Berlin. More than 80 participants came together in plenary and break-out groups to discuss potential ideas, identify synergies and develop cohesive innovation platforms. The aim was to link a bottom-up approach with top-down strategy for Climate-KIC's 2012 Business Plan.

The Regional Innovation and Implementation Community

Europe's regions and cities are at the forefront of achieving the European Union's's near-term climate and energy goals for 2020 as well as laying the basis for further transformation that will be needed to meet longer-term targets. They are setting their own distinctive low-carbon strategies; are committing considerable investments to a range of potential solutions; and are well placed to promote the transition in systems and practice that will be essential to achieving these goals. The RIC, together with regions associated with the CLCs, for example the Province of Utrecht in The Netherlands, is key to Climate-KIC's innovation agenda.

The RIC brings together six major European industrial regions — Central Hungary, Lower Silesia (Poland), West Midlands (UK), Hessen (Germany), Emilia Romagna (Italy) and the Valencian region (Spain) — to provide a coordinated place-based approach for developing and testing new ideas that support the transition to a low-carbon economy. Each region brings together a cluster of significant regional development players, including key public sector agencies, innovative small businesses, leading universities, centres of excellence, research institutes and major companies, in a comprehensive, broad-based approach to innovation. Collectively, the RIC partners have substantial existing and scheduled investment in a range of low-carbon initiatives reflecting their own distinctive challenges. For example, Central Hungary is acting as the test-bed for a major bio-renewable project being developed by Climate-KIC, and the Valencian region is playing a similar role in a sustainable water management initiative.

As well as contributing to Climate-KIC's broad programme of activities, the RIC aims to play a leading role in the transformation of regional innovation policy and practice in Europe on climate change. It has begun to develop a programme of activity based on two key principles which revolve around 'place and practice'. First, significant low-carbon innovations will be transitions in 'socio-technical systems' such as mobility and household living. The social actors best placed to promote this transition are municipal and regional organizations responsible for systems that are suited to local places, working in partnership with other key actors. Second, the urgency of the transformation requires a change in the day-to-day practices of professionals with current responsibilities in business, government and research. The narrow specialization of these roles is unsuited to the demands of systemic innovation. Sector-specific managers need to become boundary-crossing low-carbon entrepreneurs.

The Climate-KIC 'Pioneers into Practice' programme expresses these two principles in a novel approach to knowledge exchange and dissemination. By using the range of existing low-carbon projects and initiatives, the programme enables participants to undertake placements in different organizational settings and experience contrasting types of knowledge across the regions. The first year of this annual programme was launched in October 2010 with 53 participants and will be completed in autumn 2011.

Copyright: Climate-KIC

Climate-KIC Ideas Market Place, June 2011, Berlin (left), and CEO Mary Ritter (right).

Summary and conclusions

Climate-KIC is an ambitious experiment in integrated public–private innovation.

- It brings together the three sides of the knowledge triangle and the three strands of the triple helix, thus involving education, research, business and public bodies to create, we suggest, a unique European 'knowledge square' for innovation.
- Its governance, organization and activities create a genuine community for knowledge and innovation.
- It creates an innovation ecosystem through its CLCs and RIC, spanning the whole KIC while reaching deeply into the regions.
- It encompasses mobility across boundaries — discipline, sector and country — which is fully integrated into the Education, Innovation & Pathfinder, and Entrepreneurship pillars. We call this 'purposeful mobility'.

Finally, for Climate-KIC to be truly effective it must have influence well beyond its own specific activities. To achieve this, our ambition is two-fold: systemic innovation and trained innovators. The KIC thus aims, first, to drive systemic innovation in both technology and policy, providing not just products but also models of innovation that can be applied to many more areas than can be covered by Climate-KIC itself, and second, to select and train climate change entrepreneurs and change agents who will permeate society, yet remain fully within our Climate-KIC Community as actively involved entrepreneurial alumni. In this way our ambition is that Europe and its regions can lead the world in climate innovation.

Mary Ritter is CEO of Climate-KIC, Pro Rector (International) and Professor of Immunology at Imperial College London, South Kensington Campus, Exhibition Road, London SW7 2AZ, UK.
e-mail: m.ritter@imperial.ac.uk

Acknowledgements

My especial thanks go to the Climate-KIC Executive Team (Carolin Arndt, Aaron Best, Corinne Borel, Hans Jurgen Cramer, Reto Largo, Henrik Morgen, Hero Prins, Malte Schneide, Richard Templer, Aled Thomas, Michiel van Breemen and Daniel Zimmer), without whom this report could not have been written. I would also like to thank the Chair (John Schellnhuber) and members of our Governing Board and Assembly, and all the Core and Affiliate partners of Climate-KIC who have made the impossible possible over the 18 months of our Community's existence.

Appendix 2 Budget Overview WP BioEnergy & BioChemicals (incl WP BioRaffinage)

Naam workpackage 1	Biochemicals & Bioenergy (incl BioRefinery) / CONFIDENTIAL & DRA					versie v8 (11dec2011)	in miljoenen euro's								
						Lopend & Nieuw toegezegd	I&EB	ChemCat	Thermisch	BioRefinery	BioSolar	% of Total	Totals	Δ/5jaar	
Lopende & Nieuw Toegezegd	2012	2013	2014	2015	2016	% industrieel	38%	35%	65%	46%	11%	50%	EUR mio	EUR mio	
TOTAAL gewenste financiering	**€ 241,27**	**€ 241,27**	**€ 241,27**	**€ 241,27**	**€ 241,27**	**€ 1.206,34**									**TOTAAL Lopend & Nieuw**
bedrijfsleven in cash	€ 89,66	€ 89,66	€ 89,66	€ 89,66	€ 89,66		€ 70,84	€ 28,37	€ 262,80	€ 84,02	€ 2,28	37%	€ 448,31	€ 358,69	bedrijfsleven in cash
bedrijfsleven in kind	€ 31,68	€ 31,68	€ 31,68	€ 31,68	€ 31,68		€ 47,46	€ 7,00	€ 65,00	€ 37,62	€ 1,34	13%	€ 158,42	€ 107,54	bedrijfsleven in kind
nationale overheid	€ 63,03	€ 63,03	€ 63,03	€ 63,03	€ 63,03		€ 94,53	€ 27,50	€ 110,00	€ 67,31	€ 15,80	26%	€ 315,15	**€ 205,34**	nationale overheid
regionale overheid	€ 3,68	€ 3,68	€ 3,68	€ 3,68	€ 3,68		€ 6,10	€ 0,00	€ 0,00	€ 12,28	€ 0,00	2%	€ 18,38	€ 8,76	regionale overheid
NWO	€ 15,17	€ 15,17	€ 15,17	€ 15,17	€ 15,17		€ 13,00	€ 21,39	€ 30,00	€ 4,85	€ 6,60	6%	€ 75,84	€ 39,09	NWO / NGI
TNO	€ 4,34	€ 4,34	€ 4,34	€ 4,34	€ 4,34		€ 0,18	€ 0,00	€ 9,20	€ 12,30	€ 0,00	2%	€ 21,68	€ 19,47	TNO
DLO-BO	€ 4,20	€ 4,20	€ 4,20	€ 4,20	€ 4,20		€ 9,00	€ 0,00	€ 10,00	€ 2,02	€ 0,00	2%	€ 21,02	€ 21,01	DLO-BO
DLO-KB	€ 2,53	€ 2,53	€ 2,53	€ 2,53	€ 2,53		€ 0,00	€ 1,20	€ 0,00	€ 11,46	€ 0,00	1%	€ 12,66	€ 10,87	DLO-KB
ECN	€ 1,61	€ 1,61	€ 1,61	€ 1,61	€ 1,61		€ 0,00	€ 2,40	€ 5,64	€ 0,00	€ 0,00	1%	€ 8,04	€ 0,05	ECN
kennisinstellingen	€ 17,08	€ 17,08	€ 17,08	€ 17,08	€ 17,08		€ 47,89	€ 12,30	€ 10,00	€ 10,34	€ 4,86	7%	€ 85,39	€ 27,39	kennisinstellingen
EU middelen (KP7 ed.)	€ 7,35	€ 7,35	€ 7,35	€ 7,35	€ 7,35		€ 19,03	€ 0,00	€ 0,00	€ 14,90	€ 2,80	3%	€ 36,73	€ 17,38	EU middelen (KP7 ed.)
generiek middelen: oa. Innovatiefonds MKB+, IPC	€ 0,82	€ 0,82	€ 0,82	€ 0,82	€ 0,82		€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 4,10	€ 0,00	0%	€ 4,10	€ 4,04	generiek middelen: oa. Innovatie
anders	€ 0,12	€ 0,12	€ 0,12	€ 0,12	€ 0,12		€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,62	€ 0,00	0%	€ 0,62	€ 0,62	anders
					€ 1.206,34	**Totalen**	**€ 308,03**	**€ 100,16**	**€ 502,64**	**€ 261,82**	**€ 33,69**	**€ 1.206,34**	**€ 1.206,34**	**€ 820,26**	
						BioChemical	**€ 246,43**	**€ 70,11**	**€ 50,26**	**€ 130,91**	**€ 16,84**	**43%**	**€ 514,56**	**€ 245,84**	
						BioEnergy	**€ 61,61**	**€ 30,05**	**€ 452,38**	**€ 130,91**	**€ 16,84**	**57%**	**€ 691,78**	**€ 574,41**	
													€ 0,00		
						Lopende programmering	**I&EB**	**ChemCat**	**Thermisch**	**BioRefinery**	**BioSolar**	**% of Total**	**Totals**		
Lopende programmering	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**% industrieel**	**38%**	**32%**	**39%**	**48%**	**13%**	**36%**			
TOTAAL toegezegd	**€ 102,96**	**€ 98,63**	**€ 61,50**	**€ 61,15**	**€ 61,15**	**€ 385,39**									**TOTAAL Lopend**
bedrijfsleven in cash	€ 26,71	€ 25,67	€ 12,41	€ 12,41	€ 12,41		€ 49,84	€ 15,43	€ 7,10	€ 16,91	€ 0,33	23%	€ 89,61		bedrijfsleven in cash
bedrijfsleven in kind	€ 10,44	€ 10,38	€ 10,02	€ 10,02	€ 10,02		€ 42,06	€ 1,00	€ 0,72	€ 5,77	€ 1,34	13%	€ 50,88		bedrijfsleven in kind
nationale overheid	€ 22,99	€ 21,96	€ 21,62	€ 21,62	€ 21,62		€ 75,93	€ 14,50	€ 0,69	€ 11,48	€ 7,20	28%	**€ 109,80**	mn FES	nationale overheid
regionale overheid	€ 2,00	€ 1,90	€ 1,90	€ 1,90	€ 1,90		€ 6,10	€ 0,00	€ 0,00	€ 3,52	€ 0,00	2%	€ 9,62		regionale overheid
NWO	€ 16,62	€ 16,62	€ 1,17	€ 1,17	€ 1,17		€ 13,00	€ 20,90	€ 0,00	€ 0,75	€ 2,10	10%	€ 36,75		NWO / NGI
TNO	€ 1,01	€ 0,83	€ 0,13	€ 0,13	€ 0,13		€ 0,18	€ 0,00	€ 1,40	€ 0,63	€ 0,00	1%	€ 2,21		TNO
DLO-BO	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00		€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,01	€ 0,00	0%	€ 0,01		DLO-BO
DLO-KB	€ 0,37	€ 0,37	€ 0,35	€ 0,00	€ 0,00		€ 0,05	€ 0,50	€ 0,00	€ 1,24	€ 0,00	0%	€ 1,79		DLO-KB
ECN	€ 3,29	€ 3,29	€ 0,47	€ 0,47	€ 0,47		€ 0,00	€ 1,00	€ 5,64	€ 1,35	€ 0,00	2%	€ 7,99		ECN
kennisinstellingen	€ 12,91	€ 12,02	€ 11,02	€ 11,02	€ 11,02		€ 44,89	€ 8,60	€ 0,00	€ 2,55	€ 1,96	15%	€ 58,00		kennisinstellingen
EU middelen (KP7 ed.)	€ 6,60	€ 5,57	€ 2,40	€ 2,40	€ 2,40		€ 12,03	€ 0,00	€ 4,34	€ 2,98	€ 0,00	5%	€ 19,35		EU middelen (KP7 ed.)
generiek middelen: oa. Innovatiefonds MKB+, IPC	€ 0,01	€ 0,01	€ 0,01	€ 0,01	€ 0,01		€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,06	€ 0,00	0%	€ 0,06		generiek middelen: oa. Innovatie
anders	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00		€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	0%	€ 0,00		anders
						Totalen	**€ 244,08**	**€ 61,93**	**€ 19,88**	**€ 47,25**	**€ 12,94**	**100%**	**€ 386,08**		
						BioChemical	**€ 195,27**	**€ 43,35**	**€ 0,00**	**€ 23,63**	**€ 6,47**	**70%**	**€ 268,71**		
Naam workpackage 2						**BioEnergy**	**€ 48,82**	**€ 18,58**	**€ 19,88**	**€ 23,63**	**€ 6,47**	**30%**	**€ 117,37**		