



Vlaams
Parlement

stuk **1414** (2011-2012) – Nr. 1
ingediend op 21 december 2011 (2011-2012)

Voorstel van resolutie

van de heren Filip Watteuw en Hermes Sanctorum
en mevrouw Elisabeth Meuleman

betreffende de bevordering
van duurzaam nanotechnologisch onderzoek
en duurzame nanotechnologische toepassingen
in Vlaanderen

TOELICHTING

1. Nano

Nanotechnologie is de manipulatie van materialen op schaal van atomen, moleculen en supramoleculaire structuren van 1 tot 100 nanometer (nm).¹ De internationale milieubeweging Friends of the Earth trekt de range open tot 300 nm.² Een nanometer is een miljardste deel van een meter. Ter vergelijking: een haar is 80.000 nm dik, een rode bloedcel ongeveer 7000 nm groot en een watermolecule heeft een doorsnede van 0,3 nm. Nanodeeltjes zijn even klein als of zelfs kleiner dan een griepvirus ... Op dit zeer kleine niveau blijkt de materie nieuwe fysische, biologische en chemische eigenschappen te vertonen die ze niet heeft in het groot of 'in bulk'. Nanodeeltjes blijken beter geleidend, beter oplosbaar, zijn meer geschikt als katalysator enzovoort. Het gaat om kwantummechanische effecten, maar ook om chemische eigenschappen. De meest genoemde reden is dat nanodeeltjes verhoudingsgewijs een veel grotere oppervlakte hebben in verhouding tot hun massa en dat ze daardoor veel sterker reageren.

2. Nanotechnologie

De verwachtingen ten aanzien van nanotechnologie blijven hoog gespannen. Velen zien in nanotechnologie de motor van een nieuwe technologische en economische ontwikkelingsgolf. Nanotechnologie wordt dan dikwijls in één adem genoemd met andere nieuwe technologieën. Het Nederlandse Rathenau Instituut spreekt in dat verband van de 'NBIC-convergentie' van nieuwe technologieën (NBIC = samengaan van nanotechnologie, biotechnologie, informatietechnologie en neurotechnologie).³ Futuristische verwachtingen over moleculaire machines of nano(ro)bots die de materie van onderop herbouwen of de transhumanistische utopie van een complete transformatie van de mens, liggen nog veraf. Voorlopig blijft nanotechnologie zeer 'down to earth': het gaat vooral om het verbeteren van eigenschappen van materialen. Maar het is wel een feit dat nanomaterialen steeds meer gebruikt worden in de industrie en dat producten op basis van nanomaterialen steeds verder doordringen in ons dagelijkse leven tot in de lichaamshygiëne en de voeding toe.

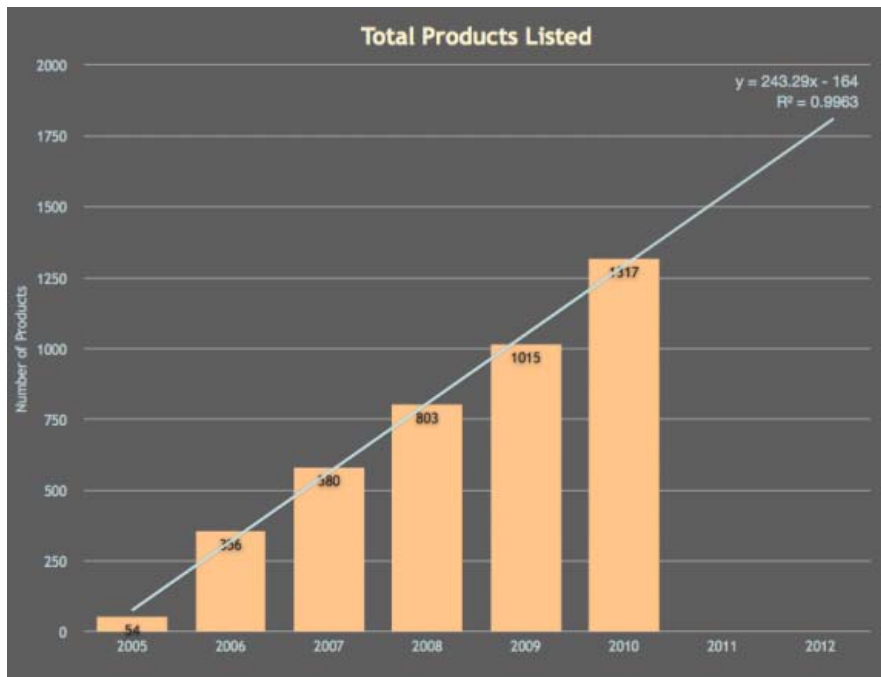
Volgens de inventaris van nanoprodukten van het 'Project on Emerging Nanotechnologies'⁴ zijn er momenteel al meer dan 1300 nanoprodukten op de markt.

¹ viWTA-dossier, 'Nanotechnologie: stand van zaken', 2005.

² Friends of the Earth, 'Discussion Paper on nanotechnology standardization and nomenclature issues', 2008.

³ Rathenau Instituut, Tsjalling Swierstra e.a. (red.), 'Leven als Bouwpakket. Ethisch verkennen van een nieuwe technologische golf', Klement, 2009 – zie ook viWTA-dossier, 'Convergerende Technologieën', 2007.

⁴ Project on Emerging Nanotechnologies, Pew Charitable Trusts en Woodrow Wilson International Center for scholars: http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/analysis_draft/.



Milieu- en verbruikersbewegingen zien dat met lede ogen aan. In de EU bestaan regels over van alles en nog wat. Maar nanoprodukten kunnen zonder enige regelgeving op de markt gebracht worden, in een ‘rechtsvrije ruimte’. De Canadese ETC-groep maakte een vernietigende analyse van het gebrek aan controle en regelgeving in Europa, de Verenigde Staten (VS) en de OESO-landen in het algemeen (OESO: Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling).⁵ Bestaande werkgroepen en vrijwillige codes zijn volgens de groep vooral ‘windowdressing’. Terwijl er al jaren ernstige waarschuwingen zijn van wetenschappers in verband met mogelijke risico’s van nanodeeltjes en nanovezels. En terwijl er ook vragen gesteld worden bij de maatschappelijke effecten van de introductie van nanotechnologieën en aanverwante technologieën in onze samenleving.

Men kan zelfs stellen dat het blijvende deficit rond EHS-onderzoek en EHS-regelgeving (EHS = environment, health and safety) een van de belangrijkste remmende factoren dreigt te worden voor een snelle doorontwikkeling van nanotechnologie. Want producenten beseffen maar al te goed dat bij de verdere introductie van nanoprodukten toch steeds meer vragen gesteld gaan worden en vrezen dus voor een ernstige terugslag als de publieke opinie zich tegen nanoprodukten zou keren vanwege reële of vermeende veiligheidsrisico’s. Enkel als de overheid een voldoende kader biedt en in overleg met burgers en verenigingen garanties kan bieden dat alle risico’s ernstig genomen en gecontroleerd worden, is een doorbraak van nanotechnologische toepassingen op grotere schaal mogelijk.

Sommige bedrijven schijnen dat al beter te begrijpen dan de meeste overheden. Een voorbeeld is de EHS-gedragscode voor het omgaan met nanomaterialen die Umicore voor zichzelf ontwikkelde.⁶ Umicore produceert nanodeeltjes zoals titaniumdioxide (Optisol UV Absorber), zinkoxide (Zano), ceriumoxide en nanozilver (NanoGrain).

Met de publicatie van het rapport ‘Nanotechnology, climate and energy: over-heated promises and hot air’⁷ zegde een deel van de milieubeweging de industrie ondubbelzinnig de wacht aan. Het rapport werd uitgebracht aan de vooravond van de klimaatop in Cancun.

⁵ The Big Downturn, ‘Nanogeopolitics’, Ottawa, 2010.

⁶ Introducing Umicore and its Nanotechnology, infosessie ‘Master Nanoscience and Nanotechnology’, Leuven, 23 april 2009.

⁷ Friends of the Earth, ‘Nanotechnology, climate and energy: over-heated promises and hot air?’, 2010.

De beloftes van nanotechnologie op het vlak van milieu, klimaat en energie zijn gebakken lucht, zegt de internationale milieuorganisatie Friends of the Earth. De productie van nanomaterialen kost veel meer energie en grondstoffen dan het uitspaart, verbruikt massa's water en chemicaliën en zorgt voor nieuwe vormen van vervuiling met nanodeeltjes. Het rapport zorgde voor verdeelde reacties, ook binnen de milieubeweging. Maar de publicatie van het rapport geeft aan dat het geduld en de goede wil aan de kant van de critici op zijn en dat er een nieuwe escalatie dreigt.

3. Participatie

Er werd de voorbije jaren nochtans gepleit voor meer overleg en participatie van burgers bij de ontwikkeling van nanotechnologie. Om een polarisatie te voorkomen. Want velen hadden zich voorgenomen om bij de introductie van nanotechnologie in de samenleving niet opnieuw dezelfde fouten te maken als bijvoorbeeld bij de inzet van asbest, DDT (dichloordifenyiltrichloorethaan), nucleaire technologieën en gentechnologieën en niet-ioniserende straling. Men zou het nu rationeler en in voortdurend overleg met het publiek aanpakken.

In Vlaanderen trok vooral het viWTA, nu het Instituut Samenleving en Technologie (IST), verbonden aan het Vlaams Parlement, aan de kar met opmerkelijke initiatieven zoals verschillende dossiers, publieke fora over nanotechnologie en het 'Nano Nu: technologie-festival' (op 8, 9 en 10 november 2007). Er was het onderzoeksproject 'NanoSoc' over de sociale gevolgen van nanotechnologie en er werd een burgerpanel opgezet waar burgers en wetenschappers elkaar konden ontmoeten. Mede op basis van dat voorbereidende werk werd door verschillende fracties samen een eerste voorstel van resolutie over nanotechnologie ingediend tijdens de vorige legislatuur.⁸ Met dat voorstel van resolutie wilden de toenmalige indieners de nanotechnologie in Vlaanderen bevorderen, en tegelijk meer aandacht vragen voor onderzoek naar de maatschappelijke effecten van de introductie van die technologie in Vlaanderen. Dat voorstel werd plenair goedgekeurd op 25 maart 2009. In de resolutie werd aan het samenwerkingsverband Flanders NanoBusiness Alliance⁹ gevraagd een gedragscode op te stellen in verband met gezondheid en milieu. Maar het initiatief Flanders NanoBusiness Alliance blijkt intussen op sterven na dood. Een overtuigende opvolging van de aanbevelingen van de resolutie laat ook voor de rest op zich wachten. Nu ook het IST zelf wordt afgebouwd, dreigt een belangrijke troef die Vlaanderen had, verloren te gaan: de inspanningen die gedaan werden om de relatie te leggen tussen (nano)technologie en samenleving, dreigen geen verder vervolg te kennen. Als de werkzaamheden van het IST elders worden hervat, kan men zich spiegelen aan het model van de werkzaamheden van de Nanokommission in Duitsland.¹⁰

Sinds het opstellen van de resolutie (2007) stond de ontwikkeling van de nanotechnologie echter niet stil. Vandaar dat de indieners van dit voorstel van resolutie een nieuw initiatief wensen te nemen om de noodzakelijke maatschappelijke discussie op het beleidsniveau te tillen.

Dat kan ook perfect passen in Europese inspanningen ter zake zoals bijvoorbeeld het 'NANOfutures'-initiatief.¹¹

In het Waalse Gewest werkt men al met NANOWIN (Nanotechnologies Wallonia Innovation).¹²

⁸ Resolutie van de heer Eloi Glorieux, mevrouw Monica Van Kerrebroeck en de heren Hans Schoofs, Robert Voorhamme, Jan Peumans en Rudi Daems betreffende de lancering van een Vlaams Actieplan Nanotechnologie met inschatting van de risico's voor mens en milieu, ingediend op 25 oktober 2007 (*Parl. St. Vl. Parl.* 2007-08, nr. 1379/1-3).

⁹ Opggericht in 2006 op initiatief van IMEC met steun van de toen bevoegde minister Fientje Moerman.

¹⁰ Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien. Bericht und Empfehlungen der Nanokommission 2011.

¹¹ Zie: <http://www.nanofutures.eu/>.

¹² <http://www.nanobelgium.org/index.html>.

In Vlaanderen speelt IMEC (Interuniversitair Micro-elektronicacentrum) een sleutelrol. Recent nog kondigde men aan dat de extra middelen voor innovatie die Vlaanderen heeft vrijgemaakt voor IMEC, prioritair zouden worden besteed aan onderzoek naar duurzame energie en nieuwe biomedische technologieën op basis van silicium nanotechnologie. Een andere hoofdrolspeler is de VITO (Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek).

Misschien is het tijd om de stap te zetten naar een echt innovatieplatform of een aparte competentiepool voor nanotechnologie, maar dan wel gekoppeld aan een duidelijke strategie gericht op duurzaamheid ...

4. Groene nanotechnologie

Een van de uitwegen uit de impasse die zich aandient, is om bij de ontwikkeling van nanotechnologie vanaf het begin duidelijk groene, duurzame keuzes te maken. Dat is ook de weg die de indieners van dit voorstel van resolutie kiezen. In plaats van de technologie te bevechten, willen we ervoor strijden om de technologie te vergroenen.

Er is de laatste jaren echter veel te vrijblijvend gesproken over ‘groene nanotechnologie’. Het gevolg is dat het middenveld bijzonder argwanend is geworden. Groene nanotech wordt door velen gezien als een hype, als ‘greenwashing’. Terwijl men achter deze facade van ‘upgreening’ onverstoorde doorgaat met risicovolle productieprocessen zonder enige terugkoppeling naar de samenleving.

In theorie heeft nanotechnologie tal van groene troeven te bieden: het werken op nanoschaal maakt schone productie mogelijk: een productie die energie-efficiënt is, veel spaarzamer is in het inzetten van grondstoffen en het vrijzetten van afval. Een productieproces ‘waarbij elke atoom telt’. Nanotechnologie maakt het mogelijk om giftige stoffen te vervangen, om materialen meer resistent te maken zodat ze langer meegaan. Groene nanotechnologie zou een perfect huwelijk kunnen aangaan met groene chemie en groene engineering. Nanotechnologie kan leiden tot het opschonen van bestaande productieprocessen. Beter nog is het om nieuwe producten en productieprocessen vanaf het begin groen te ontwerpen (ecodesign). Zo kan nanotechnologie de motor worden van een duurzame transitie van de industrie. “Op lange termijn kan er een nieuwe industriële ecologie ontstaan als nanomaterialen, aangemaakt door groene synthese, bestaande vervuilende materialen vervangen, als nieuwe nanomaterialen ontworpen worden via groene engineering en als enkel nog schone nanogebaseerde productietechnieken worden ingezet.”. Meer zelfs, om volwassen te worden, is een dergelijke vergroening van nanotechnologie een absolute voorwaarde.¹³

Dat is de theorie. Maar nanotechnologie in de praktijk is dikwijls een heel ander verhaal. Het komt er nu op aan de keuze voor een groene, duurzame ontwikkeling van nanotechnologie ook echt vorm te geven.

Volgens Barbara Karn heeft groene nanotechnologie twee doelstellingen:

- 1° nanomaterialen en nanoprodukten maken zonder de gezondheid en het milieu te schaden;
- 2° nanoprodukten maken die oplossingen bieden voor de ecologische uitdagingen waar we voor staan.¹⁴

Karn ziet nanotechnologie als een ‘enabling transformative technology’.

Om de groene nanotechnologie alle kansen te geven, is volgens de indieners van deze resolutie een actieve inbreng van de overheid nodig.

¹³ Karen F. Schmidt, Project on Emerging Nanotechnologies, Woodrow Wilson International Center for scholars/The Pew Charitable Trusts, ‘Green Nanotechnology: it’s easier than you think’, 2007 – dit is de weerslag van een overlegproces over groene nanotechnologie in 2006 in de VS.

¹⁴ Barbara Karn, ‘The Road to Green Nanotechnology’, Journal of Industrial Ecology, 2008.

De opdracht van een groen nanotechnologiebeleid is dan drievoudig:

- 1° de ontwikkeling van nanotechnologie bevorderen, maar dan vooral duurzaam nanotechnologisch onderzoek en duurzame nanotechnologische toepassingen;
- 2° de risico's van nanoproductie voor gezondheid en milieu in kaart brengen en voorkomen;
- 3° garant staan voor een blijvende betrokkenheid van de bredere samenleving bij de ontwikkeling van nieuwe technologieën.

5. Duurzaamheidstekorten

Veel groene claims die de industrie de voorbije jaren maakte over groene nanotechnologische ontwikkelingen, kan men bij nader inzien (voorlopig) niet waarmaken. Veel groene toepassingen zitten nog in een vroege experimentele fase. Grote doorbraken zijn er nog niet op het terrein.

De milieuorganisatie Friends of the Earth is dan ook ronduit pessimistisch en spreekt van 'gebakken lucht'.¹⁵

Zo bijvoorbeeld op het vlak van hernieuwbare energie. De efficiëntie in het omzetten van zonlicht in elektriciteit bij zonnepanelen op basis van nanomaterialen is 6 à 13% in vergelijking met 20% voor gewone zonnepanelen op basis van silicium. We zijn dus nog ver af van de door sommigen beloofde convergentie-efficiëntie van 60%. De nanozonnepanelen gaan ook minder lang mee. De nanomaterialen bevatten zware metalen en het recycleren van nanozonnepanelen blijkt bijzonder problematisch.

Bovendien is de energie- en milieubalans van de inzet van nanomaterialen, in vergelijking met conventionele materialen, negatief. Dat heeft alles te maken met de hoge energiekosten van de productie van alle soorten van nanomaterialen, nanopartikels, fullerenen, nanobuisjes.

Voor de productie van koolstof nanovezels is 13 tot 50 keer meer energie nodig dan voor het smelten van aluminium en 95 tot 360 keer meer dan voor de productie van staal. Ook de productie van polypropyleen vergt minder energie dan de nanoalternatieven.¹⁶ Enkelwandige nanobuisjes zijn een van de meest energie-intensieve materialen ter wereld. Daardoor worden de netto-energiekosten van nanotoepassingen in hernieuwbare energie of batterijen negatief. Zo bijvoorbeeld voor de aanmaak van windturbinewieken met nanomaterialen.

Een van de meest succesvolle toepassingen van nanotechnologie in de energiesector is de inzet van nanomaterialen voor een vlottere extractie van moeilijk bereikbare olie- en gasvoorraden, wat dan wel gepaard gaat met veel extra uitstoot van broeikasgassen en wat eerder bijdraagt aan het bestendigen van de afhankelijkheid van olie.

Een doorlichting van de mogelijke baten voor het klimaat van de inzet van nanotechnologie, in opdracht van het Britse milieuagentschap, is veel optimistischer.¹⁷ Onderzoekers ervan berekenden de positieve effecten van de introductie van groene nanotech voor brandstofefficiëntie, isolatie, zonnepanelen, energieopslag en de doorbraak van de waterstof-economie en kwamen uit op een verminderde uitstoot van broeikasgassen in het Verenigd

¹⁵ Friends of the Earth, 'Nanotechnology, climate and energy: over-heated promises and hot air?', 2010 – BUND (Freunde der Erde), 'Löst Nanotechnologie unsere Umweltprobleme?', 2010.

¹⁶ Vikas Khanna, Bhavik R. Bakshi, L. James Lee, 'Carbon Nanofiber Production: Life Cycle Energy Consumption and Environmental Impact', Journal of Industrial Ecology, 2008.

¹⁷ Oakdene Hollins, 'Environmentally Beneficial Nanotechnologies, Barriers and Opportunities', A report for the Department for Environment, Food and Rural Affairs, mei 2007.

Koninkrijk van 2% op korte termijn en zelfs van 20% tegen 2050. Maar aangezien het om een voorspelling op de lange termijn gaat (die sterk afhankelijk is van de verwachtingen inzake de waterstofeconomie) is dat plaatje wellicht wat al te rooskleurig.

Figure 1: Summary of environmentally beneficial nanotechnologies

Application	Impact of nanotech in area ¹	Infra-structural changes ²	Benefit (Mte CO ₂ per annum) ³	Timescale for implementation (yrs) ⁴
Fuel efficiency	Critical	Low	<3	<5
Insulation	Moderate	Low	<3	3-8
Photovoltaics	High	Moderate	c.6	>5
Electricity storage	High	High	10-42	10-40
Hydrogen Economy	Critical	Very high	29-120	20-40

1 Impact of nanotechnology describes the effect nanotechnology is likely to have in the area compared to other technologies.

2 Infrastructural changes indicates the effort bring the nanotechnology to market.

3 Benefit is the estimate of the maximum potential CO₂ saving by implementing the technology.

4 Timescale for implementation is the projected distance (in years) before the technology will be fully implemented.

Naast de energiekosten zijn voor Friends of the Earth ook de milieukosten van de productie van nanomaterialen erg hoog. Het maken van nanomaterialen vergt veel water en veel solventen.

Voor de productie van nano-electronica wordt slechts 0,1% van de ingezette materialen nuttig toegepast; 99,9% wordt problematisch afval.

De productie van enkelwandige nanobuisjes die kunnen worden gebruikt om kleinere lithium-ionbatterijen te maken, vraagt veel meer energie en zorgt voor meer giftig afval en CO₂-uitstoot dan het grafiet dat normaal gezien in die batterijen gebruikt wordt.

Waar nanomaterialen op grote schaal gebruikt worden, komen ze ook in grote aantallen in het leefmilieu terecht. Daardoor krijgen we te maken met een nieuwe klasse van verontreinigende stoffen ('polluenten') op nanoschaal in het milieu die waarschijnlijk door hun grote actieve oppervlakte massa's kleinere contaminanten aan zich zullen binden. Over de gevolgen daarvan kan nu niets met zekerheid gezegd worden.¹⁸ Dat geldt met name voor koolstof nanobuisen, zilverionen op nanoschaal, zerovalente ijzerdeeltjes en ceriumoxide-deeltjes die alle kunnen leiden tot nieuwe vormen van milieuvervuiling en tot nieuwe vormen van probleemafval ('nanotech waste').

Ook het gebruik van nanomaterialen in milieusanering blijft daardoor problematisch.

Dat geldt bijvoorbeeld bij het gebruik van nanomembranen in de waterzuivering, waardoor koolstof nanobuisjes kunnen vrijkomen in het water, of bij het gebruik van ijzeroxide-deeltjes op nanogrootte voor de sanering van bodems, waarbij niet bekend is wat het effect van die nanodeeltjes is op bodemecosystemen.

Een nauwgezette labeling is ook nodig om nanoprodukten in de afvalfase te herkennen en op gepaste wijze te verwerken. De Duitse milieubeweging stelt met dat doel een publiek

¹⁸ Greenpeace Environmental Trust, 'Future Technologie, Today's Choices', juli 2003: <http://www.greenpeace.org.uk/MultimediaFiles/Live/FullReport/5886.pdf>.

toegankelijk productregister voor.¹⁹ Gebruikte nanomaterialen zouden in principe altijd ‘terughaalbaar’ moeten zijn.

Het hele discours rond groene nanotechnologie is ten slotte erg misleidend, als je weet dat de meeste nanotechnologietoepassingen op het terrein helemaal niets uit te staan hebben met cleantech of duurzaamheid. In de VS heeft slechts 1% van de nanotoepassingen iets te maken met energie of klimaat. Nanodeeltjes worden vooral ingezet voor veel trivialer (of commercieel lonender) toepassingen zoals extra sterke golfclubs of tennisrackets, krasvrij koetswerk voor auto's, betere kleurenkwaliteit voor televisieschermen, geurvrije sokken, nanocosmetica tegen rimpels en beter uitsmeerbare zonnecrèmes. Een constante is wel dat dat steeds tegen hoge energiekosten gebeurt.

De keuze voor groene nanotechnologieën is dus nog lang geen feit, maar zal eerder nog moeten worden bevochten: door meer onderzoek, ontwikkeling van nieuwe technologieën en duidelijke strategische keuzes van bedrijven en overheden.

6. Vergroening van de productie van nanomaterialen²⁰

Een eerste voorwaarde is dat de productie van nanomaterialen zelf energie-efficiënter en milieuvriendelijker wordt. Om dat te bereiken is er behoefte aan nauwgezette vergelijkingen van productieprocessen van nanomaterialen op basis van hun energie- en milieuefficiëntie. Het Amerikaanse Milieubureau stimuleert een dergelijk onderzoek.²¹ Ook bij ons kan onderzoek naar groene nanoproductie meer systematisch gesteund worden.

De drie meest gangbare methodes om koolstof nanobuizen te produceren, zijn:

- 1° chemische dampdepositie (CVD = chemical vapor deposition), waarbij een basismateriaal verdampt en vervolgens gecondenseerd wordt op een oppervlak, doorgaans in vacuüm omstandigheden;
- 2° een methode met plasmalichtboog en vlamhydrolyse, waarbij gebruikgemaakt wordt van een hogetemperatuurplasma of een vlamionisatiereactor;
- 3° bij de laserverdampingstechniek worden zeer intense laserpulsen op een zeer zuiver koolstofoppervlak geschoten bij een temperatuur van 1200 graden in een argonatmosfeer. Daardoor verdampt de koolstof ter plaatse, waarna roet wordt gevormd dat koolstof nanobuisjes bevat.

De twee laatste methodes verbruiken veel energie en leveren koolstof nanobuisjes op die nog verder moeten worden gezuiverd.

De eerste techniek wordt het meest gebruikt; ze kost minder energie en levert koolstof nanobuisjes met een hogere zuiverheid.

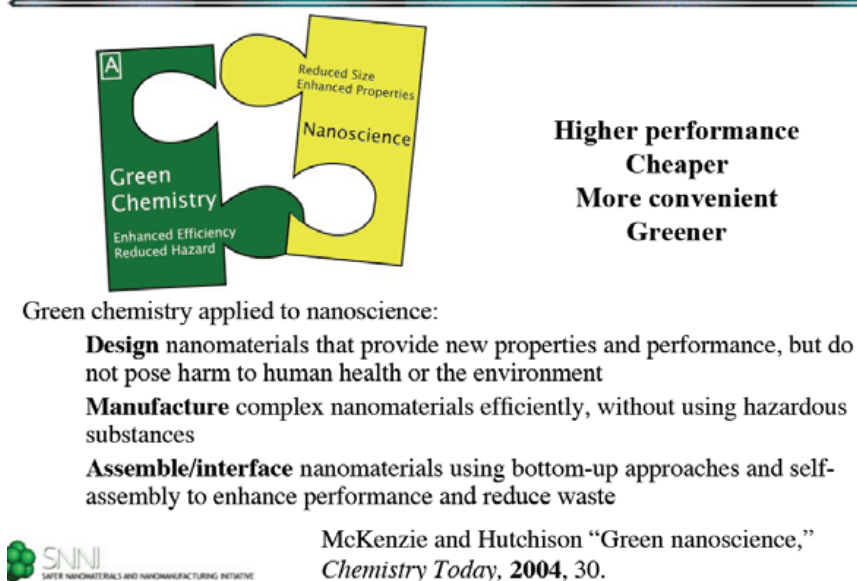
Men tracht deze productieweg nog verder te vergroenen (door toepassing van principes uit de groene chemie).

¹⁹ BUND (Freunde der Erde), ‘Löst Nanoprobleme unsere Umweltprobleme?’, 2010.

²⁰ Matthew J. Eckelman, Julie B. Zimmerman, Paul T. Anastas, ‘Toward Green Nano, E-factor Analysis of Several Nanomaterial Syntheses’, Journal Of Industrial Ecology, 2008.

²¹ Zie: http://www.epa.gov/nanoscience/quickfinder/pdf/nanotech_green.pdf.

Applying green chemistry to nanomaterials and nanomanufacturing



Om goud- en zilvernano-deeltjes aan te maken zijn veel (giftige) solventen nodig. Ook dat productieproces tracht men te vergroenen door organismen als katalysator in te zetten. Men spreekt dan van 'bionanosciences'. De meest milieuvriendelijke productiemethode zou er één zijn van P. Raveendran en S.L. Wallen die werken met water, zetmeel en suiker in een microgolfoven, maar die werkwijze zou nog niet voor alle soorten van deeltjes geschikt zijn.

Om zinkoxide- en titaniumdioxide-deeltjes aan te maken wordt de hydrolyseveralkingsmethode reeds commercieel toegepast. Daarbij wordt een hydrochloorzuursolvent gebruikt en is een hoge input van energie nodig. Beter is de sol-gelsynthese, een natchemische methode waarmee nanomaterialen met een hoge zuiverheid en homogeniteit op lagere temperaturen en in mildere omstandigheden kunnen worden gesynthetiseerd dan met de concurrerende hogetemperatuurmethode. De sproeipyrolysetechniek van K. Okuyama en I.W. Lenggoro zou nog 'groener' zijn.

Voor de productie van ijzernano-deeltjes kan dan weer een nanobioproductietechniek worden gebruikt (op basis van het ijzerbindende eiwit ferritine).

Om de milieueffecten van de verschillende productietechnieken te vergelijken, zijn er verschillende berekeningswijzen voor het opstellen van levenscyclusanalyses. Zo is onder meer een formule uitgewerkt om het materiaalverbruik (de afval-tot-productratio) te vergelijken aan de hand van een E-factor:

waarbij de E-factor $E = \text{kg materiaal inputs/kg product}$.

Beslissend is ten slotte een vergelijkende levenscyclusanalyse waarbij de energie- en eco-prestaties van nanomaterialen naast die van conventionele materialen gelegd worden. De vraag is of de hoge ecologische voetafdruk van de productie van nanomaterialen bij de toepassing ervan minstens gecompenseerd wordt of, beter nog, ecologische winst oplevert, zodat de totale energie- en milieukosten zakken, hetgeen mag worden verwacht van 'groene technieken' ...

De onderzoekers Khanna en Bakshi onderzochten de energieperformantie over de hele levenscyclus van nanocomposieten in vergelijking met stalen panelen voor autokoetswerk. De energiekosten van de productie van de nanocomposieten lagen 1,6 tot 12 keer hoger. Maar die extra kosten zouden wellicht bij het gebruik van de wagen door minder energieverbruik kunnen worden teruggewonnen.²²

Als de onderzoekers er niet in slagen om de productie van de nanomaterialen zelf fundamenteel groener te maken, dan komen de mooie beloftes in verband met een groene nanotechnologie op losse schroeven te staan. De overheid die nanotechnologie wil steunen, heeft er dan ook alle belang bij om hard in te zetten op de vergroening van de nanosynthesetechnieken. Als consequent gekozen wordt voor een samengaan van groene chemie en nano, dan kan de nanotechniek vanaf de basis (vanaf de aanmaak van de bouwstenen) echt groen gemaakt worden en zal het netto milieueffect van nanotechnoepassingen ook gegarandeerd zijn.

7. Onderzoek naar de gezondheidseffecten van nanodeeltjes

Ook de vragen in verband met mogelijke effecten op de gezondheid blijven beslissend voor een doorbraak van nanotechnologieën. Zeker van groene nanotech mag worden verwacht dat die geen of toch zo weinig mogelijk risico's inhoudt voor de gezondheid.

De VITO heeft op het vlak van milieutoxicologisch onderzoek naar de effecten van nanopartikels al een heuse reputatie opgebouwd en kan ervoor zorgen dat Vlaanderen ter zake een voorhoederol kan opnemen.

Er raakt steeds meer bekend over de impact van nanomaterialen op de menselijke gezondheid. De kleine omvang van nanodeeltjes geeft hen makkelijker toegang tot lichaamssweefsels en -organen dan grotere deeltjes.

In dierproeven is bewezen dat sommige nanodeeltjes die ingeademd worden, onmiddellijk van de longen doordringen in de bloedstroom en van de neus in de hersenen. Nanodeeltjes kunnen door de huid dringen en in het lymfestelsel of in de bloedstroom terechtkomen. Er zijn ook indicaties dat nanomaterialen die ingeslikt worden (via voeding of medicijnen), door de darmwand dringen. In een rapport van de Zwitserse verzekeringsfirma Swiss Re²³ waarschuwt men voor het feit dat nanodeeltjes bijna onbeperkt toegang hebben tot het menselijk lichaam. Als de nanodeeltjes zich eenmaal in ons lichaam bevinden, zorgt hun grotere oppervlakte per eenheid van massa ervoor dat ze chemisch veel heviger reageren dan ze zouden doen op normale grootte. Ze gaan sneller reageren met biologische moleculen. Bijvoorbeeld in het geval dat nanomaterialen in omvang en vorm gelijken op lichaamseigen moleculen, zoals immuunmoleculen, DNA-bindende proteïnen en celcomponenten. Nanodeeltjes kunnen de plaats innemen van stoffen in het lichaam en zich vergelijkbaar met hormoonverstorende chemicaliën gaan gedragen. Celstudies wijzen erop dat sommige nanomaterialen kunnen reageren met cel-DNA, ontstekingen kunnen veroorzaken en celfuncties kunnen verstoren.²⁴ Nanodeeltjes van inerte stoffen kunnen zich op nanoniveau gedragen als toxische stoffen. In die zin is een aparte risico-evaluatie nodig voor stoffen en materialen op makro- en op nanoschaal. Een voorbeeld: titaniumdioxidedeeltjes zijn op gewone schaal ongevaarlijk als ze ingeademd worden, maar TiO₂-nanodeeltjes blijken kankerverwekkend te zijn. Titaniumdioxide- en zinkoxidenanodeeltjes worden intussen veel gebruikt in zonne- en antirimpelcrèmes en hairconditioners.²⁵ De vraag moet dan ook

²² Vikas Khanna, Bhavik R. Bakshi, 'Carbon Nanofiber Polymer Composites. Evaluation of Life Cycle Energy Use', *Environmental Science & Technology*, 11/2/2009.

²³ Swiss Reinsurance Company, 'Nanotechnology: Small Matter, Many Unknowns' (2004), http://www.swissre.com/resources/31598080455c7a3fb154bb80a45d76a0-Publ04_Nano_en.pdf.

²⁴ <http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/311/5761/622>.

²⁵ Rathenau Instituut, 'Gezondheids- en milieurisico's van nanodeeltjes', dec. 2004.

gesteld worden of de bestaande klinische studies en toxiciteitstesten geschikt zijn om de effecten van nanodeeltjes te meten. Nieuwe detectiemethodes en toxicologische evaluatiemethodes moeten ontwikkeld worden.²⁶⁻²⁷

– *Fijn stof als model*

Over de effecten van nanodeeltjes bij het inademen is in feite al heel wat bekend. Want door de mens gefabriceerde nanodeeltjes verschillen in feite qua impact niet van de fijne stofdeeltjes (roetdeeltjes) die we kennen uit de luchtvervuiling (bijvoorbeeld door dieselwagens). Uit diverse onderzoeken naar de gezondheidseffecten van (ultra)fijn stof is gebleken dat juist de zeer kleine aerosolen veel gevaarlijker zijn, doordringen in de longblaasjes en in de bloedstroom en kunnen leiden tot hart- en vaatziekten en longkanker. Recent worden vooral de kleine deeltjes (PM_{2,5} tot PM_{0,1}) verdacht van schadelijke gezondheidseffecten en dat zijn dus deeltjes met een diameter kleiner dan 2,5 tot 0,1 micrometer (of 2500 tot 100 nanometer). Mensen met bestaande hartklachten of astmatische aandoeningen zijn in het bijzonder gevoelig voor de vervuiling met fijne stofdeeltjes. Verwacht kan worden dat dit ook zo zal zijn (en misschien zelfs in sterkere mate) voor (stof)deeltjes op nanoschaal. In het licht van die bedreigingen is het van groot belang dat de overheid snel overgaat tot de instelling van gezondheids- en veiligheidsnormen voor arbeiders die nanoproducten vervaardigen, voor consumenten die ze gebruiken en voor het milieu, waarin die producten nadien terechtkomen.

– *Asbestvezels als model*

Bepaalde nanostructuren zoals de langwerpige koolstof nanobuizen lijken sterk op asbestvezels en zouden tot vergelijkbare aandoeningen kunnen leiden (asbestose; kanker).²⁸ Een recente studie van de NASA toonde aan dat het inademen van nanobuizen in grote hoeveelheden bij muizen de longen kan beschadigen.²⁹

De ploeg rond Kevin Braeckmans aan de UG heeft een protocol opgesteld dat het mogelijk maakt om op relatief korte tijd de toxische effecten van nanomaterialen op levende cellen te evalueren. Die methode kan ertoe bijdragen dat functionele nanodeeltjes ontwikkeld worden met minimale neveneffecten.³⁰ In dat soort van baanbrekend onderzoek kan Vlaanderen de ‘lead’ nemen.

8. Behoeftte aan normering

Europees zouden zeker de REACH, de Levensmiddelenrichtlijn en de Biocidenrichtlijn moeten worden aangepast (REACH: Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemical Substances).

Federaal moeten grenswaarden vastgelegd worden voor werkplaatsen en productnormen, zeker voor voeding en producten die dienen voor lichaamshygiëne, maar bij uitbreiding voor alle consumentenartikelen waarmee mensen in aanraking komen.

In VLAREM zouden milieukwaliteitsnormen moeten worden opgenomen voor nanodeeltjes in lucht, water en bodem (VLAREM: Vlaams reglement betreffende de milieuvergunning).

²⁶ Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail (Afsset), 'Evaluation des risques liés aux nanomatériaux pour la population générale et pour l'environnement', maart 2010.

²⁷ Cf. de standaards voor toxiciteitstest ontwikkeld door het Duitse project NANOCARE (een samenwerkingsverband van universiteiten, onderzoeksinstituten en ondernemingen); zie <http://www.nanopartikel.info/cms/Projekte/NanoCare>.

²⁸ Zie: The Royal Society, 'Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties' – <http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm>.

²⁹ <http://www.sciencenews.org/articles/20050319/fob1.asp>.

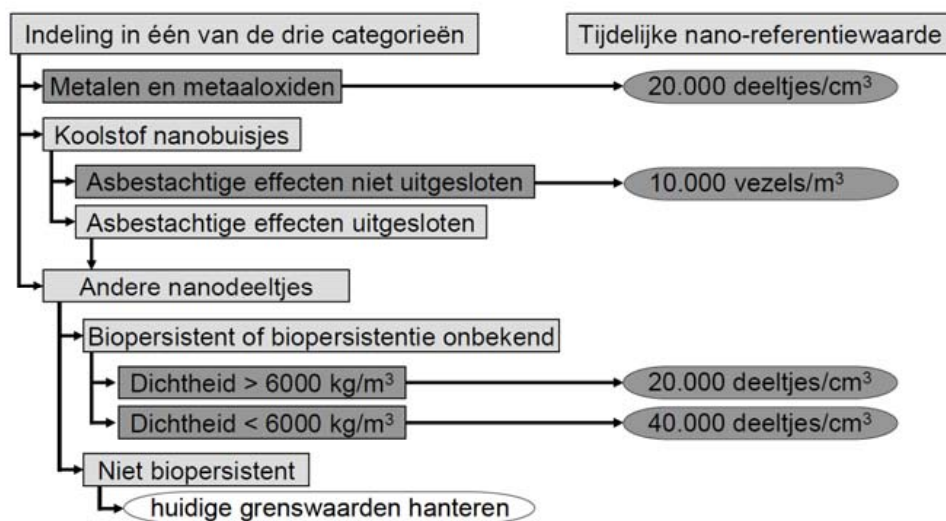
³⁰ Knack, 19/10/2011.

Het Nederlandse Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)³¹ heeft in 2010 in opdracht van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid voor nanodeeltjes tijdelijke referentiewaarden opgesteld voor het werkmilieu. De tijdelijke referentiewaarden van het RIVM zijn gebaseerd op een Duits voorstel, opgesteld door het Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA). De door het RIVM geformuleerde tijdelijke referentiewaarden voor nanomaterialen in de lucht op de werkplek zijn:

- I. 20.000 deeltjes/cm³ voor Ag, Fe, Au, Pb, La, TiO₂, CeO₂, ZnO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₃O₄, SnO₂, CoO en nanoklei;
- II. 40.000 deeltjes/cm³ voor C₆₀, carbon black, TiN, Sb₂O₃, polymeren, polystyreen, dendrimers en koolstof nanobuisjes waarvoor asbestachtige effecten zijn uitgesloten;
- III. 0,01 vezels/cm³ voor koolstof nanobuisjes (SWCNT / MWCNT) waarvoor asbestachtige effecten niet zijn uitgesloten.

Het Nederlandse Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid bracht een en ander handig samen in een ‘nanostoffenmanager’-module³² om risico’s op de werkplaats in te schatten en om codes van goede praktijk inzake preventie te illustreren.

Belangrijk is de indeling van de verschillende nanostoffen die door het RIVM gehanteerd wordt. Die indeling zou ook aan de basis kunnen/moeten liggen van een algemene normering inzake milieu en gezondheid, bijvoorbeeld bij de opstelling van milieuhygiënenormen in de Vlaamse milieuwetgeving.



Figuur 2: Beslisboom voor het afleiden van de tijdelijke nano-referentiewaarden volgens het IFA-voorstel

9. Duurzame technologische toepassingen

Als we garanties hebben in verband met een groene productie van de nanomaterialen zelf en garanties van voldoende onderzoek naar de gezondheidseffecten ervan, kunnen we voluit inzetten op de vele voordelen die nanotechnologieën kunnen opleveren in het kader van de transitie naar een meer duurzame samenleving. De indieners van dit voorstel van

³¹ S. Dekker, C. De Heer, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, ‘Tijdelijke nano-referentiewaarden: Bruikbaarheid van het concept en van de gepubliceerde methoden’, RIVM Rapport 601044001/2010.

³² Zie: <http://nano.stoffenmanager.nl/Default.aspx> – zie ook: ‘The Good Nanoguide’: <http://www.goodnanoguide.org/tiki-index.php?page=HomePage>.

resolutie kiezen er dan ook bewust voor die voordelen te rangschikken op basis van de transitie, beschreven in de Vlaamse Strategie Duurzame Ontwikkeling³³ van de Vlaamse Regering, zodat duidelijk wordt hoe en onder welke voorwaarden nanotechnologie kan bijdragen tot een Vlaamse duurzaamheidsstrategie.

9.1. Duurzame transitie inzake energie

9.1.1. Zonnepanelen

De inzet van nanotechnologie kan leiden tot een gevoelige verbetering van fotovoltaïsche (PV) zonnepanelen. Men kan dunnefilm fotovoltaïsche zonnemodules (bijvoorbeeld met een nanolaag van cadmiumtelluride = CdTe) maken die efficiënter zijn dan gewone kristallijn silicium PV's. Het Britse milieubureau liet de milieubaten berekenen van de omschakeling van CSPV-modules (cristalline silicium PV) naar TFPV-modules (thin film PV). De aanmaak van de nanomodules zou beter zijn voor het klimaat en voor de luchtkwaliteit.³⁴

Table 40: Green house gas emissions⁹ and air pollution arising from PV production

Externality	Mono-Si	Multi-Si	Cd-Te	Cost, £/ tonne (DEFRA)
CO ₂ e, g/ kWh	43	44	21	DECC prices
Sox, mg/ kWh	80	81	40	1496
Nox mg/ kWh	145	148	75	875

Belangrijker nog is dat de markt voor zonnepanelen door de productie van TFPV aanzienlijk zou aangroeien (met 197 MW over 20 jaar), waardoor veel meer hernieuwbare energie zou aangewend worden en waardoor er dus een enorme hoeveelheid CO₂-emissies zou worden uitgespaard.

Het gebruik van Grätzelzonnecellen (of DSC = Dye-sensitized Solar Cells) met kleurstofmoleculen en titaniumdioxidenanodeeltjes als halfgeleider zou op termijn ook tot grote efficiëntiewinsten leiden.

De Grätzelcel is een zonnecel en maakt gebruik van zonlicht om elektriciteit te produceren. Zonlicht bevat kleine energiepakketjes, die ook wel fotonen worden genoemd. De kleurstof die in de Grätzelcel is aangebracht, neemt de energie van die fotonen op (absorptie). Hierdoor gaan de elektronen die zich in de kleurstof bevinden, meer energie bevatten en komen in een zogenoemde 'aangeslagen' toestand. Door die aangeslagen toestand is het kleurstofmolecuul in staat om een elektron over te dragen aan het titaniumoxide (TiO₂). Dat proces komt neer op een soort van artificiële fotosynthese. De Grätzelcel wordt soms als een 'organische zonnecel' omschreven.

Op dit moment ligt het rendement nog rond de 10%, tegen 14-17% voor een gewone silicium zonnecel. In de toekomst wordt verwacht dat dat stijgt naar ongeveer 30%. Voordelen zijn dat het relatief goedkoop is om zo'n zonnecel te maken ten opzichte van een silicium zonnecel. Ook is het rendement binnenshuis hoger dan dat van een silicium zonnecel. Als de buitenste laag gemaakt is van plastic, is het mogelijk om een flexibel zonnepaneel te maken.

³³ Samen Grenzen Ver-leggen – Vlaamse Strategie Duurzame Ontwikkeling – Visie 2050: <http://do.vlaanderen.be/nlapps/data/docattachments/Visie%202050.pdf>.

³⁴ Oakdene Hollins Research & Consulting, 'A comparative methodology for estimating the economic value of innovation in nanotechnologies', november 2010.

De energie die nodig is voor de productie van een Grätzelcel zou men er al na 1 jaar uit hebben (tegenover 3 à 4 jaar bij klassieke silicium cellen), althans volgens Michael Grätzel zelf.³⁵

In Vlaanderen kan de samenwerking tussen Photovoltech (Tienen) en IMEC (Leuven) allicht verder inspelen op deze ontwikkelingen. Nanotechnologisch onderzoek kan beslissend worden voor het verwerven van belangrijke marktaandelen in de productie en plaatsing van zonnepanelen op de plaatselijke en Europese markt in de toekomst.

9.1.2. *Windturbines*

De inzet van nanocomposieten kan leiden tot een optimalisatie van onderdelen van windturbines. Met behulp van nanomaterialen zouden windturbinebladen tegelijk langer, sterker en lichter gemaakt kunnen worden, zouden ze langer meegaan en meer energie kunnen opbrengen. Nanocoatings kunnen gebruikt worden om water af te stoten en de ophoping van vocht of ijs op wieken tegen te gaan. Windturbinebladen zouden beter bestand worden tegen gure weersomstandigheden, zoals op zee (bijvoorbeeld de 'Baytubes' van Bayer). Nanoschalige smeermiddelen zouden de frictie kunnen verminderen. Nanosensoren kunnen schade onmiddellijk melden.

9.1.3. *Waterstof*

Nanotechnologie kan wellicht een belangrijke rol spelen in de ontwikkeling van een groene 'waterstofeconomie', bijvoorbeeld door de productie van waterstof uit hernieuwbare energiebronnen makkelijker te maken, en vooral door een bijdrage te leveren aan een meer efficiënte opslag van waterstof en aan de verdere ontwikkeling van waterstof brandstofcellen in het transport (voor auto's en bussen). Veel van dat onderzoek staat nog in de kinderschoenen. De milieuvereniging Friends of the Earth verwacht er om die reden weinig van. De reeds aangehaalde studie in opdracht van het Britse milieubureau is veel positiever.

Solvay investeert in nano-innovaties en brandstofcellen in haar fabriek in Lillo (SolVin) met steun van WaterstofNet³⁶, een samenwerkingsproject in verband met waterstof tussen Vlaanderen en Zuid-Nederland.

9.1.4. *Energie-efficiëntie*

Andere belangrijke energetische toepassingen van nanotechnologie, zijn onder meer de inzet van nanobuizen als (half)geleiders, een verhoging van de efficiëntie van energie-omzetting en energietransport via de inzet van nanokatalysatoren, de verhoging van de energie-efficiëntie en levensduur van chips via nano-elektronica en de inzet van quantum dots (nanokristallen) voor een verhoogde efficiëntie van ledverlichting (cf. onderzoek van de vakgroep toegepaste natuurkunde en fotonica aan de VUB).

9.2. Voor de duurzame transitie op het vlak van bouwen en wonen

Isolatiemateriaal voor woningen kan stukken efficiënter worden gemaakt door de inzet van nanomaterialen. BASF en Bayer werken aan nano-isolatieschuimmaterialen met poriën van amper 100 nm. Daardoor zou een groter deel van het thermische isolatiepotentieel van isolatiestoffen kunnen worden gebruikt.

De isolatiewaarde van beglazing kan worden verhoogd door het aanbrengen van coatings op nanoschaal. Glas kan zo energiebesparend worden gemaakt. Maar ook zelfreinigend, waardoor kan worden bespaard op chemische schoonmaakmiddelen.

³⁵ Greenpeace Magazine, 'Riskante Zwerge', 2008.

³⁶ <http://www.waterstofnet.eu/projecten/waterstofregio.html>.

AGC Flat Glass Europe (Brussel, het vroegere Glaverbel) ontwikkelt nieuwe glastechnologie (driedubbel glas voor passiefwoningen – lichtgevend glas – zelfreinigend glas en dergelijke) en experimenteert daartoe ook met nanotechnologie.

Het bedrijf Nanoxid (Louvain-la-Neuve) ontwikkelde flexibele coatings voor glas, waardoor transparante, ondoorschijnende kleuren of etseffecten kunnen worden aangebracht. Daardoor worden tijdrovende dipmethodes en chemische etsmethodes vermeden.

Nog meer verregaand is de vervanging van ramen door aerogels (materiaal met een zeer lage dichtheid, dat voor meer dan 90% uit lucht bestaat, een soort van nanosponsstructuur, met een zeer hoge isolatiewaarde).

Nanodeeltjes kunnen worden gebruikt voor de creatie van nieuwe, meer resistente en duurzame bouwmaterialen (zoals zelfverdichtend en zelfreinigend beton, corrosiebestendig staal, nanokeramische materialen enzovoort).

De eigenschappen van staal kunnen op zich ook verbeterd worden door de inzet van nanotechnologie: men kan koolstof staaldraden aanmaken, één voorbeeld van ‘nano-engineered steel’. Bij Arcelor Mittal wordt daaraan gewerkt.

Door het strijken van een laag titaniumdioxidenanodeeltjes op steen of cement kan via zonlicht en een proces van fotokatalyse stikstofdioxide uit de lucht gebonden worden, zodat gebouwen of straten een luchtzuiverende werking krijgen.

In Antwerpen wordt door het OCW (Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw) al geëxperimenteerd met een parkeerstrook met betonstraatstenen die de lucht zuiveren met behulp van titaniumdioxidenanodeeltjes.

Nanodeeltjes kunnen gebruikt worden als alternatief voor de chemische verduurzaming van hout of als alternatief voor aangroeiwerende verven (bijvoorbeeld op scheepssrompen). De aanwending van toxische chemicaliën wordt vermeden door eigenschappen van materialen te veranderen en een fysisch effect te verkrijgen (verminderde aanhechting).³⁷

Door de inzet van nanoklei bij kunststoffen en composieten kan het gebruik van halogenen (bijvoorbeeld als vlamvertragers) vermeden worden.

Nanosensoren kunnen niet alleen het buiten-, maar ook het binnenmilieu bewaken en kunnen dienen voor de regeling van het binnenhuisklimaat (energiebesparing, luchtvochtigheid, detectie of zelfs bestrijding allergenen enzovoort).

9.3. Voor de duurzame transitie inzake mobiliteit

De inzet van nanotechnologie kan zorgen voor een verhoogde efficiëntie van batterijen en brandstofcellen. Zo kan de koolstof (grafiet) elektrode in een standaard lithium-ionbatterij vervangen worden door een elektrode op basis van het nanomateriaal litiumtitanaat ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$). Deze zogenaamde LTO-batterijen zijn veilig, goedkoop, kunnen snel en vaak opgeladen en ontladen worden, hebben een hogere levenstijd en functioneren goed bij lage temperaturen. De batterijen zouden tot een boost van hybride en elektrische wagens kunnen leiden.

³⁷ Ulrich Fiedeler, ‘Using Nanotechnology for the substitution of hazardous chemical substances’, Journal of Industrial Ecology, 2008.

Nanotechnologieën kunnen op verschillende wijzen bijdragen tot een vermindering van het brandstofverbruik en de uitstoot van uitlaatgassen:

- via additieven om de brandstofefficiëntie te verbeteren en de uitstoot van schadelijke emissies te verminderen;
- verbetering van de brandstofefficiëntie binnen de motor via coatings of verbeteringen in het smeeroliesysteem;
- nanogebaseerde keramische coatings op componenten binnen gasturbines die hogere temperaturen en dus een betere brandstofefficiëntie mogelijk maken;
- verbeterde werking van de autokatalysator (minder gebruik van platina), wat vooral zorgt voor minder emissies.

De firma Bekaert ontwikkelde Diamond Like Coatings (DLC) en nanocomposieten die onder meer ingezet worden voor motoronderdelen van auto's (DYLYN PLUS).

Nanosensoren kunnen extra zorgen voor een vermindering van de uitstoot van uitlaatgassen.

Ook de inzet van nanomaterialen (bijvoorbeeld koolstof nanobuisjes) bij de productie van lichtgewicht fietsen, wagens en vliegtuigen kan zorgen voor een grote energiebesparing. Aangezien men bij Flanders'DRIVE expliciet inzet op lichtgewicht autodelen (zoals deuren), biedt dat zeker mogelijkheden.

9.4. Voor de duurzame transitie op het vlak van materialenbeheer en industrie (omzetting principes van de 'industriële ecologie')

Nanotechnologie zou vooral moeten leiden tot een verminderd verbruik van grondstoffen en dus ook tot minder afval. Dat zal maar gebeuren als bewust gekozen wordt voor eco-design van nanomaterialen met vanaf het begin ook zicht op een ecologische verwijdering in de afvalfase.³⁸ De VITO verricht al veel onderzoek op dat vlak en zou daar nog meer middelen voor moeten krijgen.

Nanokatalysatoren kunnen dan weer een belangrijke rol spelen in de omzetting van vervuilende stoffen of afvalstoffen in bruikbare of op zijn minst in inerte stoffen.³⁹

Nanosensoren kunnen voorraden bewaken (bijvoorbeeld watertafels) en milieuvervuiling detecteren en zo de milieukwaliteit en -kwantiteit permanent en overall (in de lucht, in het water, in de bodem) bewaken.

Nanodeeltjes kunnen ingezet worden voor de in-situsanering van vervuild (grond)water.⁴⁰

Door de inzet van nanoporeuze filters en ultrafijne nanomembranen kunnen zuivere of actieve stoffen en schadelijke stoffen gescheiden worden, in productieprocessen, bij waterzuivering, in uitlaten. Nanomembranen kunnen ook gebruikt worden in ontziltingsinstallaties of om zuiver drinkwater te bereiden, bijvoorbeeld in ontwikkelingslanden waar het beschikbare water bacterieel besmet is.⁴¹

³⁸ ICON (International Council on nanotechnology), 'Advancing the Eco-Responsible Design and Disposal of Engineered Nanomaterials', febr. 2010.

³⁹ Grant Buckler, 'Green nanotechnology: tiny particles could soon be fueling "clean tech" industry', 2008 - <http://www.cbc.ca/news/story/2008/08/01/f-cleannanotech.html>.

⁴⁰ SIRIS – F. Monfort-Windels, J. Lecomte, 'Toepassingen van nanotechnologie', jan. 2008.

⁴¹ Cf. een proefproject in Bangladesh voor de bestrijding van cholera – bij alle toepassingen die voorgesteld worden voor derdewereldlanden, is er natuurlijk het probleem van de toenemende afhankelijkheid die gecreëerd wordt door peperdure en complexe technologieën, zelfs als die de lokale autonomie van de bevolking sterk kan verhogen.

Nanomembranen kunnen ten slotte ook aangewend worden om CO₂ uit afvalgasen te scheiden en toe te passen in vormen van bioconversie: de kweek van gewassen in serres, van algen in vijvers of reactoren⁴² enzovoort.

Nanotechnologie vindt tal van toepassingen in een groene chemie. Toxische chemische stoffen kunnen vervangen worden. Nanobuizen kunnen gebruikt worden om zelfreinigende oppervlakten te verkrijgen. Daardoor kan het gebruik van (reinigings)solventen sterk verminderd worden. Nanodeeltjes kunnen ook gebruikt worden om reacties te versnellen (met behulp van nanokatalysatoren).

Een concreet voorbeeld is de inzet van nanotechnologie in drukplaten bij Agfa Graphics in Mortsels waardoor tijdens het drukproces geen chemische processing meer nodig is en bespaard wordt op energie en afval.

Enzymatische nanobioprocessing kan dan weer toegepast worden voor de productie van energie en biograndstoffen uit organisch afval.

9.5. Voor de duurzame transitie op vlak van voeding en landbouw

9.5.1. *Nano in voeding: geen evidentie*

Op dit ogenblik is het al niet meer mogelijk om ‘nanovrij’ te eten. Nanomaterialen worden door de voedingsindustrie immers al op grote schaal gebruikt in voedingsingrediënten, -additieven, -coatings en -verpakkingen. En dat terwijl er wetenschappelijke discussie blijft over de gezondheidseffecten van nanodeeltjes met onder meer zilver, titaniumdioxide, zink of zinkoxiden.⁴³ Ook voor de landbouw is een absoluut tekort aan regulering op termijn een kwalijke zaak.⁴⁴ Een deel van de milieubeweging (bijvoorbeeld Friends of the Earth) stuurt aan op een moratorium voor elke toepassing van nanodeeltjes in voedingsproducten. Gezien de totale afwezigheid van regelgeving op dit ogenblik kan men ze geen ongelijk geven.

Om op termijn te komen tot een positieve bijdrage van nanotechnologie tot duurzame voeding is er dus allereerst behoefte aan een sluitende risicoanalyse, gekoppeld aan een meldingsplicht, zodat gezondheidsrisico's voorkomen worden en de consument altijd zelf kan blijven kiezen of hij al dan niet nano eet. Op basis van de risicoanalyses moet worden uitgemaakt welke nanostoffen of -toepassingen eventueel aanvaardbaar zijn in ons voedselsysteem en welke vanuit een voorzorgsbepaaling niet aanvaardbaar zijn. De kosten van die risico-evaluaties behoren bij de industrie te liggen.

Daarnaast is ook aandacht nodig voor de macro-economische effecten van de inzet van nanotechnologie door de grote voedingsbedrijven. De effecten zouden grotendeels vergelijkbaar kunnen zijn met die van de inzet van gentechnologie: verdere monopolievorming, nog grotere afhankelijkheid van kleine boeren van de grootindustrie en nog meer lange afstandstransporten van vers en bewerkt voedsel (dankzij de extra bescherming die nanostoffen of nanoverpakkingen bieden). Ondanks de punctuele kwaliteitsvoordelen die nanotech kan bieden, zou het totale effect op het hele voedselproductiesysteem dus allesbehalve duurzaam kunnen zijn. Een evolutie die nog zou kunnen worden verscherpt, als nano- en biotechnologie verder verweven raken, of op termijn opgaan of vervangen worden door toepassingen van de synthetische biologie waardoor natuurlijke teelt- en kweekmethodes helemaal vervangen worden door synthetische industriële productie.

⁴² Gabriel Jinjikhshvily, Rony Meir, Ami Ben Amotz, Herman Weiss, 'Application of Nano-Membranes in CO₂ Bioconversion', Israel Electric Corporation, 2009.

⁴³ Friends of the Earth, 'Out of the laboratory and to our plates – nanotechnology in Food & Agriculture', 2008 – ETC, The New Biomasters, 2009.

⁴⁴ Steve Suppan, IATP (Institute for Agriculture and Trade Policy), 'Racing Ahead – US Agri-Nanotechnology in the absence of regulation', juni 2011.

9.5.2. *Nano biedt mogelijkheden voor een meer duurzame voeding en landbouw*

Veel voedingsproducten worden door de industrie aangesterkt met vitamines, mineralen zoals ijzer, magnesium of zink, probiotica, bioactieve peptiden, antioxidanten, plantensterolen of soja. Een deel van die voedingssupplementen wordt nu aan voedsel toegevoegd in de vorm van nanopartikels. Nanoadditieven spelen zo een steeds grotere rol in de functionele voeding. Als men ervan uitgaat dat het gebruik van voedingssupplementen, naast een uitgebalanceerd dieet, een reële bijdrage kan leveren aan de gezondheid, is de verhoging van de efficiëntie van deze voedingssupplementen door de inzet van nanocapsules potentieel een positief gegeven.

Anderzijds worden nanoadditieven ook voor zuiver commerciële redenen ingezet om smaak of kleur te manipuleren of blijven nanodeeltjes als residu achter in voedingsstoffen door de inzet van nanotechnieken bij industriële voedselbewerkingsprocessen.

De industrie pakt ook breed uit met de positieve effecten van slimme nanoverpakkingen voor de voedselveiligheid. Slimme verpakkingsmaterialen verkleuren bijvoorbeeld als de houdbaarheid van de verpakte voedingswaren verstreken is of als de kwaliteit aangetast is. Maximale houdbaarheid en voedselveiligheid gaan hand in hand en minder voedsel moet worden weggegooid, zo luidt de redenering. Maar in de praktijk moet dat toch genuanceerd worden, zo blijkt.

Het Britse milieuagentschap liet het berekenen⁴⁵: het vermijden van voedselafval door het gebruik van nanoverpakkingen zou 0,2436 miljoen ton CO₂-uitstoot per jaar uitsparen. Maar jaarlijks is de CO₂-uitstoot door weggegooid voedsel in Groot-Brittannië maar liefst 12,18 miljoen ton CO₂. Het gaat dus om 2% van de totale uitstoot die zo kan uitgespaard worden. Het geeft aan dat het probleem ten gronde alvast niet door de invoering van nanoverpakkingen zal opgelost worden.

RFID-tags⁴⁶ op nanoschaal kunnen de traceerbaarheid van alle voedingsproducten garanderen.

Met behulp van nanomaterialen kunnen ook makkelijker bioplastics ingezet worden.

De keerzijde is dat door een hele reeks van nieuwe nanotoepassingen het gebruik van verpakkingen juist zal toenemen, met meer (risicohoudend) verpakkingsafval tot gevolg.

Een mengvorm van supplementen en verpakkingen zijn eetbare nanocoatings van maximaal 5 nm dik, die het voedsel beschermen en tegelijk smaken, kleuren, antioxidanten of enzymen kunnen toevoegen. Zo bijvoorbeeld wasachtige nanocoatings die fruit en groenten langer goed moeten houden. Of de antibacteriële nanocoating van Sonno-Tek Corp. om broodwaren te beschermen tegen schimmel.

In de landbouw zelf kunnen nanosensoren ingezet worden voor draadloze gewas- en veldbewaking op afstand. Nanobiotechnologische technieken kunnen zelfs leiden tot vormen van zelfbewaking (en bijregeling) van gewassen en teelten of zelfs systemen van 'automated farm management'. Via nanocapsules kan een betere dosering van bestrijdingsmiddelen verkregen worden, zodat het gebruik van chemicaliën kan verminderen.

Maar de keerzijde van de medaille is dat nanozelfsturing van boerderijen kan leiden tot nog meer grootschalige bio-industrie. Landbouw op nanoschaal is niet noodzakelijk duurzamer als het gaat om de inzet van pesticiden op nanoschaal die potentieel meer giftig zijn,

⁴⁵ Oakdene Hollins Research & Consulting, 'A comparative methodology for estimating the economic value of innovation in nanotechnologies', november 2010.

⁴⁶ RFID = Radio frequency identification (automatisch afleesbare etiketten, soort barcode) voor consumptieartikelen: bestaat al op microschaal.

om nieuwe vormen van nanogenetische manipulatie van landbouwgewassen en dieren en uiteindelijk om toepassingen van synthetische biologie, de kunstmatige creatie van totaal nieuwe organismen door een combinatie van gen-, nano- en informaticatechnologieën, die natuurlijke, familiaal geteelde productie verdringen.

Het bestuur van de IFOAM (internationale federatie van bewegingen voor biologische landbouw) nam in april 2011 een standpunt in waarbij men het gebruik van nanodeeltjes niet verenigbaar acht met biologische landbouw. Men beroept zich daarbij op het voorzorgsprincipe.⁴⁷

9.6. Voor de duurzame transitie inzake gezondheid en zorg⁴⁸

Nanotechnologie biedt kansen om op een zeer gerichte wijze geneesmiddelen toe te dienen in het lichaam. Bestaande medicijnen, bijvoorbeeld tegen kanker, hebben een zeer grove werking en vallen ook gezonde cellen aan. ‘Nanobodies’ zijn heel kleine fragmenten van antilichamen die zich specifiek tegen kwaadaardige cellen kunnen richten. Tumorcellen kunnen met hoge precisie gedood worden, zonder andere gezonde cellen te raken. Ook hart- en vaatziekten en ontstekingsziekten zouden via deze techniek kunnen worden behandeld. Nanobodies zijn goed oplosbaar, goed houdbaar en goedkoop en snel te produceren. Slimme pillen en nanocapsules kunnen geleidelijk genezende stoffen vrij laten, eventueel op termijn in reactie op prikkels uit hun omgeving. Via de inzet van ‘lokale bio-reactoren’ kan men het lokaal afleveren van de benodigde medicijnen nog verbeteren. Het Vlaams Instituut voor Biotechnologie (VIB) verricht in verband daarmee al belangrijk onderzoek. UCB en Janssens Pharmaceutica zijn actief op dat vlak (bijvoorbeeld ‘nano-enabled drugs delivery’).

Het Gentse biofarmbedrijf ABLYNX ontwikkelt nanobodies tegen onder meer trombose, kanker, de ziekte van Alzheimer en de ziekte van Crohn en andere ziekten.

Met lab-on-a-chipsystemen kan men stoffen meten, scheiden en laten reageren per nanoliter. Daardoor kan veel sneller en goedkoper worden getest.

Via bio-electronica (bionica) en neuron-on-a-chipsystemen kunnen implantaten op termijn zintuiglijke functies (bijvoorbeeld van oog of oor) overnemen en kunnen verbindingen worden gelegd tussen zenuwcellen en elektronica waardoor neurologische functies kunnen worden hersteld (bijvoorbeeld bij verlamde patiënten).

Van groot belang wordt de inzet van nano(bio)sensoren voor de gezondheidsmonitoring. In Vlaanderen investeren IMEC en VIB hier al sterk in. Door biosensoren worden een permanente bewaking van risicovolle lichaamsfuncties en vormen van telezorg mogelijk, waardoor oudere mensen langer thuis of in serviceflats kunnen blijven wonen.

Andere veelbelovende biomedische toepassingen van nanotechnologie zijn:

- de ontwikkeling van intelligent textiel uit nanovezels dat ook lichaamsfuncties kan meten (bijvoorbeeld het babypakje dat de hartslag en de ademhaling van een baby registreert, ontworpen door de vakgroep Textielkunde van de UG);
- een betere huidbescherming door het gebruik van nanodeeltjes in huidverzorgingsproducten (onder meer antirimpel- en zonnebrandcrèmes): voedende stoffen zoals vita-

⁴⁷ IFOAM Position Paper, ‘The Use of nanotechnologies and nanomaterials in organic agriculture’: http://www.ifoam.org/press/positions/IFOAMPositionPaperNanotech2011_Approved.pdf.

⁴⁸ viWTA, ‘Nanotechnologie, stand van zaken – Nano Nu’.

mine A of E worden verpakt in nanopartikels en dringen door de opperhuid heen tot in de lederhuid. Cosmeticaproducten zoals L'Oréal stellen dat dat perfect veilig is en extra bescherming biedt. Nanotoxicologen en de milieubeweging waarschuwen voor schadelijke effecten van vooral het gebruik van nanozilverdeeltjes;⁴⁹

- de ontwikkeling van zelfreinigend en antibacterieel textiel uit nanovezels en de inzet van nanocoatings voor beschermkledij – ook hier geldt de waarschuwing dat het gaat om biociden en antibiotica die dikwijls ook bijdragen tot resistentie – dat zou grondig moeten worden onderzocht en uitgeklaard.⁵⁰

10. Besluit

Als Vlaanderen op het vlak van innovatie en groene technologie een topregio wil worden (vergelijk Vlaanderen in Actie), is inzetten op nanotechnologie, maar dan vooral op een vergroening van de nanotechnologie, een belangrijke weg daartoe. Onderzoeksinstituten en bedrijven zijn op dat vlak al zeer actief in Vlaanderen. Maar als de overheid bewust stuwt in een duurzame richting en daar ook middelen tegenover stelt, kan dat een groot verschil maken. Groene nanotech kan dan een van de toekomsttroeven worden voor Vlaanderen. De voorwaarde is dan wel dat we de risico's en duurzaamheidstekorten ernstig nemen en voluit investeren om die weg te werken, zoals we in het verleden ook al in andere sectoren gedaan hebben.

Filip WATTEEUW

Hermes SANCTORUM

Elisabeth MEULEMAN

⁴⁹ Dr. Rye Senjen (Friends of the Earth Australië) en Ian Illuminato (Friends of the Earth VS), 'Nano & Biocidal Silver', juni 2009.

⁵⁰ Ibidem.

VOORSTEL VAN RESOLUTIE

Het Vlaams Parlement,

- stelt vast dat:
 - 1° in Vlaanderen heel wat instellingen en bedrijven actief zijn op het vlak van nanotechnologisch onderzoek en de ontwikkeling van concrete toepassingen van nanotechnologie;
 - 2° daarbij dikwijls de band wordt gelegd tussen nanotechnologie en een duurzame transitie, dat veel ontwikkelingen plaatsvinden onder de noemer van ‘groene nanotechnologie’;
 - 3° in Vlaanderen, net als elders in Europa en de wereld, het aandeel van het onderzoek naar gezondheids-, veiligheids- en milieueffecten van nanotechnologie bijzonder klein blijft;
 - 4° ook in Vlaanderen nanomaterialen en nanodeeltjes al veelvuldig worden toegepast en op de markt zijn, ook in producten die gebruikt worden in de voeding en de lichaamshygiëne;
 - 5° de Europese Commissie nanotechnologie en inzonderheid duurzame toepassingen van nanotechnologie wil bevorderen, zoals weergegeven in de mededelingen van de Commissie van 12 mei 2004 ‘Naar een Europese Strategie voor nanotechnologie’ en van 7 juni 2005 ‘Nanowetenschappen en nanotechnologieën: een actieplan voor Europa 2005-2009’;
 - 6° de Commissie tegelijk ook werk wil maken van een beter regelgevend kader, zoals blijkt uit de mededeling van de Commissie van 17 juni 2008 ‘Regelgevingsaspecten van nanomaterialen’;
 - 7° dat het Europees Parlement zich in een resolutie van 24 april 2009 over regelgevingsaspecten van nanomaterialen, heeft uitgesproken voor een sterkere normering, een moratorium voor nanodeeltjes in de voeding en voor meer transparantie in verband met elk gebruik van nanomaterialen in consumptiegoederen;
- verzoekt de Vlaamse Regering:
 - 1° naar Europees voorbeeld werk te maken van een eigen Vlaams Actieplan Nanotechnologie, ter uitvoering van de resolutie betreffende de lancering van een Vlaams Actieplan Nanotechnologie met inschatting van de risico’s voor mens en milieu, die werd goedgekeurd in het Vlaams Parlement op 25 maart 2009;
 - 2° in het kader van dat actieplan een apart innovatieplatform of een aparte competentiepool op te zetten specifiek voor duurzaam nanotechnologisch onderzoek en duurzame nanotechnologische toepassingen;
 - 3° met betrekking tot het duurzame nanotechnologische onderzoek in Vlaanderen in het bijzonder ook onderzoek te steunen dat oplossingen zoekt voor de volgende duurzaamheidstekorten die zich aandienen in verband met nanotechnologische toepassingen:
 - a) de hoge energiekosten van de productie van nanomaterialen zoals nanovezels en nanobuisjes;
 - b) de hoge milieukosten van de productie van nanomaterialen, het hoge verbruik van water en chemicaliën, de hoge materiaalinput, waardoor ook veel met nanodeeltjes besmet afval overblijft;
 - c) de mogelijke risico’s van nanodeeltjes en nanovezels voor de menselijke gezondheid, naar analogie van problemen als ultrafijn stof en asbestvezels;
 - d) de milieurisico’s van nanodeeltjes die bewust (bij productgebruik) of indirect (als lekkage of afval) in het leefmilieu terechtkomen;
 - e) de behoefte aan transparante levenscyclusanalyses voor nieuwe nanoprodukten en nanomaterialen;

- f) het effect van convergerende technologieën (het samenspel van nano-, neuro-, bio- en IC-technologie) op de samenleving in het algemeen, en de Noord-Zuid-relaties in het bijzonder;
- 4° daarbij minstens 20% van de onderzoeksmiddelen in te zetten voor onderzoek naar de veiligheids-, de gezondheids- en de milieueffecten van nanotechnologische toepassingen, onder meer voor de ontwikkeling van gepaste detectiemethodes en toxicologische evaluatiemethodes;
- 5° met betrekking tot duurzame technologische toepassingen bij voorrang in te zetten op het verbeteren en uitbouwen van toepassingen, noodzakelijk voor duurzame transitieprocessen als beschreven in de nieuwe Vlaamse Strategie Duurzame Ontwikkeling:
 - voor de duurzame transitie inzake energie:
 - a) de inzet van nanotechnologie voor de verbetering van fotonvoltaïsche zonnepanelen;
 - b) de inzet van nanocomposieten voor de optimalisatie van onderdelen van windturbines;
 - c) de inzet van nanotechnologie voor een verbeterde opslag van energie;
 - d) de inzet van nanobuizen als (half)geleiders;
 - e) een verhoging van de efficiëntie van energieomzetting en energietransport via de inzet van nanokatalysatoren;
 - f) verhoging van de energie-efficiëntie en levensduur van chips via nano-elektronica;
 - g) de inzet van nanokristallen voor een verhoogde efficiëntie van ledverlichting;
 - voor de duurzame transitie op het vlak van bouwen en wonen:
 - h) de inzet van nanomaterialen bij isolatie;
 - i) het gebruik van nanodeeltjes voor de creatie van nieuwe, meer resistente en duurzame bouwmaterialen (zoals zelfverdichtend en zelfreinigend beton, corrosiebestendig staal, zelfreinigend en energiebesparend glas, nanokeramische materialen enzovoort);
 - j) het gebruik van nanodeeltjes voor de niet-chemische verduurzaming van hout;
 - k) de inzet van nanoklei bij kunststoffen en composieten zodat het gebruik van halogenen (bijvoorbeeld als vlamvertragers) kan worden vermeden;
 - l) het gebruik van nanosensoren voor de regeling van het binnenhuisklimaat;
 - voor de duurzame transitie inzake mobiliteit:
 - m) de inzet van nanomaterialen (bijvoorbeeld koolstof nanobuisjes) bij de productie van lichtgewicht fietsen, wagens en vliegtuigen;
 - n) de inzet van nanokatalysatoren en nanosensoren voor de vermindering van het brandstofverbruik en de vermindering van de uitstoot van uitlaatgassen;
 - o) de inzet van nanotechnologie voor een verhoogde efficiëntie van batterijen en brandstofcellen;
 - voor de duurzame transitie op het vlak van materialenbeheer en industrie (omzetting principes van de 'industriële ecologie'):
 - p) de inzet van nanotechnologie voor de vermindering van grondstofverbruik en de preventie van afval;
 - q) de inzet van nanosensoren voor de detectie van vervuiling en van nanodeeltjes voor de in-situsanering van vervuild (grond)water;
 - r) de inzet van nanoporeuze filters en nanomembranen om stoffen te scheiden in productieprocessen en bij waterzuivering;
 - s) de inzet van nanotechnologie in een groene chemie, bijvoorbeeld voor de substitutie van toxische chemische stoffen, de vermindering van het gebruik van (reinigings)solventen en het versnellen van reacties (met behulp van nanokatalysatoren);
 - t) de inzet van enzymatische nanobioprocessing voor de productie van energie en biograndstoffen uit organisch afval;

- voor de duurzame transitie op het vlak van voeding en landbouw:
- u) de inzet van nanosensoren voor gewasbewaking en van nanocapsules voor de vermindering van het gebruik van bestrijdingsmiddelen;
 - v) de inzet van slimme verpakkingsmaterialen voor het verhogen van de voedselveiligheid;
 - w) de inzet van voedingssupplementen met nanodeeltjes (functionele voeding) om de kwaliteit van voedingsstoffen te verbeteren;
- voor de duurzame transitie inzake gezondheid en zorg:
- x) de inzet van ‘nanobodies’ en lab-on-chipsystemen en van bionica in de geneeskunde;
 - y) de inzet van nano(bio)sensoren voor gezondheidsmonitoring;
 - z) een betere huidbescherming door het gebruik van nanodeeltjes in huidverzorgingsproducten (onder meer zonnecrèmes);
- aa) de ontwikkeling van zelfreinigend en antibacterieel textiel, de inzet van nanocoatings voor beschermkledij;
- 6° geen steun te bieden aan nanotechnologische ontwikkelingen die direct of indirect in verband staan met militaire toepassingen;
 - 7° een ‘Groene Nano(technologie) Prijs’ in te stellen, waarbij jaarlijks de meest verdienstelijke duurzame toepassing van nanotechnologie in een product of productieproces wordt beloond;
 - 8° als overheid het gebruik van producten van duurzame nanotechnologie in de eigen diensten en bestekken toe te passen;
 - 9° met de fabrikanten en verdelers in Vlaanderen van producten die nanomaterialen bevatten, inzonderheid voedings- en lichaamsverzorgingsproducten, een convenant af te sluiten in verband met de melding van elk gebruik van nanomaterialen aan het publiek (bijvoorbeeld door het voeren van een uniform label) om zo de keuzevrijheid van de consument te verzekeren;
 - 10° bij de federale en Europese overheden aan te dringen op:
 - a) de wettelijke verankering van een dergelijke meldingsplicht voor alle producten die nanomaterialen bevatten;
 - b) de vastlegging van een sluitend normerings- en vergunningenstelsel voor het toestaan van nanomaterialen in alle producten die gebruikt worden in voeding en voor lichaamsverzorging;
 - c) een levenscyclusanalyse – ten laste van de producenten – van alle producten die nanomaterialen bevatten en die men op de markt wil brengen;
 - 11° streef- en grenswaarden voor nanostoffen in het Vlaams reglement betreffende de milieuvergunning (VLAREM) op te nemen;
 - 12° alle kansen te (blijven) bieden aan de participatie van burgers in verband met de verdere ontwikkeling van nanotechnologie, het draagvlak voor die nieuwe technologie te garanderen en zowel reële risico’s als perceptieproblemen op tijd te kunnen inschatten en erop in te spelen.

Filip WATTEEUW

Hermes SANCTORUM

Elisabeth MEULEMAN