

Resultaten NEO-brainstorm biotechnologie & energie

Liggen er nog ideeën op de plank?

SenterNovem heeft een speciaal programma voor ‘wilde’ ideeën op het gebied van energieonderzoek: Nieuw Energie Onderzoek (NEO)¹. Hoewel dit programma behoorlijk succesvol is heeft SenterNovem nog het gevoel dat er nog veel ideeën op de plank liggen. Daarom organiseerde SenterNovem onder andere een brainstormsessie² over hoe biotechnologie is in te zetten voor een duurzame energiehuishouding.

Doel brainstorm

Het doel van de brainstorm was om interessante ideeën te verzamelen en deze verder op te werken. In dit artikel worden de resultaten beschreven. De beschikbare tijd voor het nader uitwerken was maar beperkt. Verder is er vaak enige discussie over ‘wilde’ ideeën. In dit artikel schetsen wij dan ook slechts mogelijke perspectiefrijke ideeën. Een nadere verkenning, bijvoorbeeld naar ontwikkelingen in het buitenland, zal altijd nodig zijn. Het einddoel is te komen tot nieuwe invalshoeken en onderzoekers te inspireren tot niet-conventioneel energieonderzoek.

Voordelen biotechnologie

De brainstorm ging vooral over de groene en witte biotechnologie. Grote voordelen van biotechnologie ten opzichte van alternatieve technologieën zijn:

- lagere en constante temperaturen;
- lagere druk;
- waterbesparing;
- niet-fossiele grondstoffen en enzymen zijn biologisch afbreekbaar;
- integratie van processtappen;
- productie van materialen en chemicaliën.

Chemische processen vinden over het algemeen bij veel extremere omstandigheden plaats, maken vooral gebruik van fossiele brandstoffen en produceren ook chemisch afval.

Rode draden

Tijdens de brainstorm kwamen de volgende rode draden naar voren:

- streef naar decentrale energieproductie uit biomassa;
- maak optimaal gebruik van biomassa (bioraffinage).

Biomassa is doorgaans decentraal aanwezig. Dit pleit voor het decentraal produceren van energie en chemicaliën. Transport (van water en grond) wordt zo tot een minimum beperkt. In beginsel gaat het om het opwerken van de biomassa met eenvoudige technieken om water, grond en zouten te scheiden (bijvoorbeeld met membranen) en het openbreken van cellen (bijvoorbeeld met genetisch gemodificeerde micro-organismen).

Daarnaast gaat het om het decentraal opwekken van energie uit biomassa met nieuwe of verbeterde high-tech installaties. Dit werd nog eens ondersteund door de ideeën die tijdens de brainstorm naar voren kwamen. Veel ideeën betreft technologie die prima decentraal is in te zetten, bijvoorbeeld een biobrandstofcel.

¹ NEO is een subsidieprogramma van het ministerie van Economische Zaken dat door SenterNovem wordt uitgevoerd voor het stimuleren van niet-conventioneel energieonderzoek. Zie www.senternovem.nl/neo

² Aan de brainstorm hebben onderzoekers meegewerkt van: WUR, TNO, ECN, Wetsus, Avans, Niaba, Paques.

Een tweede rode draad is het optimaal gebruiken van biomassa, de gedachte achter bioraffinage. Dit is het fractioneren van biomassa in verschillende 'producten' die al dan niet na een verdere bewerkingen afzonderlijk zijn af te zetten. Deze producten hebben doorgaans een veel hoger fossiel grondstof besparende bijdrage dan louter toepassingen op gebied van warmte en elektriciteit. Door met behulp van biotechnologie de samenstelling van het planten materiaal te veranderen kan in de toekomst bioraffinage technologie nog meer bijdragen aan economie en CO₂ reductie

Mogelijke perspectiefrijke ideeën

Bioraffinage

Het doel van onderzoek naar bioraffinage is het fractioneren van de grondstof biomassa in hoogwaardige deelcomponenten waarbij het aantal omzettingstappen en verliezen tussen de grondstof en het product wordt geminimaliseerd en exergetisch geoptimaliseerd. Bioraffinage is geen nieuw concept. Het komt overeen met het raffineren van suiker of soja-olie. Het inzetten van bioraffinage voor een duurzame energiehuishouding staat echter nog in kinderschoenen. Een belangrijk knelpunt is dat je voor de productie van energie grote volumes biomassa nodig hebt. Het blijkt lastig te zijn om alle deelproducten goed af te zetten. Met bioraffinage gaan de productie van voedsel, grondstoffen en energie hand in hand. Ook is de grondstofwaarde van de biomassa te verdubbelen. Uitdagingen bij bioraffinage zijn:

- raffineren van bulkchemicaliën als gefunctionaliseerde chemicaliën, maar ook fermentatiegrondstoffen als suiker en zetmeel;
- bruikbaar maken van stoffen als lignine als grondstof voor fermentatie;
- verwerken van heterogene biomassastromen;
- het 'vissen' van de gewenste stoffen uit de verdunde oplossing via een thermodynamisch geoptimaliseerde scheidingstechnologie.

De ultieme uitdaging bij bioraffinage is uiteraard het sluiten van de kringloop. De sleutel bij bioraffinage ligt bij het koppelen van diverse technologieën op het gebied van scheiding en conversie. De deelnemers van de brainstorm zagen veel perspectief in bioraffinage. Zou het niet mooi zijn als Rotterdam in de toekomst het centrum van bioraffinage is voor Europa?

Leren van de sidderaal

De sidderaal (*Electrophorus electricus*) is een zoetwatervis en leeft in het Amazonegebied. De sidderaal is eigenlijk een zeer krachtige batterij met vinnen. Wat uiterlijk betreft lijkt de sidderaal op een aal, maar behoort tot de karperachtigen en meervallen. Met hun gespierde lijf kunnen ze krachtige elektrische schokken afgeven, tot 600 volt. Ze gebruiken deze stroomstoten om een prooi te verlammen of een belager af te schrikken.

600 volt is genoeg om een paard te doden. Prooidieren worden verdoofd met het 'orgaan van Hunter' dat aan de buikzijde ligt. Met het in de staart gelegen 'orgaan van Sach' worden zwakke elektrische impulsen geproduceerd, die ze kunnen gebruiken om hun omgeving te verkennen.

Elektrische vissen zoals de sidderaal wekken stroom op in gemodificeerde spiercellen, zogenaamde elektrocyten. In aanleg zien deze cellen eruit als spiercellen, maar tijdens hun ontwikkeling blijft het vermogen om samen te trekken achter. Ze produceren alleen nog de bij de spiercontractie behorende elektrische impuls, de actiepotentiaal. Zo'n actiepotentiaal komt per cel ongeveer overeen met een batterijspanning van 0,1 volt.

Wanneer meerdere elektrocyten gelijktijdig een actiepotentiaal afvuren, ontstaat een elektrische schok. Het aantal elektrocyten dat achter elkaar (in serie) ligt, bepaalt de spanning. De stroomsterkte wordt bepaald door het aantal cellen dat naast elkaar (parallel) ligt. Net als

bij spiercellen wordt de vorming van de elektrocyten gestimuleerd door geslachtshormonen zoals anabole steroïden. Anabolen hebben een soort ‘elektrisch bodybuilden’ tot gevolg. Lange tijd waren er alleen vissen bekend die sterke stroomstoten gaven. Soortgelijke organen zijn ondertussen ook aangetroffen bij een groot aantal andere vissoorten. Een aantal onderzoekers gaat nog verder en stelt dat alle levende cellen het vermogen bezitten om elektrische potentiaalverschillen op te wekken.

Er zijn al toepassingen die geïnspireerd zijn op de werking van elektrocyten zoals bij de sidderaal. Een mooi voorbeeld is een elektrisch ‘scherm’ in zee om haaien op een afstand te houden. Dit werkt volgens het principe van schrikdraad. Uit een scan naar octrooien blijkt dat het aantal documenten op het gebied van de sidderaal nihil is.

De elektrische energie gemaakt door de sidderaal is afkomstig van organische stof (biomassa). Dit sluit aan bij de ideeën om direct uit biomassa elektriciteit te maken. Met kennis van de werking van elektrocyten is dit proces mogelijk na te maken met behulp van bacteriecellen. Een belangrijke uitdaging is hierbij wel het sterk verhogen van de energiedichtheid.

Een andere idee dat naar voren kwam was het maken van een kunstmatige membraan met natuurlijke materialen.

Fotosynthetische celmembraan

Een fotosynthetisch celmembraan werkt als een biobatterij, waarbij eiwitten heel efficiënt lichtenergie omzetten in bruikbare energie. Onderzoekers aan de universiteit van Leiden proberen deze werking te ontrafelen met een Atomic Force Microscope. Men ontdekte dat de eiwitten zich veel ordelijker gedragen dan tot nu toe bekend was.

Micro-organismen die elektronen overdragen

Het vermogen van micro-organismen om elektronen over te dragen is een wezenlijke nieuwe invalshoek. Dit brengt nieuwe mogelijkheden met zich mee, waarschijnlijk meer dan alleen elektriciteit opwekken.

Bepaalde micro-organismen hebben het vermogen om bij de oxidatie van biomassa elektronen af te staan aan elektroden en zo elektriciteit op te wekken. Het achterliggende mechanisme is vooralsnog niet opgehelderd. Men denkt dat er in de elektrochemische cel competitie ontstaat tussen micro-organismen welke in staat zijn om hun elektronen af te staan aan de elektrode ten koste van micro-organismen die hiertoe niet in staat zijn.

Op laboratoriumschaal is een energetisch rendement van boven de 60 procent aangetoond.

Verder blijkt uit recent onderzoek dat ook bacteriën waarvan dit tot nu toe niet bekend was, elektriciteit kunnen produceren. Ook micro-organismen als gisten en enzymen kunnen elektriciteit produceren. Toch lijkt het er op dat bacteriën het meeste perspectief bieden.

Gisten zijn trager en geven minder elektrisch vermogen, enzymen zijn veelal te duur. Over het produceren van elektriciteit door schimmels is niets gevonden.

De grootste uitdaging bij het produceren van elektriciteit door bacteriën uit biomassa is het verhogen van het elektrisch vermogen.

Verder is het belangrijk om een onderscheid te maken tussen het voorbereiden van biomassa en de overdracht van elektronen. Gisten, schimmels, bacteriën en fysisch-chemische processen kunnen mogelijk een rol spelen bij het voorbereiden van biomassa en het beschikbaar maken voor de elektriciteitsproducerende bacteriën. Een idee voor vervolgonderzoek was dan ook: hoe is biomassa met micro-organismen optimaal voor te bewerken voor bacteriën die elektriciteit produceren?

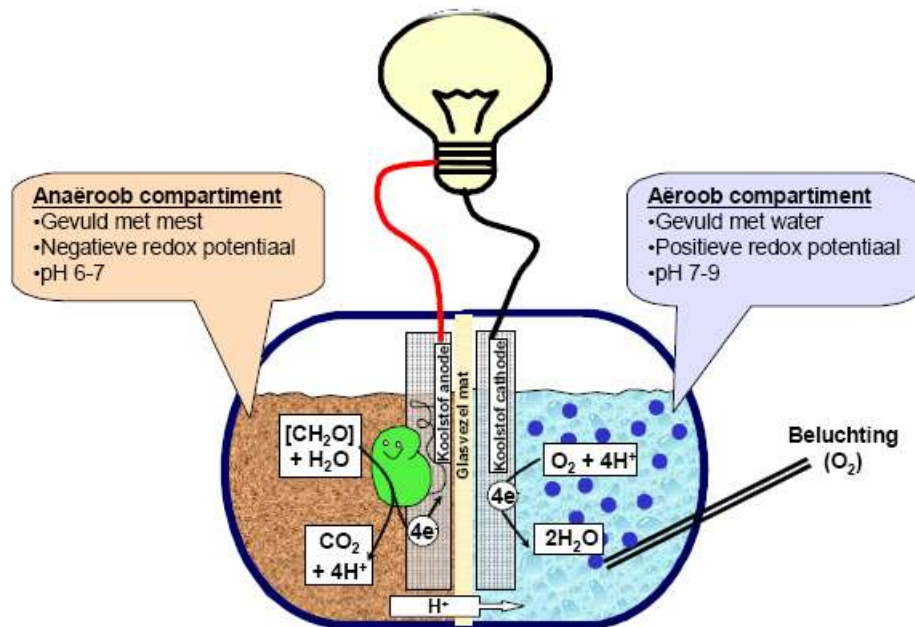
Uit de octrooiscaan blijkt dat er weinig octrooien zijn op dit terrein.

Biobrandstofcel

Een biobrandstofcel maakt direct uit biomassa stroom. Verder kent het een eenvoudig werkingsprincipe en geen bewegende onderdelen waardoor in theorie de investeringskosten laag en betrouwbaarheid hoog is. Ook komen minder schadelijke emissies vrij dan bij anaërobie vergisting.

Een biobrandstofcel maakt gebruik van het vermogen van bacteriën om elektronen af te staan aan elektroden en is in staat natte biomassastromen om te zetten in elektriciteit met (in theorie) een maximaal rendement van 65%. De werking is grotendeels vergelijkbaar met de conventionele brandstofcel. Een biobrandstofcel kent zelfs een aantal extra voordelen, zo kunnen meerdere brandstoffen worden gebruikt, is het systeem simpeler, goedkoper en is er geen vervuiling op de onderdelen.

TNO-MEP heeft voor de biobrandstofcel onderzocht welke biomassastromen potentieel interessant zijn en komt uit op meer dan 100 PJ. Dit betreft vooral mest, in de berekeningen zijn houtige stromen niet meegenomen omdat deze zonder fysisch-chemische voorbereiding (ontsluiting) niet geschikt zijn voor een biobrandstofcel.



De belangrijkste uitdaging bij de biobrandstofcel is het vergroten van de vermogensdichtheid van 500 mW/m^2 naar 5 W/m^2 . Dit kan op vele manieren. De bacteriepopulatie is bijvoorbeeld te sturen via de temperatuur op moment van afname elektriciteit. Een andere mogelijkheid is het werken met micro-organismen die in staat zijn om bij lagere pH elektronen af te staan aan een anode, bijvoorbeeld bacteriën die voorkomen in geisers.

Een andere uitdaging is het verlagen van de kostprijs. Nu ligt de terugverdientijd van een biobrandstofcel tussen de 10 en 50 jaar. Dit kan door bijvoorbeeld combinaties met afvalwaterzuivering, gierkelders of septic tanks. Ook moet gezocht worden naar goedkopere elektrodes, deze zijn meestal kostenbepalend in een biobrandstofcel.

De deelnemers aan de brainstorm vonden het belangrijk dat er een vervolg komt op het onderzoek naar biobrandstofcellen. Ook de octrooiscaan ondersteunt dit, er zijn weinig octrooien op het gebied van de bio-brandstofcel.

Genoemd als nader te onderzoeken zijn specifieke types als de buis-biobrandstofcel. Dit concept, dat lijkt op een lange tuinslang, is ontworpen om verstoppingen en beschadigen van membranen en elektrodes te voorkomen. Een buis-biobrandstofcel kan in zijn geheel in bijvoorbeeld een mesttank worden geplaatst.

Een ander idee is membranen uit andere installaties, bijvoorbeeld een afvalwaterinstallatie, tevens te gebruiken als biobrandstofcel. Bij een afvalwaterinstallatie is hierdoor de slibproductie met 30% te reduceren.

Een derde idee wat het combineren van nieuwe vormen van biomassa als algen met het idee van de biobrandstofcel.

Bio-hydrogeneren

Is het industriële hydrogeneren te vervangen door een proces met micro-organismen die biologisch waterstof produceren?

Recentelijk is aangetoond dat je stroom kunt gebruiken om met behulp van micro-organismen waterstof te maken. Hierdoor wordt het mogelijk om micro-organismen te dwingen waterstof uit bijvoorbeeld acetaat te maken. Een belangrijk pluspunt zou zijn dat een waterstofinfrastructuur zo niet meer nodig is.

Een ander idee was of bio-hydrogeneren aan de kathode en een biobrandstofcel te combineren zijn? Zo'n combinatie zou waterstof maar ook elektriciteit kunnen maken en alles dat hier tussen ligt.

Uit de octrooiscaan blijkt dat er weinig documenten zijn op dit terrein.

Biomimetische katalysatoren

Natuurlijke enzymen (hydrogenasen) die waterstof produceren bestaan uit een eiwit deel en een katalytisch centrum. De structuur is recent opgehelderd. De actieve centra blijken te bestaan uit eenvoudige, anorganische, goedkope elementen. Door deze katalytische centra na te bouwen zijn dure katalysatoren van platina niet meer nodig. Eerste proeven laten zien dat dit mogelijk zeer efficiënte katalysatoren zijn voor toepassing in brandstofcellen en electrolysesystemen.

Voor een toekomstige waterstofeconomie kunnen deze katalysatoren grote betekenis hebben omdat het rendement van de omzetting van waterstof naar elektriciteit (en omgekeerd) fors kan worden verhoogd tegen relatief lage kosten. Daarnaast zijn deze katalysatoren potentieel bruikbaar om industriële productieprocessen milieuvriendelijker te maken.

In het jaar 2001 is de eerste actieve 'biomimetische' katalysator gesynthetiseerd. Daarnaast hebben proeven met intact enzym (eiwitdeel + katalytisch centrum) gehecht aan een elektrode-oppervlak laten zien dat de katalysator dezelfde activiteit heeft als een platina elektrode. Er worden nog voortdurend nieuwe hydrogenasen gekarakteriseerd (o.a. in extremofiele micro-organismen) met bijzondere eigenschappen. Is het mogelijk om katalysatoren te ontwikkelen op basis van natuurlijke katalysatoren?

Belangrijke uitdagingen zijn het verwerven van kennis over het reactiemechanisme en de synthese van de katalysatoren. Dit vereist ontwikkeling op het gebied van onder meer coördinatiechemie en materiaalkunde. Het aantal octrooien is nihil.

Hoge druk fermentatie

Diep in de ondergrond en in de zee leven bacteriën (extremofielen) die biomassa omzetten in oliën. Is dit principe toe te passen om biomassa onder hoge druk op te waarderen?

Aan biomassa zou bijvoorbeeld waterstof kunnen worden toegevoegd en om dit vervolgens onder hoge druk met bacteriën te hydrogeneren tot olie.

Een extremofiel is een micro-organisme dat in extreme omstandigheden leeft. Deze groep organismen bestaat onder andere uit schimmels, algen en bacteriën. Sommige extremofielen hebben eigenschappen die niet bij andere levende wezens voorkomen: leven onder hoge druk, ze hebben geen zuurstof nodig, kennen geen fotosynthese, gebruiken waterstof als voedsel en maken methaan. Extremofielen die geen zuurstof nodig hebben, gebruiken in plaats daarvan zwavel, nitraat, sulfaat of een andere stof.

Op celniveau hebben diepzee-organismen andere membraanvetzuren dan hun ondiep levende familie waardoor de celmembraan ook bij lage temperatuur ‘vloeibaar’ blijft. Ook zijn hun enzymsystemen aangepast.

Een jaar of 10 geleden zijn er, onder andere in Nederland, proeven gedaan met ‘deep shaft’ reactoren. Geprobeerd is met een reactor van 1 kilometer diep in de grond uit biomassa olieachtige substraten te maken. Mogelijk liggen hier kansen met de huidige stand van de techniek.

Een sterk punt van hoge druk fermentatie is dat dit terrein waarschijnlijk nog onontgonnen is. Er blijken weinig octrooien te zijn op dit gebied. Hoge druk fermentatie was onder de deelnemers niet helemaal onomstreden. Een deel zag er niets in, een deel zei dat dit juist de reden is om dit ‘wilde’ idee verder te onderzoeken.

Aquatische biomassa

Voor een duurzame energiehuishouding is er te weinig biomassa in Nederland beschikbaar. Volgens de deelnemers van de brainstorm is vooral aquatische biomassa een interessante optie. Deze biomassa wordt in of op het water geteeld. Voorbeelden van aquatische biomassa zijn:

- **microalgen:** zijn microscopische, eencellige planten die groeien in water met behulp van zonlicht als energiebron en eenvoudige minerale voedingsstoffen. De productie bij algen ligt twee tot vijf keer hoger dan bij traditionele landbouwgewassen.
- **zeewieren (macroalgen):** deze kunnen worden gebruikt voor de productie van bio-energie (biogas, bio-ethanol, bio-olie), bulkchemicaliën en fijnchemicaliën.
- **waterplanten:** deze kunnen energie leveren en een belangrijke rol spelen bij het beheer van de waterkwaliteit.
- **echinodermen:** zeesterren, kamsterren, slangsterren en zeeklitten vormen een zeer grote biomassa op de bodem van het Nederlandse deel van de Noordzee.

Zeegrassen

Tot aan de 30-er jaren van de vorige eeuw was het oogsten van zee gras (*Zostera marina*) in de Waddenzee een economisch belangrijke activiteit waar het eiland Wieringen nog zijn naam aan dankt. Het zee gras, geraapt van de dijk, of actief geoogst met zeisen en speciale wierharken en trawls vanaf bootjes, werd gebruikt als vulling van matrassen en als isolatiemateriaal in huizen. In het jaar 1919 was nog 15.000 ha aanwezig, na de jaren 30 niets meer.

Een valkuil is dat te snel aan het telen van aquatische biomassa op zee wordt gedacht. Het zou bijvoorbeeld goed zijn om alle mogelijke alternatieven om bijvoorbeeld 10.000 hectare algen te kweken op een rij zetten en met elkaar te vergelijken.

Voor uitsluitend energieproductie lijken de kosten van ‘offshore’ geteelde biomassa te hoog. Een tweede denkrichting is dan ook het combineren van functies. Hierdoor is de infrastructuur (op zee) meermalig te gebruiken. Alleen dan zal het telen op zee (commercieel) interessant worden. Opmerkelijk is bijvoorbeeld dat een golfcentrale veel moeite doet om het zeeleven buiten te sluiten, terwijl vissers er alles aan doen om dit zeeleven te vangen. Genoemde combinaties zijn windenergie, golfenergie, voedselproductie, waterrijke landschappen en kunstmatig rif.

Daarnaast biedt vooral het telen van biomassa in zout water en voor hoogwaardige toepassingen veel perspectieven. Het telen in zoutwater is vanuit mondiaal perspectief interessanter, zoetwater is immers schaars. Hoogwaardige toepassingen, bijvoorbeeld voor voedselproductie of chemicaliën, zijn nodig om een project rendabel te maken. De reststroom kan gebruikt worden om energie te produceren. Een voorbeeld is de integratie van de teelt van zeeieren en mosselen.

Het aantonen dat aquatische biomassateelt geen ecologische schade geeft is een belangrijke vervolgstap. Een pilot-experiment in de Noordzee is dan ook wenselijk. Ook andere niche-gebieden zijn denkbaar, bijvoorbeeld: Eems-Dollardgebied, brakke Veerse Meer, zoute Grevelingen, niet meer in gebruik zijnde havenbassins en bouwdokken en rond elektrische centrales (Eemshaven, Maasvlakte, Borssele).

Daarnaast zijn het ontwerp van het kweekstelsel en de productiviteit belangrijke onderwerpen voor nader onderzoek. Door nutriënten toe te voegen is de productie van droge stof met 150% te verhogen, aan de andere kant moet eutrofiering worden voorkomen. Dit is een belangrijk dilemma.

Tot slot is aquatische biomassa bij uitstek geschikt voor bioraffinage. Is het produceren van aquatische biomassa en het concept bioraffinage aan elkaar te koppelen? Bijvoorbeeld door te raffineren op zee.

Anaerobe bacteriën

Vanuit energie geredeneerd zou vooral naar anaërobe micro-organismen moeten worden gekeken omdat deze een betere energie-economie hebben. Aëroben consumeren vooral energiedragers, terwijl anaëroben ze juist kunnen behouden/converteren. Strikt genomen hoeven het zelfs geen anaërobe bacteriën te zijn maar wel anaërobe condities.

Een idee was coproductie van PHA en energiedragers (bijv. ethanol) door anaërobe organismen. Bepaalde bacteriën zijn in staat om uit hernieuwbare substraten een biologisch afbreekbaar polymeer te maken: PHA. Dit materiaal kan uit de micro-organismen worden gewonnen en worden gebruikt als afbreekbaar 'kunststof'.

Energie-intensieve industrie

Door thermische processen in de industrie te vervangen door biologische processen is veel energie te besparen. Naast de chemische en voedingsmiddelenindustrie valt ook te denken aan de (basis)metaalindustrie. Het is mogelijk om met micro-organismen metalen uit te logen, te concentreren en te verwijderen. Bij bodemsanering en in de mijnbouw maakt men al gebruik van micro-organismen.

Een voorbeeld van het toepassen van biologische processen in de industrie is de productie antibioticum. Bij DSM hebben ze het aantal stappen voor de productie van het antibioticum Cephalexin flink weten te reduceren door biotechnologie toe te passen. Dit proces gebruikt een combinatie van fermentatie en enzymen. De kosten zijn met 50% gereduceerd. Het energiegebruik is met 65% teruggebracht.

Het NIIB gaat zich op de chemische en voedingsmiddelenindustrie richten. Het toepassen van micro-organismen in de (basis)metaalindustrie is nog een braakliggend terrein. Hoewel het idee om bacteriën in te zetten om metalen te winnen niet nieuw is, is het nog nooit tot een serieuze aanpak gekomen. Een idee tijdens de brainstorm was dan ook: welke micro-organismen (extremofielen) zijn potentieel interessant om processtappen bij de energie-intensieve industrie te vervangen? Bijvoorbeeld winning van metalen uit bauxiet en ijzererts. Naast micro-organismen bieden planten potentieel ook mogelijkheden om (lage concentraties) metalen of andere waardevolle stoffen te concentreren en te winnen.

Zinkviooltje als ijzervreter

In Limburg en net over de grens in België en Duitsland komt het zinkviooltje (*Viola calaminaria*) voor dat zich heeft aangepast aan een overmaat aan zink. Het zinkviooltje wordt in Nederland wettelijk beschermd.

De zink in het gebied langs de Geul is afkomstig van de zinkmijnen die tussen 1860 en het begin van de 20^e eeuw werden geëxploiteerd. Op oude mijnterreinen liggen nog steeds zinkhoudende slakken.

Andere planten die van een zinkhoudende bodem houden zijn de gele dovenetel, de zinkboerenkers, de zinkblaassilene en het zinklepelblad.

Veel plantensoorten zijn niet bestand tegen hoge concentraties zink: het zinkviooltje echter wel. Het ziet er naar uit dat het zinkviooltje het beste gedijt bij een bepaalde verhouding tussen kalk (mergel) en zink in de bodem. Zodra het Geulwater rijkelijk gevoed wordt met het water uit de mergellagen, zien we geen zinkviooltjes meer. Kalk en zink lijken vijanden van elkaar.

Metaaltolerantie maakt planten en dieren minder gevoelig voor de schadelijke effecten van metalen in vervuilde bodems. Het onderzoek aan de evolutie van metaaltolerantie is in volle gang. Het bijzondere is dat deze evolutie zich vaak afspeelt in een periode van slechts enkele decennia, in plaats van miljoenen jaren, zodat in dit systeem evolutie *real time* kan worden bekeken. Plekken als het Geuldal bieden een prachtige kans om evolutie in actie te zien.



Minder perspectief

Uiteraard waren er ook ideeën die na enig onderzoek toch niet perspectiefrijk bleken te zijn:

- **Terug naar de septic tank:** Het opnieuw op de tekentafel leggen van de septic tank leverde geen (nieuwe) inzichten op. Niet zozeer de septic tank zelf, maar het scheiden van afval(water)stromen op decentraal niveau is een belangrijke nieuwe invalshoek. Op dit gebied lopen er een aantal pilot-projecten. Verder richt het NIIB³ zich onder andere op een fundamentele verandering van het vergistingsproces. Een uitdaging is bijvoorbeeld het vergisten van houtige of vervuilde biomassa. Dit onderzoeksgebied is dus ‘onderdak’ bij het NIIB. Verder blijken er al veel octrooien te zijn op dit gebied.
- **Energieteelt op land:** Hoewel de beschikbaarheid van voldoende biomassa een probleem is zijn er niet echt nieuwe invalshoeken voor energieteelt op land naar voren gekomen.⁴
- **Vraagafhankelijk energie produceren:** Vraag en aanbod van duurzame energie sluit vaak niet op elkaar aan. Een oplossingsrichting, naast energieopslag, is vraagafhankelijk produceren. Biomassa zelf is afroepbaar en dus prima vraagafhankelijk in te zetten. Technologieën die biomassa omzetten in energie zijn veelal traag en moeilijk te sturen. De reactietijd ligt tussen een dag en een week. Verder moeten veel biomassa-installaties het maximaal aantal bedrijfsuren draaien om de investering rendabel te maken. Een installatie een tijdje ‘uit’ zetten is dan geen optie.

Tot slot valt op dat een aantal (centrale) technieken als het bijstoken en vergassen van biomassa weinig zijn genoemd in de brainstorm, terwijl er ook op deze terreinen nieuwe ontwikkelingen zijn.

³ Netherlands Institute for Industrial Biotechnology (NIIB) is een publiek-private samenwerkingsverband dat zal gaan lijken op een Technologisch Topinstituut, zie ook www.niib.nl.

⁴ Wanneer het begrip energieteelt ruimer wordt gezien en hier ook het besparen van fossiele grondstoffen onder valt dan biedt juist de bioraffinage van chemicaliën en transportbrandstoffen uit geschikte biomassateelt wel soelaas.