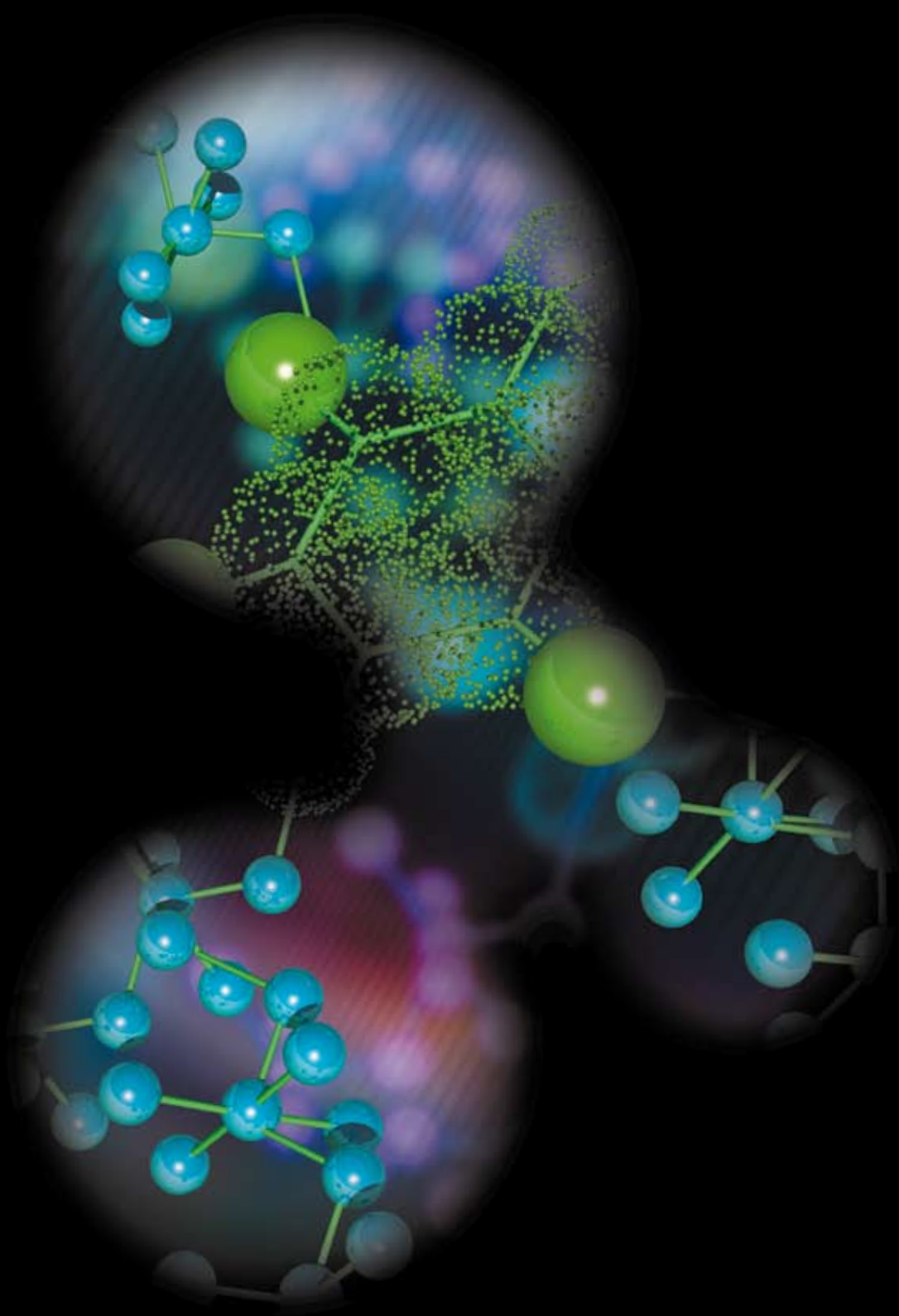


STRATEGISCHE RESEARCH AGENDA

NANOTECHNOLOGIE

NEDERLANDS NANO INITIATIEF





Proloog

Op verzoek van de regering hebben de Stichting voor Fundamenteel Onderzoek der Materie (FOM), de Technologiesteding STW (STW) en het nationale nanotechnologienetwerk NanoNed de voorliggende Strategische Research Agenda Nanotechnologie opgesteld, in het kader van het Nederlands Nano Initiatief.

Het onderzoeksveld van de nanotechnologie is veelomvattend en breidt zich steeds verder uit. Voor Nederland is het belangrijk hierin keuzes te maken. Keuzes, gebaseerd op de bestaande sterktes en de kansen die daaruit voortvloeien. Generieke thema's waarin Nederland excelleert zijn o.a. vastgesteld in de strategienota van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO): Towards a multidisciplinary national nano-science programme¹. Daarnaast zijn applicatiegebieden ingebracht in de Kabinetsvisie Nanotechnologieën: Van klein naar groots². Deze generieke thema's en applicatiegebieden worden in deze Strategische Research Agenda verder uitgewerkt.

Vanuit het centrale thema impact op samenleving en risicoanalyse zijn vier generieke thema's gedefinieerd: bio-nanotechnologie, beyond Moore, nanomaterialen, en nanofabricage (inclusief instrumentatie en karakterisatie). Ook zijn vier applicatiegebieden gedefinieerd: schoon water, energie, voeding en 'nanomedicine' (de toepassing van nanotechnologie in de geneeskunde).

De researchagenda die nu voor u ligt, vraagt naast onderzoeksinitiatieven op het terrein van nanotechnologie ook om aandacht voor opleiding, valorisatie, kennisoverdracht en innovatief vermogen van zowel de kennisinstellingen, het bedrijfsleven, de maatschappelijke organisaties als de overheid.

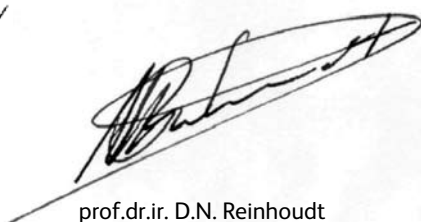
Aan de totstandkoming van de Strategische Research Agenda Nanotechnologie is ruim een jaar gewerkt onder leiding van prof.dr.ing. Dave H.A. Blank. Er is aan bijgedragen door een groot aantal onderzoekers uit (para-) universitaire kring, technologische instituten, overheidsinstellingen en het bedrijfsleven; dit zowel tijdens de workshops die tussen september en november 2007 werden gehouden, als in de vorm van bilaterale gesprekken en suggesties voor concrete teksten.



dr. K.H. Chang
directeur FOM



dr. E.E.W. Bruins
directeur STW



prof.dr.ir. D.N. Reinhoudt
voorzitter NanoNed

¹ NWO strategienota: Towards a multidisciplinary national nanoscience programme, december 2005

² "Van klein naar groots", Kabinetsvisie Nanotechnologieën Tweede Kamer, vergaderjaar 2006-2007, 29338 nr. 54

INHOUDSOPGAVE

Proloog	
Samenvatting	4
Deel 1 De kansen van nano voor Nederland	7
1.1 Wat is nanotechnologie?	7
1.2 Het belang van nanotechnologie	9
1.3 De internationale situatie	12
1.4 De positie en kansen voor Nederland	14
1.5 De noodzaak om snel tot actie over te gaan	16
1.6 De benodigde investeringen	18
Deel 2 De basis: het nationale speelveld	21
2.1 Industrieel landschap	21
2.2 Onderzoekslandschap	22
2.3 Bestaande initiatieven	27
2.4 Link naar microtechnologie	29
2.5 Maatschappij & Samenleving	30
2.6 Opleidingen/'Human Capital'	30
2.7 Infrastructuur en open innovatie	31
Deel 3 Het plan: het scheppen van meerwaarde	33
3.1 Generieke Thema's	35
3.1.1 Beyond Moore	35
3.1.2 Nanomaterialen	41
3.1.3 Bio-nanotechnologie	44
3.1.4 Nano-fabricatie	45
3.2 Applicatiegebieden	47
3.2.1 Nanomedicine	47
3.2.2 Voeding	51
3.2.3 Energie	54
3.2.4 Schoon water	59
3.3 Impact op samenleving en risicoanalyse	63

.....

Deel 4	Het instrumentarium: hoe en waar investeren	69
	4.1 Investeren in excellent onderzoek en menselijk kapitaal	69
	4.2 Investeren in en met bedrijven	70
	4.3 Investeren in infrastructuur	71
	4.4 Investeren in publiek-private samenwerking	72
	4.5 Investeren in de maatschappij	72
Deel 5	Het resultaat: de positie van Nederland in 2020	75
	5.1 Beschrijving van het nieuwe landschap en afrekencriteria	75
	5.2 Nederlands Nano Initiatief - Governance structuur	77
	5.3 Het vervolg	78
Bijlagen		
	1: Geplande investeringen USA voor 2009	81
	2: Positie Nederland in aantallen nanotechnologie-publicaties en gemiddelde citaties	82
	3: Nano-industrieel landschap	83
	4: Internationale initiatieven op gebied van nanotechnologie	84
	5: Workshops Nederlands Nano Initiatief	87

Highlights

Bio-nanotechnologie - Cees Dekker, Nynke Dekker
 Het verbinden van nanosystemen met de macrowereld - Miko Elwenspoek
 Verbinding van de biowereld met de wereld van de synthetische materialen - Ben Feringa
 Interfaces in oxidische nanodevices - Dave H.A. Blank
 Kwantum informatica - Leo Kouwenhoven, Lieven Vandersypen
 Ontwikkelen van complexe moleculaire systemen - Bert Meijer
 Bio-nanotechnologie - Albert van den Berg
 Het optimaliseren van top-down en bottom-up methodes voor het maken van nano apparaten
 - Bart van Wees
 Nanotechnologie voor water - Matthias Wessling

Samenvatting

Nanotechnologie biedt kansen voor Nederland

Nederland heeft de afgelopen jaren flink geïnvesteerd in nanotechnologie. Al in een vroeg stadium heeft Nederland zich geprofileerd op het gebied van nanotechnologie, door het initiëren van diverse (nationale) programma's. Hierdoor heeft ons land een hoog kennisniveau en een uitstekende positie verworven in het wetenschappelijke domein. Van deze programma's springt NanoNed het meest in het oog. Dit consortium heeft ervoor gezorgd dat verschillende disciplines uit de fysica, chemie, en elektrotechniek, uitgaande van hun eigen excellentie, samen zijn gaan werken. Daardoor is er een duidelijke meerwaarde in kennis en valorisatie ontstaan.

De positie die Nederland nu inneemt in het internationale krachtenveld, biedt kansen voor het bedrijfsleven, de onderzoeksinstituten, de overheid en de samenleving. Echter, bij de beëindiging van het NanoNed-programma in 2010 valt belangrijke overheidssteun voor de ontwikkeling van nanotechnologie weg, terwijl zich juist nu vele nieuwe toepassingsgebieden aandienen.

Meer dan ooit biedt nanotechnologie kansen voor Nederland. Vanuit die gedachte is deze strategische research-agenda Nanotechnologie geschreven. Het bevat een analyse van het huidige 'nanolandschap', nationaal en internationaal, en van nieuwe ontwikkelingen en kansen. Van daaruit worden de contouren geschetst van een nieuw, breed onderzoeksprogramma, het Nederlands Nano Initiatief (NNI).

TREND

Trend

In het komende decennium komt het nanotechnologisch onderzoek in een nieuwe fase, waarin zich naast "traditionele" toepassingen (in bijvoorbeeld de nano-elektronica) ook vele nieuwe toepassingen van nanotechnologie aandienen. Die liggen vooral op het gebied van mens en milieu, en leveren een grote bijdrage aan het oplossen van belangrijke maatschappelijke vraagstukken. Voorbeelden van relevante toepassingen van nanotechnologie zijn: technologieën voor schoon water, voeding en gezondheid, energievoorziening en energiebesparing, en nanomedicine (innovaties op het gebied van de geneeskunde). Daartoe moet de reeds bestaande multi disciplinaire samenwerking tussen onderzoekers in het gebied van nanotechnologie wel uitgebreid worden met de bijdragen van medici en biologen.

Omdat nano een steeds grotere impact op onze samenleving zal krijgen, zullen bovendien onderzoekers op het gebied van de gedrags-, maatschappij-, voedings- en gezondheidswetenschappen deelnemen in het NNI. Deze ontwikkelingen bieden groeiende kansen voor het bedrijfsleven, dat daarom al in een vroeg stadium bij de ontwikkeling van deze onderzoeksagenda betrokken is geweest en dat actief zal deelnemen in het programma. In het NNI moet open innovatie gestimuleerd worden, zodat start-up bedrijvigheid gestimuleerd en economische groei en bloei gerealiseerd kunnen worden. Wij staan nu voor de uitdaging deze volgende fase te realiseren.

DOEL

Doel

Het NNI moet leiden tot een zichtbaar consortium, waarin excellent onderzoek plaatsvindt, waarin ook het bedrijfsleven deelneemt, onderzoeksfaciliteiten zijn gebundeld, en valorisatie wordt bevorderd. Het consortium moet daarbij oog hebben voor maatschappelijke ontwikkelingen en daarop adequaat inspelen. Het NNI streeft ernaar dat nanotechnologie wordt ingebed in Nederland door middel van onderwijs en onderzoek, leidend tot nieuwe hoogwaardige werkgelegenheid. Tevens dient er een zorgvuldige analyse te worden gemaakt van de kansen en risico's die nanotechnologie met zich meebrengt.

MIDDEL

Middel

Deze strategische researchagenda, geschreven op verzoek van de Nederlandse regering, identificeert de generieke onderzoeksthema's en applicatiegebieden die het meest belangrijk zijn voor Nederland als kennisland en voor haar mondiale positie. Vanuit het centrale thema *impact op samenleving en risicoanalyse* zijn vier generieke thema's gedefinieerd: *bio-nanotechnologie*, *beyond Moore*, *nanomaterialen*, en *nanofabricage* (inclusief instrumentatie en karakterisatie). Ook zijn vier applicatiegebieden gedefinieerd: *schoon water*, *energie*, *voeding* en '*nanomedicine*' (de toepassing van nanotechnologie in de geneeskunde). De agenda beschrijft het Nederlandse onderzoekslandschap op het gebied van de nanotechnologie, beschrijft de onderzoekslijnen waarmee Nederland zich kan profileren en geeft mogelijkheden aan om te komen tot valorisatie door relaties te leggen tussen kennisinstellingen en bedrijven. De vertaling van de voorgestelde onderzoekslijnen in concrete onderzoeksvoorstellen moet plaatsvinden in nauw overleg tussen de kennisinstellingen, de betrokken industrie, overheid en maatschappelijke instanties.

REALISATIE

Realisatie

Om de doelstellingen van deze strategische researchagenda voor het NNI te realiseren vragen wij de betrokken partijen, overheid, kennisinstellingen, industrie en maatschappelijke instanties om een gezamenlijke inspanning die moet leiden tot een structurele investering van 100 miljoen Euro per jaar tot 2020. Voorgesteld wordt de volgende verdeling: overheid 50 %, bedrijfsleven 20 %, kennisinstellingen 15 % en nano-initiatieven NWO & EU 15 %, te distribueren over risico & impact 15 %, infrastructuur & open innovatie 20 %, generiek onderzoek 20 %, applicatiegericht onderzoek 25 %, publiekprivate programma's 10 % en human capital 10 %.

DEEL 1

DE KANSEN IN NANO VOOR NEDERLAND

“Nanotechnologie
wordt beschouwd als
de belangrijkste
technologie van de
21ste eeuw”

De kansen van nano voor Nederland

In dit hoofdstuk wordt nanotechnologie geïntroduceerd. De ontwikkeling van nanotechnologie wereldwijd wordt beschreven, inclusief de financiële bijdragen van de verschillende landen. Vervolgens wordt de positie van Nederland beschreven en de gevolgen van de subsidiering door de Nederlandse regering in de Bsik-regeling aangeduid. Tenslotte wordt de noodzaak om snel te handelen beargumenteerd.

1.1 Wat is nanotechnologie?

Het vakgebied nanotechnologie is voor het eerst benoemd door de fysicus en Nobelprijswinnaar Richard Feynman. Hij gaf in 1959 een voordracht³ getiteld *There is plenty of room at the bottom* tijdens de jaarvergadering van de American Physical Society op het California Institute of Technology. Hij voorspelde dat het manipuleren van materie op het niveau van individuele moleculen en atomen de mens ongekende nieuwe mogelijkheden zou bieden. Als extra bijzonderheid van het nieuwe gebied noemde hij het feit dat materie op atomaire schaal heel andere eigenschappen kan bezitten dan op grotere schaal. Daarnaast zou, naarmate materie kleiner wordt, het oppervlak toenemen ten opzichte van het volume. Tenslotte zouden volgens Feynman in dit gebied nieuwe verschijnselen een rol gaan spelen die alleen kunnen worden begrepen met de wetten van de kwantummechanica. In zijn lezing noemde hij het woord nanotechnologie zelf niet, die term werd voor het eerst in 1974 gebruikt door de Japanse ingenieur Norio Taniguchi⁴.

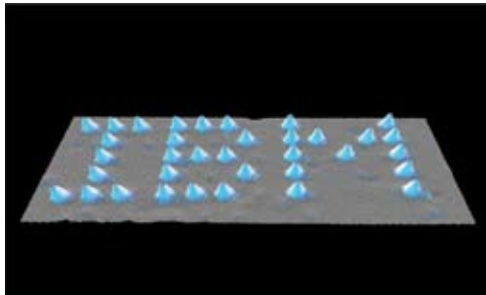
Een van de belangrijkste vindingen in de nanotechnologie, begin jaren 80, is de scanning tunnel microscop (STM), die nanostructuren zichtbaar kan maken. De twee uitvinders, Heinrich Rohrer en Gerd Binnig⁵ van IBM-Zürich, ontvingen in 1986 hiervoor de Nobelprijs. Deze microscop tast met een uiterst fijne naald een te onderzoeken oppervlak af en bereikt daarbij zo'n hoge resolutie dat de afzonderlijke atomen zichtbaar worden. Don Eigler (IBM-Almaden) slaagde er in 1990 met zo'n zelfde apparaat in met 35 xenon-atomen op een nikkeloppervlak met letters van enkele nanometers de naam 'IBM' te schrijven⁶, hetgeen een trademark voor de nanotechnologie geworden is. Sindsdien zijn er diverse apparaten ontwikkeld waarmee individuele atomen of moleculen onderzocht en gemanipuleerd kunnen worden, zoals de atomaire-krachtmicroscop (AFM) en het optisch pincet. Hiermee hebben we inzicht gekregen in de bouwstenen van de biologie, chemie, elektrotechniek en de fysica. De nanotechnologie heeft deze disciplines bij elkaar gebracht. We spreken daarom over een multidisciplinair onderzoeksveld.

3 Feynman RP. *There's plenty of room at the bottom; an invitation to enter a new field of physics* Engineering & Science 23 (1960)

4 Taniguchi N. *On the basic concept of 'nanotechnology'*. In: *Proceedings of the international conference on production engineering*. Tokyo, Part II. Tokyo: Japan Society of Precision Engineering (1974) 18-23.

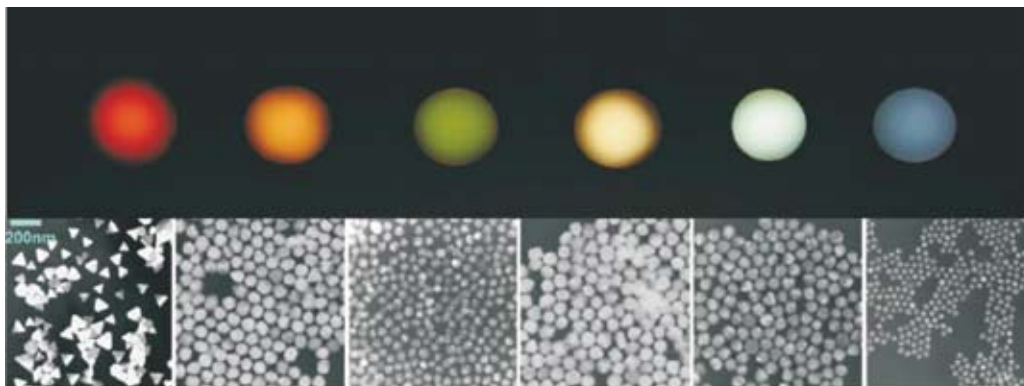
5 Binnig G, Rohrer H, Gerber Ch, Weibel E. *Surface studies by scanning tunneling microscopy*. Phys Rev Lett 49 (1982) 57-61.

6 Eigler DM, Schweizer EK. *Positioning single atoms with a scanning tunneling microscope*. Nature 344 (1990) 524-526.



IBM in 35 xenon atomen, Eigler, IBM-Almaden

Nanotechnologie, als nieuw vakgebied, vraagt om een nadere definiëring. Internationaal wordt onder nanotechnologie verstaan het ontwerpen, karakteriseren, produceren, manipuleren en toepassen van structuren op nanoschaal, met één of meer dimensies die typisch (maar niet absoluut) onder de 100 nanometerschaal liggen. Op deze schaal vertoont materie unieke eigenschappen die gebruikt kunnen worden voor verbeterde materialen en systemen, met nieuwe toepassingen op velerlei terreinen. Het is gebruikelijk dat bereik te definiëren als het gebied tussen 0.1 en 100 nm. Het is wel van belang dat de nanometer-afmeting er echt toe doet. Zo zullen niet alle dunne materiaallagen nanomaterialen genoemd worden. Dat is slechts het geval indien sprake is van bijzondere eigenschappen, samenhangend met de nanometerafmeting. Hetzelfde kan worden gezegd van bijvoorbeeld nanodeeltjes. Ook hierbij is het van belang dat de deeltjes een extra functionaliteit hebben door hun nanometerschaal-afmetingen.



Ag ~ 120 nm Au ~ 100 nm Au ~ 50 nm Ag ~ 120 nm Ag ~ 80 nm Ag ~ 40 nm

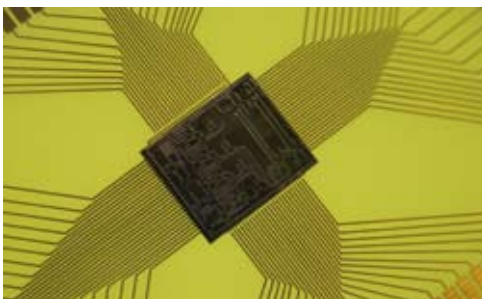
Kleur afhankelijkheid van element en deeltjesgrootte

1.2 Het belang van nanotechnologie

Nanotechnologie wordt beschouwd als de belangrijkste technologie van de 21ste eeuw. Dit inzicht is gebaseerd op de vaak ongekende mogelijkheden die nanotechnologie met zich meebrengt, maar bovenal omdat verwacht wordt dat nanotechnologie een grote bijdrage kan leveren aan verschillende mondiale problemen, zoals het energievraagstuk en de wereldgezondheid.

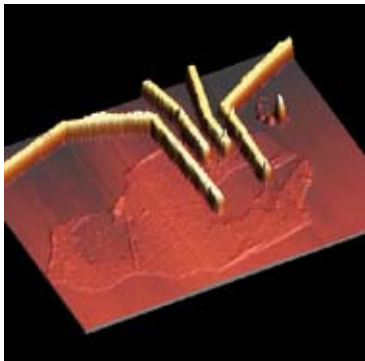
In de beginjaren is de halfgeleiderbranche de grote drijvende kracht binnen de nanotechnologie geweest. In de micro-elektronica vindt een voortschrijdend proces van miniaturisatie plaats. Bij de productie van computerchips slaagt men er via lithografische technieken in om steeds kleinere structuren te realiseren. In de laatste dertig jaar is de dichtheid van transistoren op een chip elke anderhalf jaar verdubbeld. Dit staat bekend als de wet van Moore. Deze wet komt binnenkort tot zijn eind, en nieuwe ideeën en technologieën worden noodzakelijk. Dit nieuwe tijdperk binnen de elektronica noemen we 'beyond Moore'. Nanoelektronica zal veel efficiënter met energie omgaan door het toepassen van licht als informatiedrager of door het gebruik van plastic elektronica. Dit is een zeer belangrijke ontwikkeling voor de consumentenelektronica industrie, en dus een van de thema's waarvoor wij in Nederland moeten kiezen.

In het afgelopen decennium zijn nanotechnologie en biologie steeds vaker een sterk koppel gaan vormen. Levende cellen zitten vol met uit eiwitmoleculen opgebouwde 'machines' en andere structuren met nanometerafmetingen. Fysici, biologen en technici laten zich bij hun onderzoek en bij het ontwerpen van toepassingen dan ook steeds meer door biotische systemen inspireren. Anderzijds kunnen de nanotechnologische ontwikkelingen door nieuwe onderzoeksmethoden, technieken en instrumentatie een impuls geven aan het bio- en medisch onderzoek⁷. Dat gebeurt bijvoorbeeld in een "laboratorium-op-een-chip", waarmee in zeer korte tijd en op zeer eenvoudige wijze de samenstelling van kleine hoeveelheden lichaamsmateriaal bepaald kan worden: de basis voor moleculaire geneeskunde. Denk hierbij ook aan het ontwikkelen van nieuwe medicijnen, het vroegtijdig opsporen van virussen, het controleren en doceren van medicijntoevoer, en aan intelligente chirurgische apparatuur. Daarom zullen in het NNI ook publieke en private partijen uit de medische en zorgsectoren participeren.



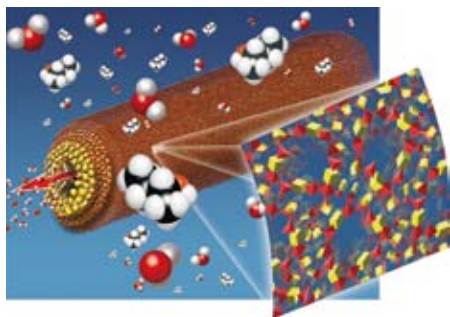
Lab-on-a-chip voor klinisch gebruik,
Maggie Barlett, NHGRI

7 Rocco MC. Nanotechnology: convergence with modern biology and medicine. *Curr Opin Biotechnol* 14 (2003) 337-346.



Metingen aan één atoomlaag grafeen, Kavli, TUDelft

Materialen met nano-afmetingen danken hun bijzondere eigenschappen aan twee factoren: hun relatief grote oppervlak ten opzichte van hun inhoud en het optreden van kwantumverschijnselen. Omdat veel chemische reacties aan het oppervlak van materialen plaatsvinden, worden deze reactiever naarmate ze fijner gestructureerd zijn. Als de afmetingen van materialen in de buurt van enkele nanometers komen, gaan bovendien kwantumverschijnselen de materiaaleigenschappen domineren. Deze volgen niet uit de wetten van de klassieke mechanica, maar uit die van de kwantummechanica. Dat is een verzameling natuurwetten die het gedrag van subatomaire deeltjes, zoals elektronen, protonen en neutronen, beschrijven. De term 'kwantum' duidt er onder meer op dat deze deeltjes slechts energie kunnen uitwisselen in discrete hoeveelheden. Dit is van grote invloed op de optische, elektrische en magnetische eigenschappen van het materiaal.



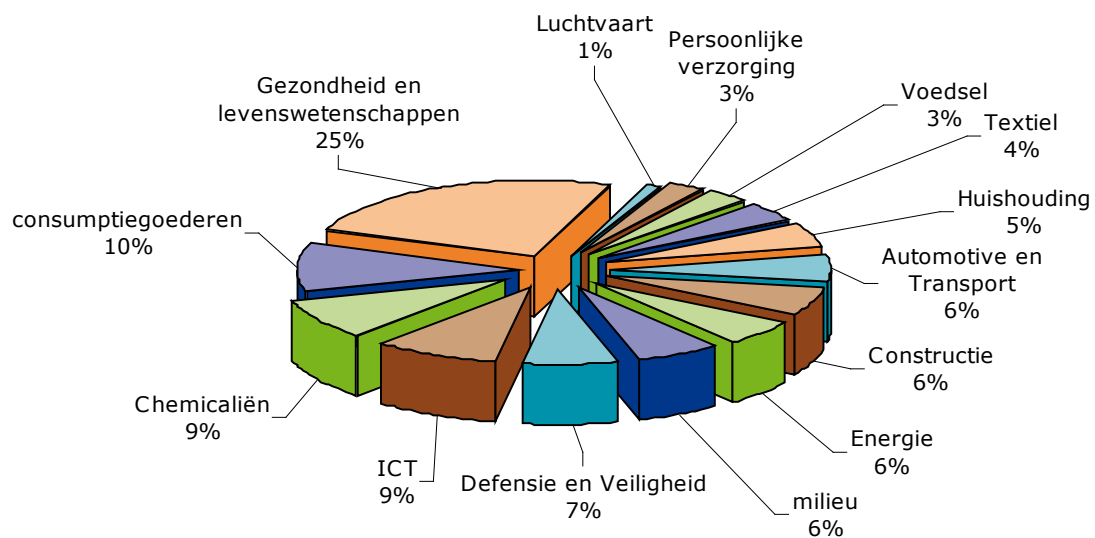
Nanofiltratie, ECN

De laatste jaren is de mens steeds beter in staat om op een gecontroleerde manier materialen met zeer kleine afmetingen te maken. Daarmee ontstaat de mogelijkheid om de bijzondere eigenschappen van nanomaterialen te exploiteren. Materialen die gemodificeerd zijn met behulp van nanotechnologie leiden tot efficiëntere zonnecellen, brandstofcellen en batterijen. Ook zijn er milieutoepassingen (katalysatoren, membranen), en toepassingen in informatieopslag (kwantumdots, multiferroics) en informatietransport (fotonische kristallen). Het gebruik van energiezuinige nanomaterialen zal mede een van de grootste wereldproblemen, het energieverbruik, helpen oplossen. Denk hierbij ook aan energiezuinige informatieverwerking (computers, mobiele telefoons, internet). Op dit gebied heeft Nederland een internationale reputatie en veel Nederlandse bedrijven (multinationals, MKB) richten zich op deze nieuwe materialen. Ook internationaal, zoals binnen de Materials Research Society, wordt extra aandacht gevraagd om te komen tot betere materialen voor onze energiehuishouding.

Momenteel vindt op het gebied van nanomaterialen veel onderzoek plaats. Veel toepassingen verkeren nu in de laboratoriumfase. Commerciële producten met of op basis van nanomaterialen zijn op dit moment nog schaars, maar naar verwachting zal dit gebied zich zeer sterk ontwikkelen. Dat is een van de redenen om ook onderzoek van nanomaterialen op te nemen in dit NNI.

Op dit moment doet de nanotechnologie haar intrede in verschillende applicatiegebieden, variërend van voedsel, gezondheid, energievoorziening, tot bijvoorbeeld waterzuivering. Toepassing van nanotechnologie zal leiden tot het oplossen van verschillende maatschappelijke problemen, het creëren van hoogwaardige werkgelegenheid en het doen van vernieuwend wetenschappelijk onderzoek.

In figuur 1 worden de markteconomische toepassingsgebieden van nanotechnologie-bedrijven in Europa weergegeven. Hieruit wordt duidelijk dat de nanotechnologie een belangrijke economische motor is voor gezondheid en levenswetenschappen. Ook geeft het figuur de multidisciplinariteit van de applicatiegebieden binnen de nanotechnologie aan. In hoofdstuk 3 worden de onderzoekslijnen waarin het NNI kansen ziet voor Nederland per generiek thema en per applicatiethema verder uitgewerkt.



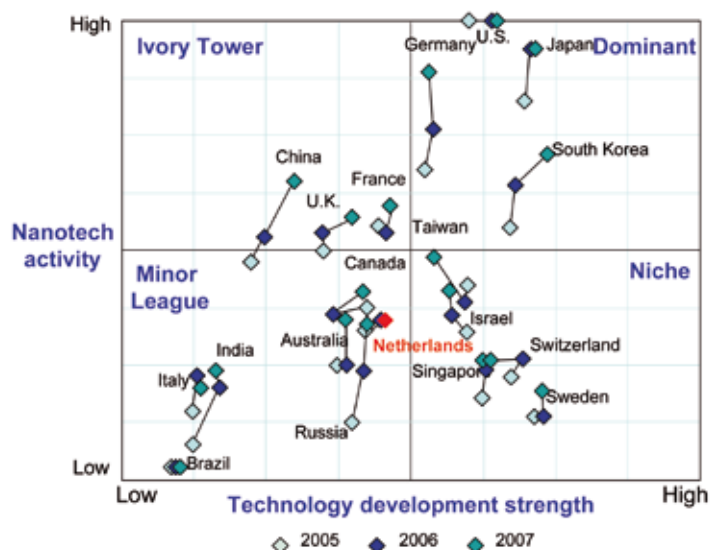
Figuur 1: De markteconomische toepassingsgebieden van nanotechnologiebedrijven in Europa 2007. Het diagram heeft betrekking op bedrijven waarvoor nanotechnologie-producten of platforms een primair gebied zijn. De cijfers zijn exclusief bedrijven gespecialiseerd in gereedschappen en/of instrumentatie op het gebied van de nanotechnologie.

(bron: Technology Transfer Centre, 2007)

1.3 De internationale situatie

De nanowetenschap en nanotechnologieën zijn de laatste jaren in een enorme stroomversnelling geraakt. Dat blijkt onder andere uit een exponentiële toename van het aantal wetenschappelijke publicaties. Het onderzoeks-terrein is aanzienlijk uitgebreid en omvat nu ook verschillende richtingen die inmiddels hun eigen naam hebben, zoals de nano-elektronica, de bio-nanotechnologie, de moleculaire nanotechnologie en nanotechnologie in de geneeskunde ('nanomedicine'). De gemeenschappelijke noemer is de schaalgrootte van de studieobjecten.

Parallel aan deze groei zijn de financiële middelen die overheden wereldwijd voor nanowetenschap en nanotechnologieën beschikbaar stellen sterk gestegen. In 1997 werd in totaal \$ 432 miljoen geïnvesteerd⁷. In 2003 was dit bedrag al bijna \$ 3 miljard. Koplopers zijn de VS, Japan, Zwitserland en een aantal EU-landen waarbij Duitsland, Frankrijk en het Verenigd Koninkrijk (op een absolute schaal) het meest actief zijn op nanotechnologiegebied. Nederland neemt hierbij een meer bescheiden plaats in, gedeeltelijk door haar geringere omvang. Zie figuur 2.



Figuur 2: Nanotechnologische activiteiten (absolute schaal) versus technische ontwikkelsterkte (relatieve schaal).

Bij activiteiten is hierbij gekeken naar nano-initiatieven, nanotech centra, publicaties, patenten, overheidssteun, risicokapitaal, corporatief R&D, actief deelnemende bedrijven. Bij ontwikkelsterkte is gekeken naar R&D- bestedingen, High tech-producties, aantallen arbeidskrachten, aantallen promoties, onderwijs en infrastructuur (LUX Research Inc. ©2008⁸)

⁸ Gegevens afkomstig van LUX Research Inc. in opdracht van NanoNed betreffende de valorisatie van de verschillende Flagships binnen NanoNed (2008).

.....

Bovenop de nationale uitgaven van de EU-landen komen de gelden die de Europese Commissie beschikbaar stelt. Voor 'prioriteit 3', 'Nanotechnologie en nanowetenschappen, materialen en nieuwe productieprocessen' (NMP) was in het Zesde Kaderprogramma in totaal € 1,3 miljard beschikbaar (2002-2006). Hiervan werd circa € 500 miljoen aan nanotechnologieën besteed. In het Zevende Kaderprogramma is dit bedrag meer dan het dubbele. Dit alles betreft publieke gelden. Naar schatting is het bedrag dat de private sector in nanotechnologieën investeert ruim \$ 9 miljard.

De VS bekleedt de topositie op het gebied van investeringen in nanotechnologie. Amerika beschouwt nanotechnologie als een van de belangrijkste pijlers voor economische en wetenschappelijke ontwikkelingen. Wanneer we investeringen in nanotechnologisch onderzoek en de resulterende markten in de VS nader onder de loep nemen dan kunnen we het volgende concluderen:

- Nano-electronics: US\$ 1.827 miljoen in 2005. Vooruitzicht 2010: US\$ 4.219 miljoen.
- Nanofood: markt zal groeien met 31% van 2006 tot 2010, tot een marktwaarde van US\$ 2.040 miljoen in 2010.
- De markt voor textiel dat gebruik maakt van nanotechnologie heeft in 2007 de grens van US\$ 13,6 miljard overschreden. Verwacht wordt dat deze in 2012 de grens van US\$ 115 miljard zal bereiken.
- Alleen al in de VS stijgt het marktaandeel voor nanotech instrumenten met gemiddeld 30% per jaar tot US\$ 900 miljoen in 2008 om vervolgens te verdrievoudigen naar US\$ 2,7 biljoen in 2013.
- De VS heeft met 28% het grootste aandeel in mondiale investeringen in nanotechnologie (2005), gevolgd door de Japanse markt met 24%. Het totale aandeel van landen in West Europa is circa 25%, met de grootste investeringen in Duitsland, Engeland en Frankrijk. China, Zuid Korea, Canada en Australia leveren de grootste bijdragen tot de resterende 23 %.

In bijlage 1 is een overzicht opgenomen van de geplande investeringen in de VS voor 2009: in totaal US\$ 1.500 miljoen⁹. Uit de tabel blijkt dat nanotechnologie in de VS wordt ondersteund door de verschillende ministeries, in overeenstemming met het Nederlandse beleid, weerspiegeld in de ondertekening van de Kabinetsvisie Nanotechnologieën "Van klein naar groots" (2006-2007) door de bewindslieden van 8 ministeries.

9 Gegevens afkomstig van US-NNI Strategisch Plan: www.nano.gov

1.4 De positie en kansen voor Nederland

Al in een vroeg stadium is door verscheidene Nederlandse universitaire groepen en bedrijven het belang van nanotechnologie ingezien. In de nano-elektronica spelen bedrijven als Philips, NXP, ASML, FEI een belangrijke rol in de voortdurende miniaturisering van de halfgeleider componenten. Deze ontwikkelingen worden ondersteund door universitaire instituten zoals DIMES (TUD) en MESA+ (UT). Daarnaast wordt onderzoek verricht naar de bijzondere verschijnselen die zich in nanostructuren afspelen. De TUD (Kavli-instituut) heeft verschillende bijdragen geleverd op het gebied van kwantumeffecten (Mooij, Kouwenhoven) en (carbon) nanotubes, bio-nanotechnologie (Dekker). In Leiden hebben de experimenten aan zelfgetrokken nanodraden (van Ruitenbeek, RUL) internationaal aandacht gekregen.

Vooraf in de supramoleculaire chemie speelt Nederland een grote rol met als absolute hoogtepunten het onderzoek in de groepen van Meijer (TU/e), Nolte, Rowan (RUN), Reinhoudt (UT) en Feringa (RUG). Het onderzoek aan nanodeeltjes kent zijn zwaartepunten in Utrecht (Van Blaaderen, Meijerink, Vanmaekelbergh - quantum dots). Dit laatste thema wordt ook intensief bestudeerd bij Philips. Nano-gestructureerde materialen worden toegepast in o.a. zonnecellen (Schoonman, TUD), nanocomposities (De Hosson, RUG) en artificiële materialen (Blank, Hilgenkamp, UT). Zeer succesvol is ook het onderzoek en de toepassingen van MEMS devices (Elwingspoek, UT) en de mogelijke toepassingen in laboratorium-op-een-chip ontwerpen (Van den Berg, UT, Philips). Nano-fotonica in Nederland behoort ook tot de wereldtop (Kuipers, Polman, Lagendijk, Vos, AMOLF en UT).



Artificiële materialen: van ontwerp tot realisatie, Jeroen Huijben

Dit is slechts een greep uit de vele onderzoeksgroepen die het nanogebied exploreerden. Ter illustratie: sinds 2005, zijn door Nederlandse onderzoekers meer dan 30 artikelen in *Science* en *Nature* gepubliceerd op het gebied van nanotechnologie. In hoofdstuk 3 wordt verder ingegaan op de sterktes van Nederland.

De kansen voor Nederland liggen vooral op het gebied van wetenschappelijke resultaten gekoppeld aan utilisatie en open innovatie. Dankzij het Besluit Subsidies Investerings in de Kennisinfrastructuur (Bsik) van de Nederlandse overheid hebben onderzoek en valorisatie belangrijke steun verworven. Met € 130 miljoen voor het thema 'Microsystemen en nanotechnologie' werden drie grote onderzoeksprogramma's gesubsidieerd: NanoNed, BioMaDe en MicroNed. Daarvoor was al € 23 miljoen toegekend aan het onderzoeksprogramma NanoImpuls, de voorloper van NanoNed. Omdat het veelal onderzoek betreft dat voor de helft wordt gesubsidieerd, bedragen de totale investeringen over een periode van zes jaar circa € 300 miljoen. BioMaDe is vooral gericht op diagnostiek en medische therapie. NanoNed is meer fundamenteel wetenschappelijk van aard. Het vormt het grootste onderzoeksprogramma en is onderverdeeld in elf vlaggenschipprogramma's. Hierbij zijn zeven universiteiten, TNO Industrie & Techniek en Philips als deelnemers betrokken.

.....

Behalve met Philips wordt er ook samengewerkt met diverse andere industriële partners. MicroNed is toegespitst op microtechnologieën en *top-down* nanotechnologieën en is meer toepassingsgericht.

Op dit moment zijn in Nederland zo'n 135 instellingen actief op het gebied van nanotechnologieën, waaronder twaalf universiteiten en twaalf onderzoeksscholen. Bij het onderzoek zijn circa 600 onderzoekers betrokken. De minister van OCW noemde nanotechnologieën naast ICT en genomics als nationale prioriteit in haar Wetenschapsbudget 2004¹⁰. In 2007 is dit bevestigd door de huidige minister¹¹.

Het succes van NanoNed laat zich het best aflezen aan de output in wetenschappelijke artikelen en hun citaties, en aan de valorisatie (o.a. de groei van spin-off bedrijven, patenten en octrooien op het gebied van de nanotechnologie). In de elf onderzoeksgebieden ("vlaggenschepen") binnen NanoNed speelt Nederland een zeer belangrijke rol en in sommige gevallen de hoofdrol in het onderzoeksveld. Diverse citatieanalyses onderschrijven dit (zie hoofdstuk 2). Nederland behoort tot de top 3 van landen met meest geciteerde artikelen per publicatie (ongeveer 10). Alleen Zwitserland (12) en USA (11) scoren hierin beter (bron: Science Watch).

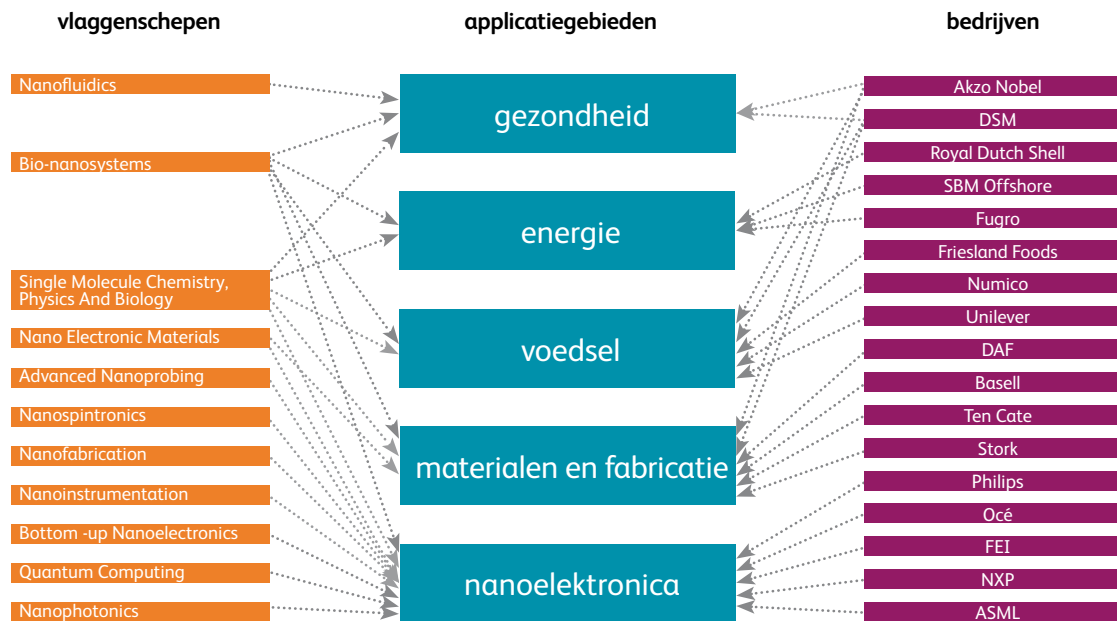
Een deel van de Bsik-gelden is geïnvesteerd in infrastructuur. De keuze om slechts een beperkt aantal gespecialiseerde onderzoekslaboratoria in te richten (Nanolab NL) en deze open te stellen voor alle onderzoekers en bedrijven in Nederland is een zeer effectieve gebleken. In combinatie met de verschillende open innovatie initiatieven beschikt Nederland over een unieke infrastructuur. Deze dient echter wel up-to-date te blijven.

Met bovengenoemde getallen kan Nederland tevreden zijn, hoewel we ervoor moeten waken in technologische ontwikkelingen niet achterop te raken bij onze buurlanden. De investeringen zijn voor een groot gedeelte terechtgekomen bij de academici, resulterend in een internationale toppositie. De vertaling naar toepassingen (zowel in het MKB als door multinationals) is nu in volle gang en vormt een van de prioriteiten van NanoNed, maar ook van het Point-One programma. Deze vertaling wordt ook als zeer belangrijk genoemd door de Commissie van Wijzen, die onlangs een advies uitbracht. De commissie benadrukt daarin het grote belang van nanotechnologie voor Nederland en noemt het noodzakelijk dat Nederland de financiering van onderzoek en infrastructuur continueert. Deze investeringen moeten inderdaad voortgezet worden om voldoende vaart in dit proces te houden. Hier ligt voor Nederland een kans om door te breken met nieuwe bedrijvigheid op het terrein van nanotechnologie.

Naast de thema's binnen NanoNed is het gebied enorm uitgebreid, zeker gezien de ontwikkeling in 'bio-nano' en 'nanomedicine'. Het gebied 'nanodeeltjes' viel buiten de scope van NanoNed, terwijl het in dit NNI een belangrijke positie inneemt, als onderzoeksveld, als toepassingsgebied en als potentiële risicofactor. In figuur 3 staan de relaties aangegeven die de verschillende vlaggenschepen binnen NanoNed hebben met de sleutelgebieden zoals die voor Nederland zijn vastgesteld. Hetzelfde is aangegeven voor een aantal belangrijke grote bedrijven. Binnen het NNI zal een duidelijke accentverschuiving plaatsvinden van nanoelektronica naar de andere applicatiegebieden.

10 Tweede Kamer. Wetenschapsbudget 2004. vergaderjaar 2003-2004, 29338 1. Den Haag: Sdu Uitgevers, 26-11-2003.

11 Strategische agenda voor het hoger onderwijs-, onderzoek- en wetenschapsbeleid, november 2007.

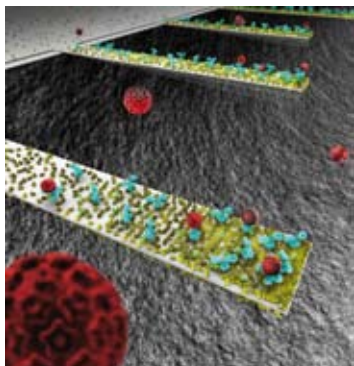


Figuur 3: De relatie die de flagships binnen NanoNed hebben met de verschillende applicatiegebieden (sleutelgebieden). Hetzelfde is gedaan voor een aantal grote Nederlands bedrijven. (bron: LUX Research Inc. "Identifying NL Economy Accelerators in Emerging Nanomaterials Technologies" (2008))

1.5 De noodzaak om snel tot actie over te gaan

Nanotechnologie wordt beschouwd als de belangrijkste technologie voor de 21ste eeuw. Dit inzicht is gebaseerd op de ongekende mogelijkheden die nanotechnologie heeft, maar vooral ook op de verwachting dat nanotechnologie een grote bijdrage kan leveren aan verschillende problemen op wereldschaal. Denk hierbij aan het energievraagstuk en de wereldgezondheid.

Materialen die gemodificeerd zijn met behulp van nanotechnologie maken zonnecellen, brandstofcellen en batterijen efficiënter. Het gebruik van energiezuinige materialen, ook bij de productie van materialen, zal mede een van de grootste wereldproblemen, het energieverbruik, helpen oplossen. Denk hierbij ook aan energiezuinige informatieverwerking (computers, mobiele telefoons, internet). Op dit gebied heeft Nederland een internationale reputatie en veel Nederlandse bedrijven (multinationals, MKB) richten zich op deze nieuwe materialen. Ook internationaal, o.a. binnen de Amerikaanse Materials Research Society, wordt extra aandacht gevraagd om te komen tot betere materialen voor onze energiehuishouding. Daarnaast zal de nano-elektronica, zoals gedefinieerd binnen het thema 'beyond Moore', veel efficiënter met energie omgaan door het toepassen van licht als informatiedrager of door het gebruik van plastic elektronica. Beide ontwikkelingen zullen elkaar versterken.



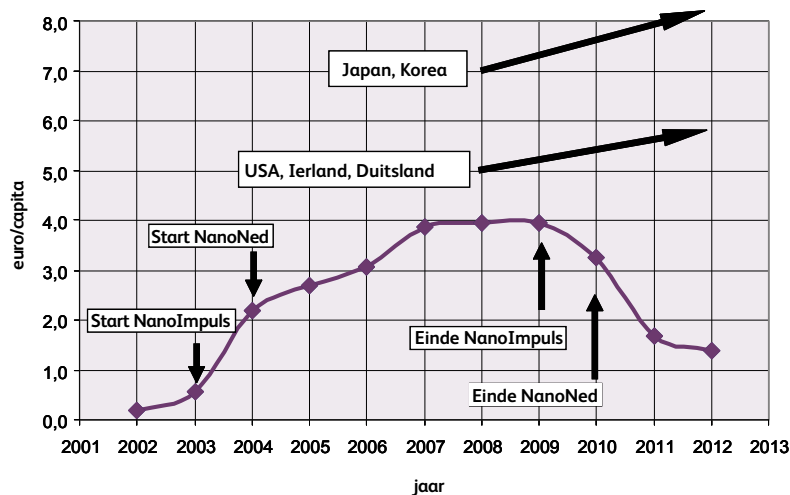
Detectie van virussen d.m.v. functionele oppervlaktes van cantilevers, Seyet, LLC

De wereldgezondheid zal zeker baat hebben bij de verdere ontwikkeling van nanotechnologie. Nanotechnologie zal nieuwe medische toepassingen bewerkstelligen op het gebied van diagnose, medicijntoelevering, afbeeldingstechnieken en nieuwe medicijnen. Vooral de zeer snelle diagnostiek, voor bijvoorbeeld het detecteren van het HIV- of SARS-virus, is een belangrijk onderzoeksgebied waarop Nederlandse wetenschappers en het bedrijfsleven een vooruitstrevende rol spelen. Veel wordt verwacht van het veel sneller (en goedkoper) ontwikkelen van nieuwe en veilige medicijnen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van laboratoria op een chip, waarbij slechts minuscule hoeveelheden nodig zijn, terwijl honderden experimenten tegelijkertijd kunnen worden uitgevoerd. Daarnaast is medicijnafgifte gebaseerd op nanotechnologie veel effectiever en efficiënter. In beide toepassingsgebieden heeft Nederland internationaal een toppositie die gehandhaafd dient te worden.

Bij het bestuderen van de impact die nanotechnologie op onze maatschappij heeft en zal hebben, speelt Nederland een leidende rol. Dit geldt voor onderwerpen die variëren van toxiciteit tot de omgang met persoonlijke gegevens, zoals DNA-herkenning. Juist het excellente onderzoek naar de uitdagingen en toepassingen van nanotechnologie *in combinatie* met het onderzoek naar de gevolgen in de meest brede zin, is uniek in Nederland en kan garant staan voor een leidende positie, zeker in Europees perspectief.

Nederland neemt in het gebied van nanowetenschappen en nanotechnologie een internationale toppositie in, mede door grootschalige initiatieven, zoals NanoNed. Hierdoor zijn de eerste stappen gezet om nanotechnologie in te bedden in het onderwijs, onderzoek en bedrijfsleven. Daarnaast zijn, door gefocust investeren in Nanolab NL, keuzes gemaakt in de Nederlandse infrastructuur. De organisatiestructuur van NanoNed heeft garant gestaan voor een platte organisatie, met onderzoek ondergebracht in Flagships (vlaggenschepen), geleid door een “captain” met wetenschappelijke topexpertise op het betreffende gebied.

NanoNed loopt door tot 2010. Zoals getoond in figuur 4 neemt bij ongewijzigd beleid de overheidssteun voor onderzoek op het gebied van nanotechnologie in Nederland snel af. In de figuur is ook rekening gehouden met andere investeringen van de overheid op het gebied van nanotechnologie (zie hoofdstuk 2.3 *Bestaande Initiatieven*).



Figuur 4: Overheidssteun op het gebied van nanotechnologie in Nederland (euro/capita). Ter vergelijking: USA (5), Japan (7), Korea (7), Duitsland (5), Singapore (20), Finland (10), Zwitserland (3), Ierland (5) Euro/capita (bron: Technology Transfer 2007).

De in de voorgaande paragrafen geschetste groei van het werkkerrein en van de veranderingen binnen nanotechnologie, bijvoorbeeld door uitbreiding richting bio-nano (nanomedicine) en nieuwe materialen voor o.a. energieopwekking en -opslag, vraagt om nieuwe investeringen. Daarnaast moeten we de investeringen in infrastructuur op het gebied van nanotechnologie in Nederland op peil houden. Uit figuur 4 volgt dat het noodzakelijk is snel te handelen. Evaluatie van NanoNed geeft aan dat de doelstellingen (het realiseren van een sterke positie en infrastructuur voor Nederland, het aantrekken van onderzoekers en het zorgen voor een uitstroom van goed getrainde academici) haalbaar zijn. NanoNed weet veel onderzoekers uit het buitenland aan te trekken, waarvan een deel vervolgens ook in Nederland werkzaam blijft. De evaluatiecommissie noemt NanoLab NL een essentieel onderdeel van NanoNed en wijst op het belang van behoud hiervan na afloop van de Bsik-financiering. Ook voor enkele kleine bedrijven zijn deze faciliteiten essentieel. Hierbij de aantekening dat de toegankelijkheid en zichtbaarheid van de faciliteiten voor potentiële gebruikers nog verder kan worden verbeterd.

1.6 De benodigde investeringen

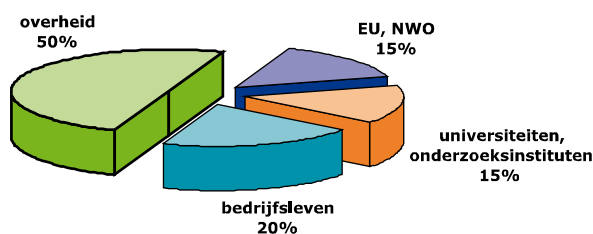
Structurele financiering is nodig om de positie van Nederland te handhaven, en uit te breiden naar toepassingsgebieden waarin zich het komende decennium belangrijke nieuwe kansen voordoen. De financiering zal besteed moeten worden aan onderzoek, infrastructuur, open innovatie (ten behoeve van het MKB) en analyse van de impact van de nanotechnologie op onze maatschappij (veiligheid, risico's, privacy, voorlichting, inbedding in onderwijs). Gedacht moet worden aan een investering in nanotechnologie binnen Nederland van 100 miljoen Euro per jaar. Deze impuls voor de nanotechnologie is exclusief de investeringen die bedrijven plegen in hun strategisch onderzoeksprogramma's, die vooral bij onze multinationals, ook internationaal gericht zijn.

In figuur 5 wordt aangegeven hoe de financiering van dit onderzoek is verdeeld en hoe de besteding van de onderzoeksgelden verdeeld moet worden. Deze financiering zal deels afkomstig zijn vanuit het bedrijfsleven en de kennisinstellingen zelf, maar het is van belang dat juist nieuwe ontwikkelingen en gezichtspunten steun krijgen

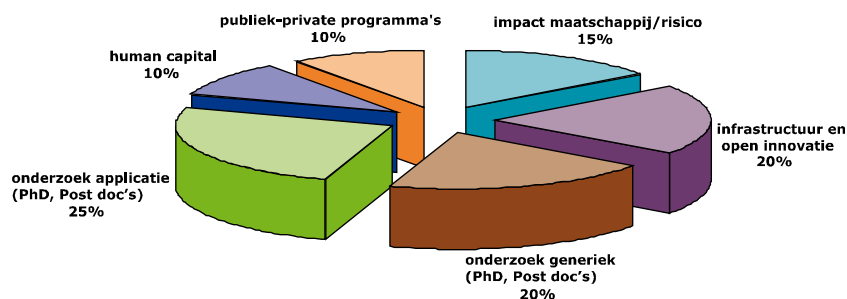
vanuit de overheid. Denk hierbij aan de studies naar risicoanalyse, impact op onze samenleving en fundamentele studies naar nieuwe eigenschappen die zich openbaren juist vanwege de nanometerafmetingen. In hoofdstuk 3 wordt verder ingegaan op deze nieuwe ontwikkelingen.

Met de voorgestelde publieke investeringen zal de neerwaartse trend in Nederland ombuigen tot een niveau dat iets hoger ligt dan het niveau in 2008. Hierbij is rekening gehouden met andere investeringen van de overheid op het gebied van nanotechnologie (zie hoofdstuk 2.3 *Bestaande Initiatieven*).

Om de doelstellingen van deze NNI strategische researchagenda te realiseren vragen wij de betrokken partijen, overheid, kennisinstellingen, betrokken industrie en maatschappelijke instantie, een gezamenlijke inspanning, die moet leiden tot een structurele investering van 100 miljoen Euro per jaar tot 2020 (zie figuur 5a). Voorgesteld wordt de volgende verdeling: overheid 50 %, bedrijfsleven 20 %, kennisinstellingen 15 % en nano-initiatieven NWO & EU 15 %, te distribueren over risico & impact 15 %, infrastructuur & open innovatie 20 %, generiek onderzoek 20 %, applicatiegericht onderzoek 25 %, publiekprivate programma's 10 % en human capital 10 % (zie figuur 5b). In hoofdstuk 4 wordt hier verder op ingegaan.



Figuur 5a: financiering verdeeld over overheid, matching door onderzoeksinstellingen, bedrijfsleven en EU en extra NWO-initiatieven.



Figuur 5b: Verdeling van de middelen voor nanotechnologie voor de komende jaren (2010-2020) in onderzoek (PhD, Post doc) op generieke en applicatiethema's, infrastructuur en open innovatieprojecten, analyse risico en impact op maatschappij, publieke-private programma's en human capital.

DEEL 2

DE BASIS: HET NATIONALE SPEELVELD

“Het maatschappelijk
debat over kansen
en risico's van
nanotechnologie
is belangrijk”

De basis: het nationale speelveld

2.1. Industrieel landschap

In dit hoofdstuk wordt de situatie van nanotechnologie binnen Nederland besproken. Naast het industrieel- en onderzoekslandschap worden de verschillende bestaande initiatieven op gebied van nanotechnologie besproken. Vervolgens wordt de relatie tot microtechnologie genoemd. Ten slotte is er aandacht voor de invloeden op de maatschappij, de mogelijkheden op gebied van opleidingen en de bestaande infrastructuur op het gebied van nanotechnologie.

Nanotechnologie is voor de Nederlandse industrie belangrijk. Tenminste 13 bedrijven uit de top 20 van het R&D-intensieve bedrijfsleven verricht onderzoek op het terrein van nanotechnologie. Ook het aantal bedrijven dat actief is op nanotechnologisch gebied groeit. Volgens de SenterNovem rapportage¹² 'Zicht op nanotechnologie in Nederland' bedroeg in de periode 2005-2006 het aantal bedrijven dat opereert op het gebied van de nanotechnologie meer dan 270. In de periode 2002-2004 bedroeg het aantal bedrijven met nanoprojecten nog 200, in 2002 waren slechts 80 bedrijven actief betrokken bij nanoprojecten. In tabel 1 zijn deze voor de periode 2005-2006 ingedeeld in grootteklassen.

R&D-loonkosten	aantal bedrijven
> 10 mln.	1
5-10 mln.	1
2-5 mln.	2
1-2 mln.	6
500.000-1 mln.	13
200.000-500.000	26
100.000-200.000	24
50.000-100.000	27
0-50.000	173
Totaal	273

Tabel 1: aantal bedrijven betrokken bij nanoprojecten in periode 2005-2006 ingedeeld in grootteklasse ¹²

Volgens het rapport zijn Philips, NXP, ASML en FEI (High Tech Systems sector) de grootste industriële spelers. Deze vier bedrijven worden ook in het NWO-strategiedocument als belangrijkste industriële gebruikers van nanotechnologie genoemd. Toepassingsgebieden voor Philips en NXP zijn nano-elektronica, gezondheidszorg, welzijn, medische technologie, beeldschermen en lichtsystemen. ASML produceert lithografiesystemen en ontwikkelt nieuwe technologieën om steeds kleinere structuren te kunnen maken ('Extreme Ultraviolet', 'Liquid Immersion' en 'Nano-Imprint Lithography'). FEI is een van de belangrijkste producenten van imaging systems. Daarnaast acteren DSM en Akzo Nobel op de markt van nanomaterialen en coatings. Naast deze bedrijven moet ook de rol van Holst Centre genoemd worden.

¹² nanotechnologierapport 2005 plus aanvulling 2006, SenterNovem

.....

Het aantal nanostarters groeit snel, ongeveer 11 per jaar¹². Alleen al MESA+ (Twente) kent sinds 1998 meer dan 40 spin-offs op het gebied van nanotechnologie. Voorbeelden van starters (waaronder spin-offs van kennisinstellingen) zijn: Mapper Lithografie (halfgeleider apparatuur), Micronit Microfluidics ('lab-on-a-chip devices') en Aquamarijn en Fluxxion (nanozeven voor voedselprocessing), Medimate (lithiumdetectie in bloed), LioniX (op MEMs gebaseerde devices).

In het SenterNovem rapport worden de volgende 5 sterktes onderscheiden die de economische concurrentiekracht van Nederland kunnen versterken: precisiefabricage; instrumentatie; nanomaterialen; 'devices & system integration' en bio-nanotechnologie. Bijlage B geeft een korte karakteristiek van deze sectoren en enkele betrokken bedrijven.

De belangrijke toepassingsgebieden die in de SenterNovem studies worden genoemd zijn: life sciences/medische sector; elektronische apparatuur; assemblage; transport & lucht- en ruimtevaart; energie; scheidingstechnologie (waaronder katalyse en nanofiltratie); oppervlaktebehandeling & coatings; milieu & veiligheid.

Ook de voedselsector heeft interesse in nanotechnologie. In de Roadmap 'Microsystem- & Nanotechnology in Food & Nutrition' (Prisma & Partners, MinacNed, juli 2006) is in kaart gebracht welke onderzoeksvragen er bij de Nederlandse voedingsmiddelensector leven en wat het aanbod aan potentieel inzetbare micro(systeem)technologie en nanotechnologie is. In het rapport worden vier kansrijke thema's aangegeven: filteren & fractioneren; sensor/detectiesystemen & processing; emulsies, textuur & delivery systemen; en verpakking & logistiek.

Tenslotte, de algemene interesse van de industrie in nanotechnologie kan ook worden afgeleid uit de industriële betrokkenheid bij NanoNed (zie ook hoofdstuk 3). Bedrijven als Philips, ASML, FEI, DSM, Akzo Nobel en Unilever zijn actief in de zogenaamde 'gebruikerscommissies' (Philips is tevens consortiumpartner). Ongeveer de helft van de circa 30 Nederlandse industriële gebruikers zijn start-ups en MKB (waaronder LioniX, Pepscan, C2V en Micronit MicroFluidics).

Binnen Nederland bestaan verschillende initiatieven om de participatie van het MKB te vergroten en het starten van spin-offs te stimuleren. Voorbeelden zijn: High Tech Campus Eindhoven (Holst Centre, MiPlaza en Life Sciences Facilities), High Tech Facilities Twente, Bio Science Park Leiden, Kennisexploitatie Radboud Nijmegen en Wageningen Business Generator.

2.2 Onderzoekslandschap

Deze paragraaf bevat een kort overzicht van de inhoudelijke zwaartepunten per universiteit, instituut en industrie. Hoewel in het algemeen gesteld kan worden dat vrijwel alle universiteiten breed basisonderzoek verrichten, zijn er toch keuzes te onderscheiden die gemaakt zijn en accenten die gelegd zijn om de sterktes in een bepaalde richting maximaal te benutten. In het kort komt dit neer op de volgende aandachtsgebieden per universiteit/instituut.

Technische universiteiten

Twente (MESA+) - Instituut voor nanotechnologie met focus op bio-nanotechnologie, nanofluidics, nano-elektronica, nano-fabricage en materialen, en moleculaire fotonics. Daarnaast is er een focus op micro-systeemtechnologie. Gezien de grote rol van nanofabricage zijn er grote infrastructurele faciliteiten voor prototyping en kleinschalige productie. Er is één centraal onderzoekslab, waarin zich de cleanroom bevindt inclusief labs voor materialenanalyse en chemische karakterisatie.

Delft (Kavli) - Fundamenteel onderzoek op het gebied van de nano-elektronica. Specifieke onderwerpen zijn quantum computation en quantum informatica, moleculaire elektronica en toepassingen, moleculaire biofysica, nanoelectronics for space research, fotonica en fotondetectie en hoge-resolutie elektronen-microscopie. Er zijn unieke faciliteiten om nanostructuren te maken en te karakteriseren d.m.v. verschillende technieken en probes. Er is een verbreding van quantum modelsystemen en 'traditionele' Si-technologie naar biologische materialen en fotonische bouwstenen.

Eindhoven (center of Nano Materials, COBRA) - Sterke nadruk op het ontwerpen en maken van functionele materialen en devices met bijzondere expertise op het gebied van moleculaire/polymere-, III-V halfgeleider- en magnetische/spintronische nanosystemen, katalyse, bio-nanotechnologie en medische toepassingen.

3TU.Federatie - Binnen de '3TU.Federatie' concentreren de technische universiteiten zich op toepassingen van (bio-)nanotechnologie. Hoofdrichtingen daarin zijn nano-elektronica, fotonica, spintronica, en onderzoek aan de fundamentele processen in enkele moleculen en cellen en biomedische toepassing daarvan.

Algemene universiteiten

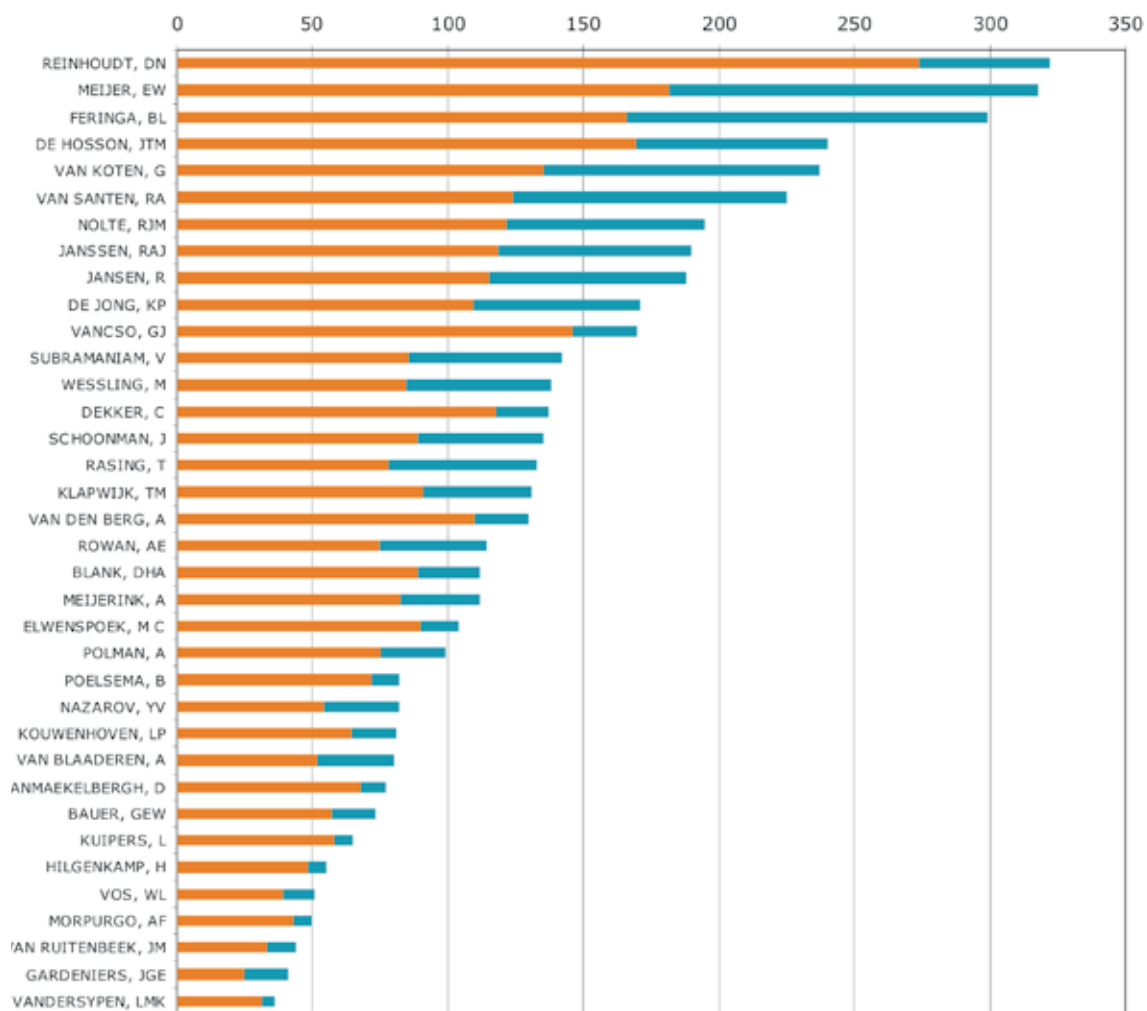
Utrecht (Debye Instituut, UIPS-instituut) - Katalyse (ook toepassingen en materialen voor duurzame energieopslag), colloïden (inclusief ontwikkeling spectroscopie), nanofotonica (ook zonnecellen), nanomaterialen, biofysica (o.a. medicijn toediening), biomaterialen en nanomedicine (Meditrans initiatief Utrecht Institute for Pharmaceutical Sciences (UIPS)).

Nijmegen (instituut voor Moleculen en Materialen) - Gespecialiseerd in de 'bottom-up' benadering van nanotechnologie: moleculaire assemblage, materialenonderzoek, karakterisatie, nanoprobng. Beschikt over het Nijmegen Centre for Advanced Spectroscopy (NCAS), bevattend een Laser Laboratorium, een Centrum voor Nuclear Magnetic Resonance, een hoge magnetenveld faciliteit, een trillingsarm nanolab en binnenkort een THz vrije elektron laser.

Groningen (Zernike Instituut, Biomade) - Binnen het Zernike Instituut wordt intensief samengewerkt binnen de gehele kennisketen van synthese, analyse, fabricage en theoretische begripsvorming van nanomaterialen tot systemen. Gespecialiseerd in het werken met zachte (bio)materialen op harde oppervlakken. Bijvoorbeeld: ontwerp en fabricage van moleculaire (bio)organische materialen en devices, functionele quantum-geordende materialen, fotonica. Er zijn faciliteiten aanwezig voor de fabricage van nano-elektronica en om biologische/organische analyses uit te voeren.

Leiden - Sterkte op het gebied van de theorie van nanotransport, nanofotonica, quantum-informatie, en materialen voor waterstofopslag, in nauwe interactie met experimentele groepen op het gebied van atomaire en moleculaire nanofysica, quantumoptica, en onderzoek van wrijving, katalyse, elektrochemie en dunne-film depositie op atomaire schaal.

Aantal publicaties 2000-2007



Aantal publicaties (2000-2007) van Nederlandse topgroepen op het gebied van de nanotechnologie. Blauwe balk is het aantal publicaties gerelateerd aan nano. Per groep is slechts de groepsleider opgenomen in deze lijst. Bron Web of Science.

.....

Vrije Universiteit - Biofysica, laser centrum, materialen voor waterstof opslag.

Universiteit van Amsterdam (van 't Hoff Research Institute) - supramoleculaire (complexe) katalyse en bio-katalyse, nanofotonica (applicaties in de medische sector en in duurzaamheid), nanofluidics.

Wageningen - Sterkte op het gebied van materialen, zelf-assemblage, oppervlakken en het functioneren van bio(macro)moleculen. Deze expertise is sterk gericht op de ontwikkeling van technologieën en producten op gebied van voedsel en gezondheid.

HBO-instellingen

Ook bij verschillende HBO instellingen vindt onderzoek en onderwijs plaats, met name Hogeschool Zuyd (in samenwerking met DSM en de RWTH-Aachen) en Fontys (Centrum voor Polymeren).

Instituten en industrie

FOM-instituut AMOLF - Sterke expertise op het gebied van fotonische nanomaterialen in het Center for Nanofotonics en op het gebied van de biofysica. AMOLF runt het nanoCenter, een cleanroom faciliteit voor nanofabricage en karakterisatie. Er is een nauw samenwerkingsverband met Philips via de AMOLF-groep 'Nanophotonic light sources' die op de Philips-campus in Eindhoven is gevestigd en met MESA+.

TNO Kwaliteit van Leven - Gespecialiseerd op het gebied van blootstellingonderzoek bij de mens, vooral op de werkplek. Dit onderzoek vindt veelal plaats binnen internationale netwerken. Daarnaast is TNO actief op het gebied van inhalatoir toxiciteitonderzoek.

Philips Research en Holst Centre (inclusief MiPlaza / Life Sciences Facilities) - Onderzoek op een breed scala van nanotechnologische onderwerpen, gericht op toepassingen in de gezondheidszorg, met name nano-medicine, in verlichting en in life style, en met aandacht voor Energievoorziening en Waterzuivering. Activiteiten op de onderwerpen 'beyond Moore', nanoelektronica, bio-nanotechnologie en nanodeeltjes. In het huidige NanoNed-programma is Philips Research een belangrijke uitvoerende partij. Centrale faciliteiten zijn aanwezig voor de vervaardiging en karakterisering van nanostructuren, specifieke infrastructuur voor toepassingen in de life sciences.

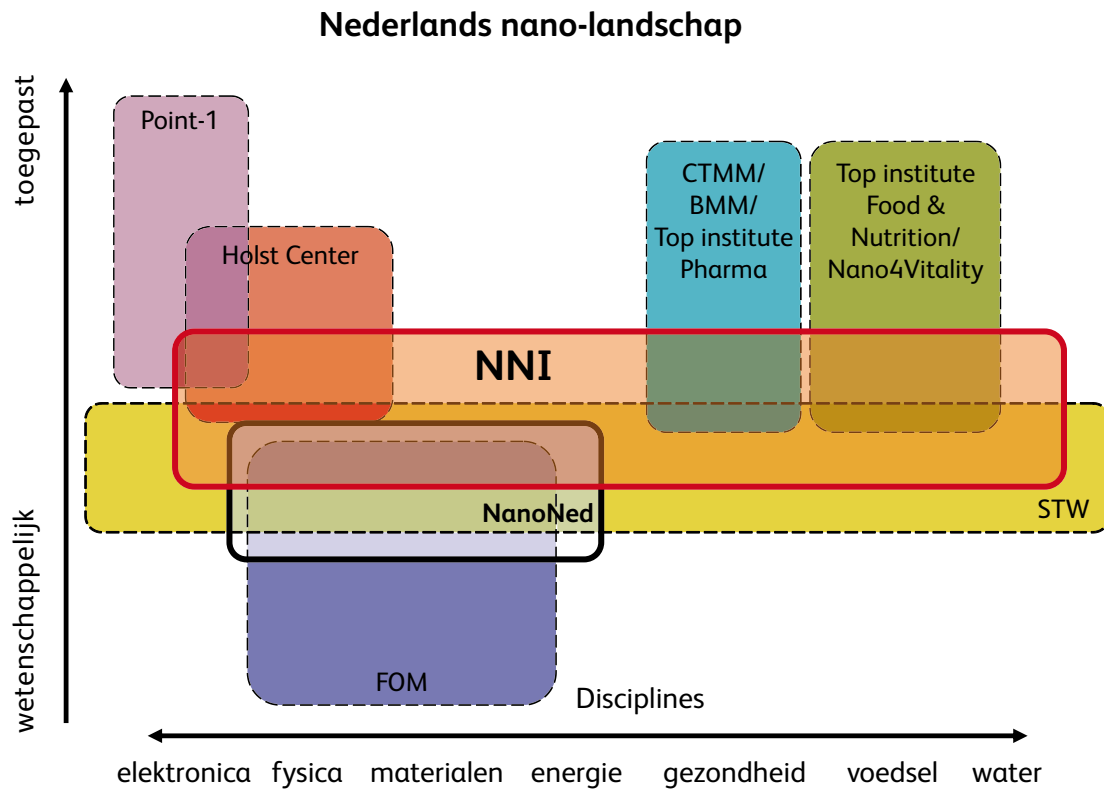
Shell Research Rijswijk (exploratie en productie) - Laboratorium gespecialiseerd in nano-sensoren voor olie-winning.

ASML - Nieuwe lithografische technieken.

FEI - Ontwikkelingslaboratoria instrumentatie.

TNO Delft - Ontwikkelen van apparatuur voor nanotechnologie. Centrale faciliteiten aanwezig.

TNO Eindhoven/Zeist - Sterk gefocust op de ontwikkeling van nanogestructureerde materialen voor de functionalisatie van oppervlakken en composietmaterialen voor sensor en afgifte systemen in biomedische toepassingen.



Nederlands nano-landschap met hierin de grootste initiatieven binnen Nederland op het gebied van nanotechnologie. De stippellijnen geven programma's weer waar nano een onderdeel van uitmaakt, de getrokken lijnen zijn programma's die in z'n geheel op nanotechnologie betrekking hebben.

Langs de verticale as de richting van het onderzoek: wetenschappelijk tot toegepast. Langs de horizontale as de verschillende disciplines binnen nanotechnologie.

2.3 Bestaande initiatieven

De belangrijkste nationale initiatieven worden hierbij genoemd. Al deze activiteiten en initiatieven zijn qua breedte in thematiek (basisontwikkeling of toepassingsgericht) en omvang verschillend. Ook is het nano-compartiment per initiatief verschillend. Het NNI beoogt aan te sluiten bij de bestaande initiatieven zonder hierbij redundant te zijn. Daarna is een overzicht van het internationale landschap weergegeven.

Nationale initiatieven

Initiatieven binnen NWO - NWO en haar verschillende monodisciplinaire gebieden onderstrepen het belang van nanotechnologie. In de NWO Strategienota 2007-2010 staan nanowetenschap en nanotechnologie genoemd als een van de speerpunten voor het Nederlands wetenschappelijk onderzoek. De stichting FOM besteedde in 2005, door middel van 20% van de programma's en 40% van de projecten in de open competitie ('Projectruimte'), 10 á 11 M€ aan nano-onderzoek. Dit is een verdubbeling ten opzichte van 2002. De technologiestichting STW besteedt ruim 10% van zijn reguliere Open Technologie Programma aan nanotechnologie. Daarnaast is STW bezig een nanotechnologieprogramma op te zetten. Ook ALW, ZonMW en CW financieren nanotechnologisch onderzoek.

In grote lijnen is het zo dat FOM/STW-onderzoek vooral fundamenteel basisonderzoek en technologieontwikkeling betreft, en dat de andere NWO-gebieden zich meer richten op onderzoek dat gebruik maakt van deze ontwikkelde kennis en technologie. Nederlandse wetenschappers participeren verder in EU-programma's die NWO meefinanciert, bijvoorbeeld 'Frontiers', ERA-NET Nanoscience, EUROCORES en 'BIOMACH'.

NanoNed - Door de bundeling van de sterktes op het gebied van nanotechnologie in het NanoNed-consortium is een sterke basis gelegd voor het nanotechnologie onderzoek in Nederland, met oog voor de toepassing. NanoNed is in 2002 tot stand gekomen op initiatief van MESA+ (Twente), het 'Kavli Institute of Nanoscience' (Delft) en BioMaDe (Groningen) en bestaat uit een consortium van zeven universiteiten, TNO en Philips. Het programma omvat investeringen in experimentele faciliteiten, wetenschappelijk onderzoek en kennisdisseminatie. Het totale budget van NanoNed, te besteden tot eind 2010, bedraagt ruim M€ 235 (hierbij is inbegrepen de financiering van het Ministerie van Economische Zaken voor het programma NanoImpuls, de voorloper van NanoNed). NanoNed is georganiseerd in elf flagship programma's. Elk programma, waarin meerdere partners samenwerken, wordt door een onafhankelijke wetenschapper geleid. Daarnaast is er een 'Technology Assessment' programma en wordt een hoogwaardige nanotechnologie infrastructuur opgebouwd, NanoLab NL. Dit virtuele nanolaboratorium heeft een budget van ruim M€ 80. In totaal zijn in NanoNed ongeveer 200 onderzoeksprojecten gehonoreerd voor gezamenlijk meer dan 1200 mensjaar onderzoek.

Publiek-private initiatieven

Naast bovenstaande 'onderzoek-geïnspireerde' initiatieven initieert de overheid in samenwerking met de private sector ook projecten die een nano-compartiment hebben. In onderstaande lijst worden de initiatieven genoemd, de overheidsbijdrage en het (geschatte) nano-compartiment in procenten. Naast de genoemde initiatieven moeten ook de materiaalgeoriënteerde programma's M2i en DPI niet onvermeld blijven.

Holst Centre	M€ 112	15%
De onderzoeksgebieden waar het Holst Centre, een samenwerking van TNO en het Belgische IMEC, zich op richt zijn 'Wireless Autonomous Transducer Systems' en 'Systemen-op-Folie'. De missie van het Holst Centre is het creëren van een onderzoeksinstituut naar het open innovatiemodel, gericht op generieke technologieën voor de bovengenoemde onderzoeksgebieden. Daarbij speelt een snelle time-to-market van technieken en producten. Twee jaar na de operationele start zijn een 150 FTE's betrokken bij de programma's. Men streeft naar een instituut met kritische massa van 225 onderzoekers tegen 2010.		
Point-One	M€ 343	25%
Point-One is een nationaal strategisch innovatieprogramma op het gebied van nano-elektronica en 'Embedded Systems'. De ambitie van Point-One, een consortium waar o.a. Philips, NXP Semiconductors, ASML en vele MKB bedrijven evenals kennisinstellingen in deelnemen, is het opbouwen van de belangrijkste internationale 'hotspot' voor nano-elektronica en embedded systems.		
Center Translational Molecular Medicine	M€ 150-200	10%
Het CTMM, met o.a. Philips, Schering-Plough, DSM, Numico, FEI, TNO, tientallen SME's, alle Universitaire Medische Centra, vele (technische) universiteiten en een aantal collectebusfondsen als deelnemers, is een publiek-private samenwerking die door de bundeling van krachten en expertises in staat is om innovatief en baanbrekend onderzoek te verrichten op het gebied van de moleculaire geneeskunde ('Molecular Medicine'). Focus is op oncologische, cardio-vasculaire en neurodegeneratieve aandoeningen, en infectieziekten.		
BioMedical Materials Program	M€ 45	15%
Een consortium van Nederlandse bedrijven, kennisinstellingen en maatschappelijke organisaties (DSM, Philips, Schering-Plough, TNO, en verschillende universiteiten). BMM heeft als missie om Nederland een internationale toppositie te bezorgen op het gebied van biomedische materialen door middel van succesvolle medische applicaties, intellectuele eigendomsrechten en academische publicaties.		
Topinstituut Pharma	M€ 130	10%
TI Pharma is een samenwerkingsverband van twaalf academische instellingen en 22 (bio)farmaceutische bedrijven. TI Pharma richt zich op vijf ziektegebieden: hart- en vaatziekten, auto-immuunziekten, oncologie, infectieziekten en aandoeningen aan het zenuwstelsel. Onderzoek naar verschillende aspecten van het ontwerp en de ontwikkeling van geneesmiddelen voor deze ziektegebieden.		
Topinstituut Food & Nutrition	63,5 M€	15%
TI Food & Nutrition is een instituut dat een groot programma heeft (Nutrigenomics) dat tot doel heeft vroege verklimmers van voedingsgerelateerde stoornissen te definiëren en toe te passen bij het ontwikkelen van gezond voedsel. Daarnaast is TI Food & Nutrition betrokken bij de ontwikkeling van high-throughput micro-detectie systemen en het ontwikkelen van nieuwe generaties voedselstructuren.		
Nano4Vitality	11 M€	100%
Nano4Vitality is een onderzoeksprogramma dat tot doel heeft om resultaten van nanotechnologie-onderzoek beter door te laten stromen naar toepassingen in voeding en gezondheid. De doelstelling is om projecten te starten die binnen drie jaar leiden tot concrete producten die in de markt kunnen worden gezet. Er zijn vier thema's: sensoren en analyse-systemen, actieve verpakkingen, procestechnologie, encapsulatie en aflevering. De universiteiten van Twente, Nijmegen en Wageningen zijn belangrijke kennisleveranciers.		

Internationale initiatieven

Internationaal legt men de nadruk op het verwerven van kennis, als motor van de economie van de 21ste eeuw. Hierdoor neemt het belang van wetenschappelijke en technologische activiteiten toe. Wetenschap en techniek wordt een politiek aandachtspunt omdat beleidsmakers ervan doordrongen raken dat kennis, en daarmee het fundamentele onderzoek dat de kennis produceert, de motor van welvaart (economische groei) en (sociaal) welzijn is. Daarom voeren de Europese Unie, Duitsland, Frankrijk, Verenigde Staten, Canada, Japan en China ieder voor zich een gecoördineerd nanotechnologiebeleid met breed opgezette programma's. Wat opvalt is dat er vier belangrijke keuzes worden gemaakt: (1) de programma's zijn gericht op de lange termijn (meer dan vijf jaar); (2) de nadruk ligt op verbetering en versterking van de kenniswaardeketen; (3) men kiest voor een eigen thematische inkleuring gebaseerd op de nationale sterktes; en (4) er wordt ook onderzoek gedaan naar de (beheersing van) mogelijke risico's en de maatschappelijke impact van nanotechnologie.

Nanotechnologie staat nog teveel in de kinderschoenen om een te definitieve specifieke keuze te maken over de mogelijke succesvolle onderwerpen. Er wordt dan ook stevig ingezet op breed basisonderzoek, wat een globale differentiatie in programmakeuzes lastig maakt. Wel is er een duidelijk verschil in de balans - uitgaande van de genoemde 'nationale sterktes' - tussen materialenonderzoek (Azië) en high-tech onderzoek (Verenigde Staten, Europa). Naast breed basisonderzoek is het belang van verantwoord nanotechnologie onderzoek een gemeenschappelijke deler. Net zoals met iedere nieuwe technologie is het zaak om rekening te houden met de mogelijke risico's die nanotechnologie mee zich mee zou kunnen brengen. Alleen dan kan gezorgd worden voor een veilige ontwikkeling, productie en toepassing van de producten.

In bijlage 4 staan de initiatieven vermeld, zoals die thans in verschillende Europese landen, de USA, Canada, Japan en China worden gerealiseerd.

2.4 Link naar microtechnologie

Bij de verdere ontwikkeling van de nanotechnologie is de microtechnologie onontbeerlijk. In veel gevallen slaat de microtechnologie de brug tussen nanotechnologie en de buitenwereld. Binnen een concept van een nieuw meetinstrument bijvoorbeeld, is de nanotechnologie, hoewel noodzakelijk, vaak een klein onderdeel van het geheel. Het is van belang dat de ontwikkelingen binnen de microtechnologie en embedded systemen gelijke trend houden met die van de nanotechnologie. Aangezien Nederland ook op het gebied van de microtechnologie en embedded systemen een internationale toppositie inneemt, zal een verdere samenwerking tussen de onderzoeksgroepen, instituten en bedrijven de totale innovatiekracht alleen maar versterken. Initiatieven, zoals Point-One, MicroNed, zijn van groot belang voor een goede integratie van de (wetenschappelijke) kennis op het gebied van de nanotechnologie in nieuwe (of bestaande) producten. Vooral Spin-off's maken gebruik van beide technologieën. De toepassing van nanotechnologie maakt vaak het verschil ten opzichte van bestaande producten, maar is ook vaak slechts een onderdeel van een totaal concept. Veel toepassingen zullen gebruik maken van beide werelden en binnen het NNI zullen hiervoor ook middelen vrijgemaakt moeten worden.



Magnetische biosensor, Philips

2.5 Maatschappij en Samenleving

Het maatschappelijk debat over de kansen en risico's van de nanotechnologie is een belangrijk onderwerp binnen het NNI. Naast onderzoek naar toxiciteit, milieueffecten of invloed op het dagelijks leven, is het van belang dat de samenleving een evenwichtig oordeel heeft over de nanotechnologie. Bij het publieke debat moeten zo veel mogelijk maatschappelijke organisaties betrokken worden. Juist een open dialoog tussen maatschappelijke organisaties, overheid, academici en bedrijfsleven moet garant staan voor een veilige toepassing van nanotechnologie. Helaas wordt op dit moment tussen nanotechnologie en kleine deeltjes nog te weinig onderscheid gemaakt. Kleine deeltjes vormen een gering onderdeel van de nanotechnologie, maar ze bepalen wel de maatschappelijke nanotechnologie-agenda. Zonder iets af te doen aan de noodzaak om richtlijnen vast te leggen voor de omgang met kleine deeltjes, zullen we ook moeten werken aan een acceptatie van nanotechnologie. Het benadrukken van de kansen en oplossingen voor grote maatschappelijke problemen zal een belangrijk thema zijn binnen NNI.

2.6 Opleidingen/'Human Capital'

Het nationaal initiatief NanoNed leidt 300 PhD's op en trekt daarbij veel buitenlandse onderzoekers aan (promovendi, Post Doc's, wetenschappelijke medewerkers) die hun verblijf in Nederland een vervolg geven. Er is in Nederland een aantal masteropleidingen gestart: nanotechnologie aan de Universiteit Twente en nanoscience aan de TU Delft in samenwerking met RU Leiden en RU Groningen. Deze masteropleidingen zien hun studentaantallen duidelijk stijgen. Verschillende hogescholen integreren nanotechnologie in hun onderwijsprogramma's (Fontys, Saxion, Zuyd).

Het aantal nieuwe hoogleraren op het gebied van nanotechnologie stijgt eveneens. Dit komt door verschillende initiatieven zoals de 3TU-Federatie, waarbinnen 4 posities op het gebied van bio-nano beschikbaar kwamen. Daarnaast heeft binnen de verschillende universiteiten een verschuiving plaatsgevonden richting nano-onderzoek, met naar schatting 20 benoemingen op nano-gerelateerde gebieden (tenure tracks en hoogleraren) in de afgelopen 5 jaren.

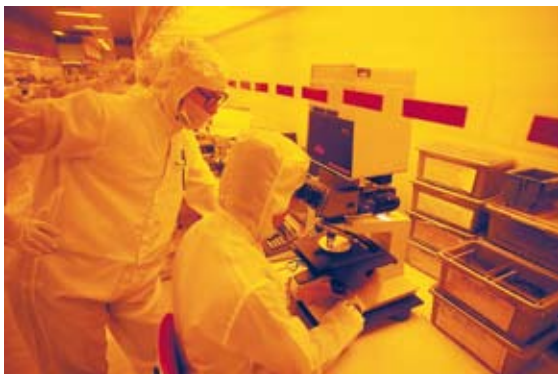
2.7 Infrastructuur en open innovatie

Door de bundeling van de sterktes op het gebied van nanotechnologie in het NanoNed- consortium is een sterke basis gelegd voor het nanotechnologie onderzoek in Nederland, met oog voor de toepassing. Het programma omvat investeringen in experimentele faciliteiten, wetenschappelijk onderzoek en kennisdisseminatie. NanoLab NL, onderdeel van NanoNed, is een hoogwaardige nanotechnologie infrastructuur gebundeld in drie centra: Kavli Institute of Nanoscience en TNO Science & Industry, beide in Delft, MESA+ Institute for Nanotechnology in Twente en Zernike Institute for Advanced Materials in Groningen. Daarnaast zijn onderzoeksfaciliteiten aanwezig in de WENA groep: Wageningen Universiteit, Technische Universiteit Eindhoven, Radboud Universiteit Nijmegen en de Universiteit van Amsterdam. Alle faciliteiten binnen NanoNed zijn toegankelijk voor alle NanoNed partners. Philips Research is geassocieerd partner.

De partners in Nanolab NL hebben een goed uitgeruste cleanroom met daaromheen uitstekende faciliteiten aan specialistische meetapparatuur en fabricagetechnieken. Dankzij NanoNed (inclusief NanoImpuls) is het mogelijk gemaakt om in de periode 2003 -2009 voor ongeveer 40 M€ te investeren in nieuwe expertise, infrastructuur en ondersteuning. De keuze om slechts een beperkt aantal gespecialiseerde onderzoekslaboratoria in te richten en deze open te stellen voor alle onderzoekers en bedrijven in Nederland is zeer effectief gebleken. In combinatie met de verschillende open innovatie initiatieven beschikt Nederland over een unieke infrastructuur die wel up-to-date dient te blijven. De Nanolab NL-faciliteiten zijn ook open toegankelijk voor anderen dan de in NanoNed participerende partijen.

Continuering en versterking van het Nanolab NL-initiatief is essentieel om de leidende positie te handhaven; hiervoor zal de komende jaren geïnvesteerd moeten worden in de bestaande en te verwachten nieuwe expertises. Op dit moment loopt de aanvraag van Nanolab NL in het kader van 'Roadmap Large Scale Research Facilities' van de commissie Van Velzen.

Nanotechnologie blijkt door de vaak grote investeringen die door bedrijven gedaan moeten worden uitermate geschikt voor open innovatie initiatieven. Voorbeelden zijn MiPlaza in Eindhoven, High Tech Factory en Kennis-park in Twente, BioScience Park Leiden.



Cleanroom

DEEL 3

HET PLAN: HET SCHEPPEN VAN MEERWAARDE

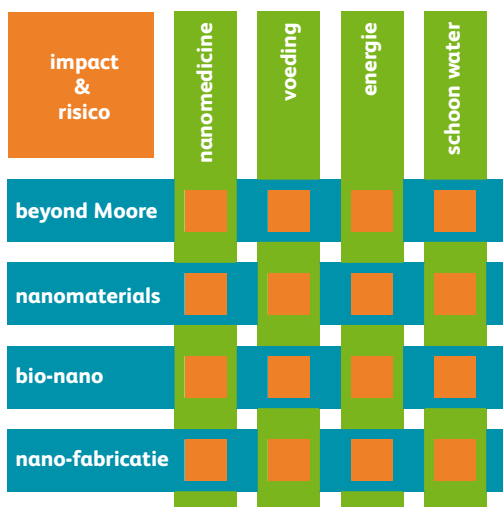
“Voor Nederland
is het belangrijk
keuzes te maken”

Het plan: het scheppen van meerwaarde

Het onderzoeksveld van de nanotechnologie is veelomvattend en breidt zich steeds verder uit. Voor Nederland is het belangrijk hierin keuzes te maken. Keuzes, gebaseerd op de bestaande sterktes en de kansen die daaruit voortvloeien. Generieke thema's waarin Nederland excelleert zijn o.a. vastgesteld in de strategienota NWO: Towards a multidisciplinary national nanoscience programme¹³. Daarnaast zijn applicatiegebieden ingebracht in de kabinetsvisie Nanotechnologieën: Van klein naar groots¹⁴. In dit hoofdstuk worden deze generieke thema's en applicatiegebieden verder uitgewerkt.

Vanuit het veld zijn vier generieke thema's: bio-nanotechnologie, beyond Moore, nanomaterialen, en nanofabricage (inclusief instrumentatie en karakterisatie) en vier applicatiegebieden gedefinieerd: schoon water, energie, voeding en 'nanomedicine' (de toepassing van nanotechnologie in de geneeskunde). Op elk van de kruispunten van deze thema's neemt de impact op samenleving en risicoanalyse een belangrijke positie in. In figuur 6 is deze verwevenheid gevisualiseerd. In de opbouw van het hoofdstuk worden eerst de generieke thema's en daarna de applicatiegebieden behandeld. Vervolgens wordt aandacht besteed aan de consequenties die hieruit voortvloeien in relatie tot risico's en de impact op onze maatschappij.

Van elk van de thema's worden voorbeelden genoemd, die laten zien waarom nanotechnologie een belangrijke inbreng heeft in de toekomstige ontwikkeling van het betreffende thema. Daarnaast worden de belangrijkste Nederlandse onderzoeksgroepen en industrieën genoemd die in het betreffende onderzoeksveld toonaangevend zijn. Vervolgens worden de uitdagingen vermeld met de route naar succes.



Figuur 6: Schematische voorstelling generieke thema's en applicatiegebieden met op de kruispunten het thema 'impact op samenleving en risicoanalyse'.

¹³ NWO strategienota : Towards a multidisciplinary national nanoscience programme, 2006

¹⁴ "Van klein naar groots", Kabinetsvisie Nanotechnologieën Tweede Kamer, vergaderjaar 2006-2007, 29338 nr. 54

Deze uitdagingen zijn tot stand gekomen met de hulp van wetenschappers en mensen uit het bedrijfsleven. Voor de belangrijkste thema's zijn workshops georganiseerd, ieder geleid door iemand vanuit het bedrijfsleven en uit de academische wereld. De resultaten van deze workshops, met 20 tot 35 deelnemers, vormden de basis voor het invullen van de onderzoeksgebieden. De uitkomsten zijn vervolgens getoetst met verschillende andere experts in het veld. Een uitgebreide omschrijving van de workshops en de deelnemerslijst zijn te vinden in bijlage 5.

De generieke thema's en applicatiegebieden staan niet op zichzelf maar hebben veelal onderlinge samenhang. Zo heeft het onderzoek aan nanodeeltjes een sterke samenhang met het onderzoek naar een applicatie op het gebied van gezondheid, energie, waterzuivering, etc.. Waar aanwezig zal op naar deze onderlinge verwantschap worden gewezen.



3.1 Generieke Thema's

In deze paragraaf worden de vier generieke thema's besproken. Zij vormen de basis van het wetenschappelijk onderzoek op het gebied van Nanotechnologie in Nederland. Daarnaast wordt aangegeven waar kansen liggen voor Nederland op het gebied van wetenschap en valorisatie.

3.1.1 Beyond Moore

Inleiding op het thema

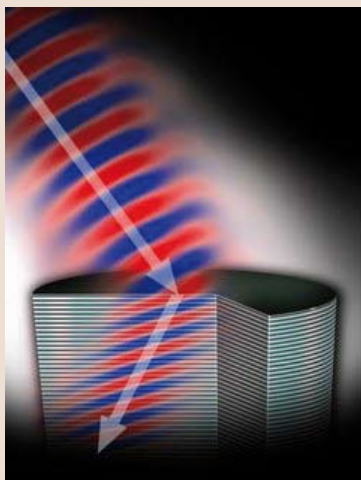
De Wet van Moore heeft decennia lang de ontwikkeling binnen de informatie- en communicatietechnologie (ICT) gedomineerd. Technologische roadmaps gaan uit van een verdubbeling van het aantal transistoren op een silicium-chippoppervlak per twee jaar. Deze vooruitgang heeft onze maatschappij op ongekende wijze veranderd. Mobiele communicatie, intelligente consumentenelektronica en het internet zijn uit ons dagelijkse leven niet meer weg te denken. De vooruitzichten zijn echter dat de exponentiële groei van de halfgeleidertechnologie binnen een decennium tot stilstand zal komen. Dit komt doordat de productietechnologieën worden geconfronteerd met fundamentele grenzen terwijl de schakelingen binnen afzienbare tijd dusdanig atomair klein zijn dat huidige principes niet langer werkzaam zijn.

Complementair aan de voortschrijdende miniaturisatie in de ICT-industrie worden zowel nieuwe functionaliteiten als integratie van verschillende functionaliteiten op een enkel chippoppervlak verlangd. Nieuwe concepten binnen de nanotechnologie zijn bij uitstek geschikt aan deze toekomstige ontwikkeling bij te dragen. Door het implementeren van nieuwe optische-, elektrische- en magnetische verschijnselen op nanometerschaal, en de engineering van structuren op atomaire en moleculaire schaal, zullen nieuwe toepassingen met een grote maatschappelijke en economische reikwijdte beschikbaar komen. Deze revolutionaire ontwikkeling wordt aangeduid met de term 'beyond Moore'. Daarbinnen zullen niet alleen de mogelijkheden van de hardware zelf, maar ook de interactie tussen mens en technologie, almede maatschappelijke relevantie, geheel nieuw gedefinieerd worden. Voor het realiseren van toekomstige doorbraken is het essentieel om op evenwichtige wijze zowel grensverleggend wetenschappelijke onderzoek, als meer toepassingsgedreven activiteiten te ondersteunen; in een hecht samenwerkingsverband en met oog voor de maatschappelijke en economische context. Een grote uitdaging binnen 'beyond Moore' is het vervaardigen van nieuwe complexe structuren op een goedkope wijze, zoals het repliceren via stempeltechnieken, gebruikmakend van zelf-assemblerende moleculen.

De grensverleggende nanotechnologie uit 'beyond Moore' zal in de toekomst breed binnen onze samenleving toepassingen vinden. Optische en magnetische principes gebaseerd op nanodraden en colloïdale nanodeeltjes zullen bijdragen aan moleculaire sensoren met een ongeken- de gevoeligheid en specificiteit, zoals van belang voor compacte en betrouwbare sensoren voor medische diagnostiek, oliewinning en waterzuivering. Plastic elektronica, zonnecellen en lichtemitterende devices openen door hun efficiënte productiewijze geheel nieuwe toepassing domeinen; in de ultieme vorm van dergelijke 'organische elektronica' vertolkt een enkel molecuul de rol van een elementaire schakeling. Quantum-mechanische principes zouden in de toekomst gebruikt kunnen worden voor een geheel nieuwe wijze van dataverwerking ('quantum computing') en datatransport, met een revolutionaire impact op het gebied van veiligheid.



Plastic elektronica, Holst Centre



Licht manipulatie in nanostructuur, Princeton

Onderzoeksomgeving

Vele Nederlandse onderzoeksinstituten hebben expertise opgebouwd op dit thema:

Onderzoeksinstituten	expertise
MESA+ Institute for nanotechnology (UT)	fotonica, spintronica, plastic elektronica, supergeleiding, theorie, supra-moleculaire chemie
Kavli Institute for Nanoscience & DelftChemTech (TUDelft)	Quantum computing, Supergeleiding, graphine
Centre for Nanomaterials & COBRA (TU/e)	Spintronics, supra-moleculaire chemie, theorie
Debye Instituut (Utrecht)	Quantum dot's
Institute for Molecules and Materials (RUN)	Spintronics, graphine, quantum-effecten
Zernike Instituut en Biomade (RuG)	Organische materialen, supra-moleculaire chemie
Van der Waals en Van 't Hoff Institute for Molecular Sciences (UvA)	Theorie, berekeningen, quantumverschijnselen
Universiteit Leiden	Supergeleiding, spintronics, nanostructures, quantum effects, graphine
FOM-instituut AMOLF	Nano-fotonica
Philips Research	Nano-fotonische materialen en devices, system-in-Package, sensoren en sensorsystemen
Holst center	Plastic elektronica, sensors en actuatoren
NXP	Solid State Lightning, automotive, smart cards

Ieder consortium heeft voor dit onderzoek fabricagefaciliteiten nodig die soms grootschalig aanwezig zijn (MESA+ in Twente, DIMES en Kavli in Delft en Philips MiPlaza in Eindhoven) en soms kleinschalig en meer gespecialiseerd.

Nederlandse industrieën die betrokken zijn bij “beyond Moore”-ontwikkelingen zijn: Philips research, NXP, Holst Centre, HP, ASML, FEI, en MKB bedrijven waaronder vele spin-off's.

De 'beyond Moore' strategisch researchagenda sluit aan bij de onderzoeksagenda's van lopende Nederlandse en Europese initiatieven. Bij het Europese Technologieplatform ENIAC¹⁵ staat CMOS-schaling centraal, maar gaat toenemende aandacht uit naar ontwikkelingen die voortbouwen op, en verder gaan dan CMOS, zoals 'More than Moore'¹⁶ en 'Beyond CMOS'. Deze activiteiten zijn gericht op de ontwikkeling van nano-devices en componenten die ontstaan uit de convergentie van verschillende disciplines, e.g. nano-bio. De 'More than Moore' activiteiten krijgen ook een centrale plaats in het Point-One research agenda¹⁷. Het Europees platform op 'Smart Systems' (EPoSS)¹⁸ richt zich op 'More than Moore' met name op de integratie van verschillende complementaire technologieën voor de realisatie van 'Systems in Package'. De 'beyond Moore' onderzoekslijn binnen NNI levert fundamentele bouwblokken voor bovennoemde agenda's. Dit verzekert aansluiting bij industriële initiatieven in de regio en project-opportunities op Europees niveau.

Wat willen we bereiken en waarom?

Nederland staat bekend om de grote expertise op het gebied van fundamenteel en strategisch technologisch relevant onderzoek aan device-gerichte verschijnselen op nanometerschaal. Vooraanstaande academische centra op dat gebied participeren binnen NanoNed. Anderzijds kent Nederland een historie van grensverleggend high-tech onderzoek en industriële activiteiten (bijv. Philips, NXP, ASML), momenteel mede geïmplementeerd in innovatieprogramma's zoals Point-One. Het NNI-programma 'beyond Moore' gaat de uitdaging aan te komen tot middellange- en langetermijninnovatie binnen de nano-elektronica. Hierbij worden de volgende richtlijnen gehanteerd:

Grensverleggend onderzoek naar specifiek gekozen *enabling technologies* zal zorg dragen voor generieke kennis, en garandeert een continue stroom aan ideeën voor het realiseren van innovatieve applicaties.

Programmalijnen die hun oorsprong vinden in specifieke *toepassingsgebieden* dragen zorg voor de ontwikkeling van nieuwe toepassingen, gemotiveerd door maatschappelijke en economische randcondities. Bovendien voorzien deze programmalijnen de fundamentele onderzoeksactiviteiten van nieuwe langetermijn uitdagingen.

15 ENIAC SRA: <http://www.eniac.eu/web/downloads/SRA2007.pdf>

16 More than Moore: nieuwe functionaliteiten gebaseerd of afgeleid van Si-technologie.

'Beyond CMOS': disruptieve technologie die Si aanvullen of zelf vervangen, met veel aandacht van de nanoschaal.

17 EPoSS: http://www.smart-systems-integration.org/public/documents/070306_EPoSS_SRA_v1.02.pdf/view

18 Point-One: http://www.point-one.nl/Press_news/Archive/First_version_SRA_document

Het thema 'beyond Moore' zal leiden tot een continu grensverleggende nanotechnologie binnen de thema's "NanoMedicine", "Energie", "Voeding" en "Schoon Water" binnen het NNI. Meer specifiek worden een viertal applicatiegeoriënteerde onderzoekslijnen voorgesteld:

NanoSensoren – Het meten van omgevingscondities op nanoschaal zal essentieel zijn voor een veelvoud aan revolutionaire technologieën, variërend van healthcaretoepassingen tot nieuwe lithografische principes, en van energiebesparing tot toepassingen binnen het domein van mobiliteit en veiligheid. Toepassingen worden door het Nederlandse bedrijfsleven (zowel multinationals als MKB) gezien als buitengewoon relevant voor de toekomst. "Smart sensors", sensoren met extreem hoge gevoeligheid en specificiteit, de combinatie van optische, elektrische en magnetische principes en biocompatibiliteit zijn daarbinnen belangrijke issues.

Informatietransport, -verwerking en -opslag – Dit thema heeft de technologische basis geschapen voor onze hedendaagse informatiemaatschappij. Unieke concepten uit de nanotechnologie zullen de scope aan mogelijkheden in de komende decennia nogmaals verveelvoudigen. Nieuwe dragers van informatie (elektronica gebaseerd op de "spin" van elektronen of fotonische schakelingen of enkel-moleculaire bouwstenen) zouden kunnen leiden tot compactere schakelingen, een grotere bandbreedte, een lager energiegebruik en mogelijk goedkopere elektronische componenten. Nieuwe strategieën, gebruikmakend van kwantum-informatie, zouden kunnen bijdragen aan het efficiënt oplossen van complexe vraagstukken en veilige data-encryptie. Binnen de Nederlandse context zal i.h.b. de toepassing binnen embedded systemen van industrieel belang zijn.

NanoPower, Lighting & Actuatoren – Voor veel mobiele en biomedische toepassingen van nanotechnologie speelt een efficiënte energievoorziening een cruciale rol. Zo is bijvoorbeeld de visie van *ambient intelligence* volledig afhankelijk van de beschikbaarheid van mobiele power sources. Evenzeer is een groot aantal grensverleggende toepassingen binnen dit domein afhankelijk van nanogedimensioneerde lichtbronnen en actuatie op nanometerschaal. Een ander ambitieus doel is het verder vergroten van de efficiëntie van LEDs en vastestof lasers. Onderzoek is momenteel i.h.b. geconcentreerd binnen industriële en semi-industriële onderzoekscentra maar zal binnen het programma worden voorzien van een (academische) langetermijn component.

BioInterfacing – Misschien wel de meest uitdagende toepassing van nano-elektronica en fotonica is de communicatie met biologische systemen. Droomscenario's binnen biomedische toepassingen zullen echter afhankelijk zijn van doorbraken op het gebied van de hardware, met name het controleren en manipuleren van processen op de grens tussen de elektronische schakeling en biomoleculen. Stimulering van dit gebied is essentieel als Nederland een vooraanstaande rol op het gebied van "molecular medicine" wil blijven spelen. Een gecoördineerde actie met het thema "NanoMedicine" ligt daarom voor de hand.

3.1.2. Nanomaterialen

Inleiding op het thema

De recente ontwikkelingen op het gebied van het vervaardigen en karakteriseren van nanoschaal-objecten maken het mogelijk allerlei nieuwe materialen met speciale functionele eigenschappen te ontwerpen en te realiseren. Te denken valt aan sterkere of juist soepelere materialen, of materialen met een hoge elektrische weerstand en lagere thermische weerstand. De mogelijkheden zijn vrijwel onbeperkt, vooral bij de koppeling tussen levende cellen met specifieke functionele nanodeeltjes, nano-oppervlakken of nanostructuren. Kunstmatig ingebrachte (an)organische deeltjes of oppervlakken kunnen de diverse onderdelen van een cel zodanig beïnvloeden dat er een geheel nieuwe functionaliteit ontstaat, zoals fluorescentie, magnetisme of zelfs de productie van nieuwe biomaterialen. Andersom kunnen eiwitten, virussen of cellen in nanosystemen verwerkt worden. Deze koppelingen bieden veel wetenschappelijke en commerciële aanknopingspunten.

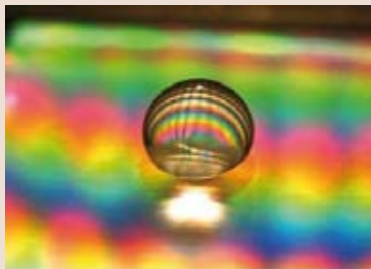
Uit het bovenstaande blijkt wel dat ‘nanomaterialen’ een zeer breed terrein is en eigenlijk in alle andere thema’s terugkomt, met name als onderdeel van geïntegreerde activiteiten die gericht zijn op de realisatie van bepaalde toepassingen, bijv. in devices. Toch is het belangrijk dit als een apart thema te benoemen. Juist de concentratie van materiaalkundig onderzoek aan de ene kant en de multidisciplinaire aanpak anderzijds, heeft geleid tot nieuwe toepassingen waarbij deze nanomaterialen essentieel zijn. Het op atomaire schaal bouwen van nieuwe materialen en het op nanoschaal structureren/combineren van bestaande materialen (metamaterials), leidend tot compleet nieuwe eigenschappen, maakt het toepassingsgebied bijna eindeloos. De wetenschappelijk/technologische uitdaging die voortvloeit uit het veelal grote aantal eisen waaraan in devices tegelijkertijd voldaan moet worden, geeft aan dat dit type materiaalonderzoek een belangrijke positie heeft binnen NNI.

Naast de nanodeeltjes spelen ook de nanogestructureerde oppervlaktes een steeds grotere rol in de nanotechnologie. Bewerkte oppervlaktes kunnen verschillende eigenschappen krijgen, zoals hydrofiel of juist hydrofoob. Ook de interactie met (levende) cellen en virussen heeft zijn toepassing in o.a. lab-on-a-chip.

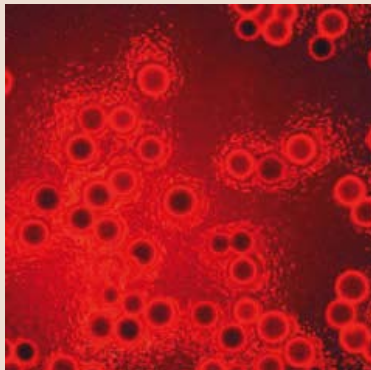
Naast DNA, op zich een macromolecuul, vindt er steeds meer onderzoek plaats naar op peptide en proteïne gebaseerde nanomaterialen. Proteïnen zijn natuurlijke moleculen die unieke functionaliteit en potentiële toepassingen op zowel biologische als materiële gebieden hebben. Nanomaterialen die uit proteïnen worden afgeleid, vaak eiwit-nanodeeltjes, zijn biologisch afbreekbaar, metabolisch en kunnen ook voor oppervlaktemodificering en covalent hechten van drugs of liganders gebruikt worden.

Enkele voorbeelden van 'nanomaterialen' zijn magnetische deeltjes voor biosensoren en imaging, nieuwe katalysatoren, zonnecellen of energieopslag, geordende nanodeeltjes voor optisch transport of data-opslag, quantum dot's als puntlichtbronnen, poreuze nanodeeltjes voor medicijnafgifte, capsules voor diverse toepassingen, zoals medicijnen, vitaminen etc.

Nanogestructureerd glas kan waterafstotend gemaakt worden, terwijl bewerkte oppervlaktes bacteriën kunnen afstoten of virussen en cellen langs een gepaalde patroon laten lopen. Dit laatste zal vooral worden toegepast in laboratoria op micro-schaal.



Lotus effect door oppervlakte behandeling, UTwente



Nanocontainer voor medicijnlevering, UTwente

Onderzoeksomgeving

In Nederland bestaat een zeer stevige onderzoeksbasis op het gebied van nanodeeltjes en toepassingen daarvan, vooral op het gebied van colloïden en supramoleculaire chemie. Op dit thema - en de daarbij behorende deelonderwerpen - vindt onderzoek aan vrijwel alle universiteiten plaats. Toch zijn er verschillende accenten te onderscheiden. Bijvoorbeeld:

Onderzoeksinstituten	expertise
Utrecht	Colloïden, supramoleculaire chemie, fotonische kristallen, katalyse, energieopslag, quantum effecten
Wageningen	colloïden en supramoleculaire chemie
FOM-instituut AMOLF	fotonische kristallen, katalyse, energieopslag, nanofotonica, mechanica van biologische nanodeeltjes, interactie levende cel
MESA+ (UT)	katalyse, energieopslag, nanofotonica, quantum effecten, nanodeeltjes voor waterstof opslag, brandstofcellen en zonnecellen, advanced nanoprobing, functionele zelforganisatie op nanoschaal, artificiële materialen, soft lithografie en imprint lithografie
TU/Eindhoven	katalyse, energieopslag, nanofotonica, functionele zelforganisatie op nanoschaal, magnetische nanodeeltjes voor biosensing
Kavli, Dimes, DelftChemTech (TUDelft)	quantum effecten, nanodeeltjes voor waterstof opslag, brandstofcellen, medicijn toediening, diagnostiek, fotonische kristallen, advanced nanoprobing.
Groningen (Zernike Instituut)	supramoleculaire chemie, organische chemie, spectroscopie van nanodeeltjes, zonnecellen
Nijmegen	magnetische dataopslag, biomedische toepassingen, advanced nanoprobing, functionele zelforganisatie op nanoschaal, bio geïnspireerde materialen (B-sheets en virus capsiden)
UvA (van 't Hoff)	Katalyse nano-objecten, mechanica van biologische nanodeeltjes, interacties levende cel,
VU	nanogestructureerde materialen voor waterstof opslag.
Leiden	advanced nanoprobing, quantum effecten, (bio-)molecuul-metaal koppeling
Philips	nanogestructureerde materialen voor imaging en diagnostiek, en voor sensoren
TNO	functionalisatie voor delivery en sensor systemen, nanogestructureerde oppervlakken

Nederlandse bedrijven die actief zijn binnen dit thema zijn: Philips, Shell, BASF, DOW chemicals, Akzo Nobel, Océ-Techologies, Unilever, DSM en een veelvoud aan MKB's zoals LioniX, E-ink, Drost coatings, Sigma, Stahl, Neoresins.

Wat willen we bereiken en waarom?

De toepassingsgebieden van dit thema binnen Nederland liggen binnen 'gezondheid', 'high tech', 'milieu', 'energie', 'voedsel', 'mobiliteit', 'cosmetische industrie', en 'beyond Moore'. Het is te verwachten dat nanomaterialen bij alle aspecten van het leven een rol zullen spelen. Hiervoor moeten verschillende hoofdlijnen worden bestudeerd zoals: hoe deze deeltjes op een gecontroleerde manier worden gepositioneerd en geadresseerd; hoe kunnen de nanodeeltjes en de bijbehorende architectuur ontworpen en geconstrueerd worden, zodat ze de gewenste eigenschappen of functionaliteit krijgen of behouden; ontwikkelen van methodes voor productie op grote schaal; eigenschappen van de individuele deeltjes en de gevolgen zijn voor het milieu; gecontroleerde depositie van coatings en karakterisatie van de eigenschappen; hoe nanostructuren uit moleculen kunnen worden opgebouwd voor de gewenste functionaliteit.

De volgende onderzoekslijnen worden voorgesteld:

Supramoleculaire chemie - Voor een verdere ontwikkeling van dit gebied zullen nieuwe ontwikkelingen in synthese en supramoleculaire chemie nodig zijn: ontwikkeling van nano-assemblages, ontwikkeling van hybride materialen, functionaliseren van nanostructuren, functionele interfacing van nanostructuren met oppervlakken, controle over positie, specificiteit, oriëntatie en functie van nanostructuren op oppervlakken, ontwikkeling van bottom-up oppervlaktefunctionaliseringsmethoden, assemblage van nanostructuren, etc. Daarnaast vragen de nanodeeltjes een belangrijke voorwaartse stap in de ontwikkeling van apparatuur voor het bestuderen van de eigenschappen op nanoschaal (scanning probe, nano-optica, moleculaire MRI) maar ook theoretische kennis zoals quantumchemie en -fysica.

Construeren van nano-architecturen - Ondanks aanzienlijke inspanningen in het verleden zal meer onderzoek verricht moeten worden op het gebied van gecontroleerde groei van deeltjes en/of oppervlakten met de gewenste eigenschappen. Te denken valt aan materialen die biologisch of bio-compatibel zijn zoals proteïnen, DNA/RNA en virus capsules als componenten in nanosystemen en als nanoreactoren, een gebied dat aanzienlijk potentieel heeft en tot op heden onderbelicht. Zelf-geassembleerde en zelf-georganiseerde systemen voor functionele colloïden, materialen en oppervlakten om materialen met een bepaalde moleculaire orde en een hiërarchische zelf-organisatie te maken en uiteindelijk de assemblage.

Onderzoek naar de eigenschappen van nanomaterialen - Grote inspanning wordt verlangd in het bestuderen van de mechanische, elektronische en optische eigenschappen van individuele nanodeeltjes (met inbegrip van molecuulestudies van quantum dots en enzymen). Naast die studie van individuele nanodeeltjes moeten ook de eigenschappen van moleculaire materialen die samengesteld zijn uit nanoparticles worden onderzocht.

Artificiële (an)organische materialen – Nieuwe depositietechnieken maken het mogelijk om nieuwe materialen te ontwerpen en te construeren. Veel van deze nieuwe materialen zullen hun toepassing vinden in 'beyond Moore'.

3.1.3. Bio-nanotechnologie

Het multidisciplinaire karakter van nanotechnologie komt misschien het best naar voren in het gebied bio-nanotechnologie. Binnen dit generieke thema ontmoeten fysici, chemici, biologen en geneeskundigen elkaar. Door het zichtbaar maken van biologische processen op nanoschaal kunnen ziektepatronen, virussen, werking van cellen, etc. veel nauwkeuriger bestudeerd worden.

Inleiding op het thema

Levende cellen zijn te beschouwen als gecompliceerde chemische micro-fabriekjes. Ze zitten vol met ‘machientjes’ met afmetingen van enkele nanometers. Het bekendste voorbeeld is het DNA. Een gestrekt DNA-molecuul heeft een diameter van slechts 2,5 nm. Het fungeert als een belangrijk onderdeel in de aanmaak van alle biologische bouwstenen in de cel. Door verschillende technieken, zoals NMR (nuclear magnetic resonance spectroscopy) en AFM (atomic force microscopy), is het mogelijk geworden om moleculen zichtbaar te maken en kan men het gedrag of afwijkingen bestuderen.

Bij veel biologische processen spelen mechanische verplaatsingen een belangrijke rol, bijvoorbeeld bij celdeling en bij de werking van spieren. In de wanden van cellen en mitochondria zitten grote aantallen speciale eiwit-moleculen die betrokken zijn bij de regulering van transport van atomen en moleculen door de celwand en bij de energiehuishouding van de cel.

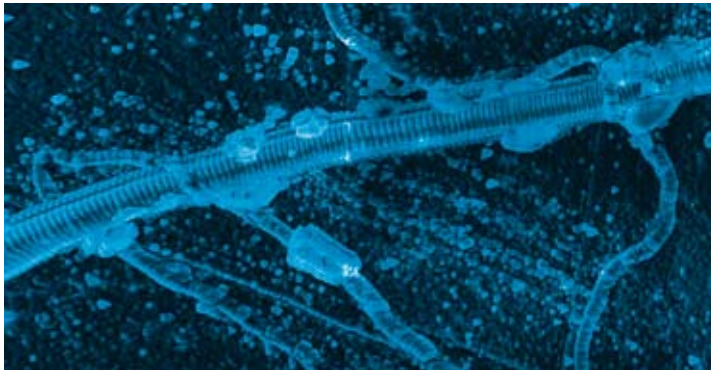
De natuur heeft, gebruikmakend van chemische en fysieke eigenschappen van moleculen zoals proteïnen en lipides, manieren ontwikkeld om nanostructuren te maken. Het nabootsen van de natuur levert nano-machines op, die ingezet kunnen worden voor bijvoorbeeld energieopslag of –overbrenging en het aansturen (transporteren) van DNA- structuren.

Binnen de bio-nanotechnologie valt ook het toepassen van devices, zoals lab-on-a-chip. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om het diagnosticeren van ziektes en afwijkingen in een vroeg stadium.

Bio-nanotechnologie is van groot belang in de voedselindustrie en het milieu. Mogelijkheden worden onderzocht, en gedeeltelijk al toegepast, om voedsel veiliger, gezonder, smaakvoller en goedkoper te maken.

In alle hierboven beschreven toepassingsgebieden speelt veiligheid, perceptie en risico een belangrijke rol. In hoeverre moeten we nanotechnologie gebruiken voor het vroegtijdig opsporen van ziektes of om gezonder voedsel te ontwikkelen? Wat zijn de gevolgen voor ons ecosysteem?

Aangezien bio-nanotechnologie een grote impact heeft op alle applicatiegebieden zullen de onderzoeks-omgeving en onderzoekslijnen bij de betreffende applicatiegebieden worden behandeld.



AFM opname van fibril , UTwente

3.1.4 Nano-fabricatie

Ondanks dat nano-fabricatie (inclusief instrumentatie en karakterisatie) niet apart is vermeld binnen de strategie-nota NWO en de kabinetsnotie, is het thema van eminent belang voor Nederland. Voor de volledigheid mag dit thema niet ontbreken in het scheppen van meerwaarde. In deze paragraaf wordt aandacht besteed aan de uitdagingen die de instrumentatie te wachten staan.

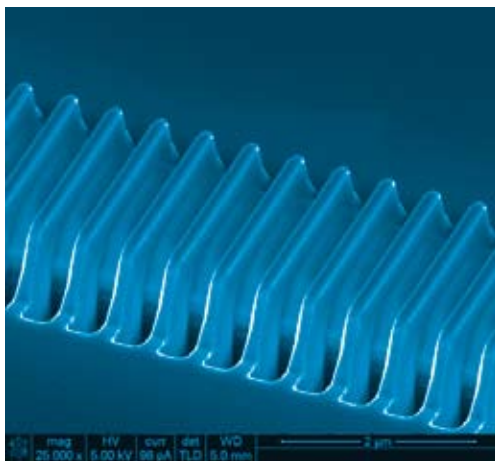
Inleiding op het thema

Instrumentatie is binnen Nederland altijd een belangrijk onderdeel geweest. Juist de vooruitgang die we boeken op het gebied van instrumentatie zorgt ervoor dat we deze technologische vooruitgang kunnen voortzetten. Was de atomic force microscope, ontwikkeld door IBM in de jaren 80, de grote doorbraak om nanostructuren zichtbaar te maken, tegenwoordig kunnen we met apparatuur, zoals transmissie elektronenmicroscop, mede ontwikkeld in Nederland (FEI Company) nanostructuren zichtbaar maken en vervolgens manipuleren. Dat laatste gebeurt in een dual-FIB: een elektronenmicroscop die structuren zichtbaar maakt, gecombineerd met een gefocusseerde ionenbundel die de structuren manipuleert. FEI streeft ernaar om naast de statische ook bewegende beelden zichtbaar te maken om zodoende de veranderingen op nanoschaal te kunnen volgen.

Met behulp van apparatuur van ASML kunnen chips ontwikkeld en gefabriceerd worden met nanometerafmetingen. De grootste opgave voor ASML is om steeds kleinere details aan te kunnen brengen op chips, die een grotere capaciteit en een lager energieverbruik hebben. Tot nog toe volgde het aantal componenten per oppervlakte-eenheid de zogenaamde Wet van Moore. Deze 'wet' laat een verdubbeling zien na vaste tijdsintervallen. Het zijn met name de lithografie systemen die bepalen of de details op een chip kleiner kunnen worden: de afbeeldingen moeten namelijk steeds verder worden verkleind, en dit vereist licht van een steeds kortere golflengte, of gebruikmaking van technieken die licht van een bepaalde golflengte tot het uiterste kunnen benutten. ASML heeft in 2007 een systeem ontwikkeld dat afbeeldingen kan maken op silicium wafers van 37 nm. De techniek die hierbij gebruikt wordt is ontwikkeld bij ASML. Ook nu geldt: kan het kleiner?

Met onze kennis op het gebied van macromoleculen kunnen we stempeltechnieken gebruiken om efficiënt en goedkoop nanostructuren te vervaardigen.

Voor het toepassen van laboratoria op een chip zijn ook instrumenten nodig die werken met òf zeer kleine volumes òf zeer kleine signalen. Men kan stellen dat de instrumentatie de nanotechnologie toepasbaar maakt. De thema's voor de toekomst zijn sterk gekoppeld aan zowel de generieke als de applicatiethema's. De uitdagingen op het gebied van instrumentatie worden ook daar verder uitgewerkt. In paragraaf 4.3 wordt ook ingegaan op de rol die TNO speelt in de open innovatie op het gebied van instrumentatie.



Diffraction grating vervaardigd met Focused Ion Beam, Fei Company

3.2 Applicatiegebieden

In deze paragraaf worden de applicatiegebieden genoemd waar Nanotechnologie een belangrijke rol in speelt en kan gaan spelen. De applicatiegebieden zijn bij uitstek het domein van nieuwe bedrijvigheid, zoals spin-offs, instituten. Ook binnen de applicatiegebieden is een sterke band met onderzoeksgroepen en instituten aanwezig. De verwachting is dat vooral in de applicatiegebieden nieuwe ontwikkelingen in een snel tempo elkaar zullen opvolgen. De applicatiegebieden zijn conjunctuurgevoelig en zullen in de loop van de projectperiode wisselen van importantie of worden uitgebreid naar nieuwe gebieden.

3.2.1 Nanomedicine

Inleiding op het thema

Een ziekte begint op het biomoleculaire en cellulaire niveau, op de lengteschaal van 1-100 nm. Waar het om draait in de geneeskunde, is vroege diagnostiek en op de patiënt toegesneden behandeling. En dat vereist kennis van processen en interventie op die schaal. Met de snelle vooruitgang in moleculaire biologie en geneeskunde, gekoppeld aan de progressie in de experimentele technologie, wordt de moleculaire schaal nu toegankelijk.

Nanomedicine gaat over de toepassing van nanotechnologie in de moleculaire biologie en geneeskunde. De wetenschappelijke en (experimentele) technologische ontwikkelingen zijn zodanig dat de detectie en aanpak van ziektes en erfelijke afwijkingen op celniveau binnen bereik beginnen te komen. Biomoleculaire en (an)organische systemen met nieuwe eigenschappen kunnen bijvoorbeeld gebruikt worden voor afbeelding (imaging) in een cel, of voor het heel specifiek lokaal afleveren van medicijnen. Een stap verder is het inzetten van complexere structuren voor diagnose en behandeling. Met nanodevices kan moleculaire diagnostiek en imaging met therapie gecombineerd worden. Implantaten kunnen passieve en actieve functionele onderdelen krijgen die voor lokale analyse en plaats- en/of tijdsgerichte medicijnafgifte zorgen, of kunnen zorgen voor het draadloos melden van voortgang van of problemen met de behandeling. Biosensoren kunnen door nanotechnologie veel breder worden ingezet, doordat ze gebruiksvriendelijker, goedkoper en sneller kunnen worden dan traditionele apparatuur, en slechts minimale hoeveelheden sample nodig hebben. Diagnostiek daar waar de informatie nodig is in het ziekenhuis, ambulance of huisarts, en zelfs thuisdiagnostiek wordt hierdoor toegankelijk. Biosensoren die zeer kleine veranderingen in de moleculaire samenstelling van bijvoorbeeld bloed kunnen detecteren, zoals verhoogde aanwezigheid van eiwitten of antilichamen, helpen bij het stellen van vroegtijdige diagnoses. Bepaling van nucleïnezuuren in lichaamsmateriaal van patiënten stelt medici in staat op de individuele patiënt toegesneden behandelingen aan te bieden. Op middellange termijn zullen moleculaire machines en slimme op nano gebaseerde geminiaturiseerde hulpmiddelen hun intrede doen binnen het medische arsenaal en artsen potentiële aangrijpingspunten geven om ziektes beter te behandelen en ziektesymptomen beter te bestrijden en (chronische) patiënten een betere kwaliteit van leven te geven.

Enkele voorbeelden van 'nanomedicine' zijn:

Vroegtijdig detecteren van biomarkers die het voorkomen van borstkanker indiceren en op de patiënt toegesneden persoonlijke behandeling mogelijk maken.

Onderzoek naar het voortijdig herkennen van Alzheimer door het bestuderen van eiwitaggregaten en weefsel op atomaire schaal.

Ontwikkelen van functionele radioactieve nanoconstructen voor het niet-invasief zichtbaar maken van ziekteverschijnselen en voor therapieondersteuning met PET imaging.

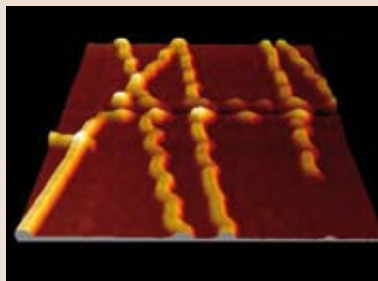
Het continu meten van een biologische activiteit, met daaraan gekoppeld het toedienen van een actieve stof, bijvoorbeeld meting van glucosespiegel met daaraan gekoppeld het actief toedienen van insuline.

Lokaal en tijdsgecontroleerd bestuderen en toedienen van medicijnen, bijvoorbeeld proteïnes en andere biologicals, met behulp van een 'pill-on-a-chip'.

Het maken van kunstweefsel uit stamcellen door de celgroei te stimuleren met behulp van nano-gestructureerde oppervlakken.



Sensor voor meten lithiumgehalte in het bloed, Medimate



AFM opname van fibril van een Parkinsonpatiënt, UTwente

Onderzoeksomgeving

Onderzoeksgroepen die bijdragen aan de ontwikkeling van dit onderzoeksthema houden zich voornamelijk bezig met biologie en biofysica op de moleculaire en cellulaire schaal, nanofluidica, de fysica en (bio)chemie van functionele nanodeeltjes, en farmaceutica en celbiologie. Dit onderzoek vindt aan vrijwel iedere universiteit in Nederland plaats, zowel aan de drie technische universiteiten (Delft, Eindhoven, Twente), als aan de algemene universiteiten (Leiden, de Vrije Universiteit en de Universiteit van Amsterdam, Utrecht, Groningen, Nijmegen, en in mindere mate ook in Rotterdam en Maastricht, en Wageningen). Daarnaast levert ook het FOM-instituut AMOLF een belangrijke bijdrage aan de ontwikkeling van dit onderzoeksgebied.

Voor translatie van dit onderzoek naar toepassingen die klinische betekenis hebben, is participatie van academisch medische onderzoeksgroepen, die ook veel kennis hebben van de oorsprong van ziekteprocessen, van elementair belang. Clinici zullen een belangrijke rol spelen in nanomedicine, zowel bij het vormgeven van belangrijke vraagstellingen voor basisonderzoek, als bij het toetsen van toepassingen in de klinische praktijk. Er bestaat al veel zelforganisatie van het veld, bijvoorbeeld in de CTMM- en BMM-programma's, waarin publieke en private onderzoeksgroepen samenwerken aan innovaties op het gebied nanomedicine, gericht op respectievelijk diagnostiek en devices, of in samenwerkingsverbanden tussen (bio)fysische en medische groepen aan de universiteit en in de academische ziekenhuizen (Amsterdam, Rotterdam, Maastricht, Nijmegen, Groningen en Utrecht). Het NNI zal zich voorla richten op het tussengebied van biologie, medicijnen en chemie, fysica.

Nederland kent veel bedrijven, groot en klein, op het gebied van Nanomedicine. Philips is wereldwijd een belangrijke speler. Daarnaast kent dit gebied veel MKB- en start-up bedrijven. Het is een gebied waar veel kansen liggen en waar deze ook worden opgepikt. Een complete lijst van bedrijven die in Nederland actief zijn op dit terrein past niet in de scope van dit overzicht. Enkele voorbeelden zijn:

Op het gebied van diagnostiek: Philips, Medtronic en veel kleinere bedrijven, zoals Eurodiagnostica, Future Diagnostics, HBT, EVL, Medimate, Pamgene, Checkpoints, BLGG, GroenAgro, RelabDenHahn, Sanguin, Zebra Bioscience, River Diagnostics, BioDetectionSystems, Prionics, CCL, Sillikers, iBIS, Lionix, Nanosens, Ecochem, Skyline Diagnostics, Agendia, FlexGen, Diagnostics, Hycult, Immunicon.

Op het gebied van *moleculaire* imaging: Philips, Mallinckrodt, Cyclotron, met mogelijkheden voor spin-off bij biotech bedrijven als Crucell, Genmab, Schering-Plough, Solvay.

Voor de gerichte en lokale afgifte van medicijnen: Schering-Plough, DSM, Philips, Medtronic, Pharming, Octoplus, en kleinere bedrijven zoals Medspray, Syntarga, to-BBB.

Op het gebied van reconstructive medicine: Medtronic, DSM, Schering-Plough, Philips, en kleinere bedrijven, bijvoorbeeld HepArt, Pharmacell.

Wat willen we bereiken en waarom?

Het succes van dit thema zal in het bijzonder afhangen van drie factoren. Ten eerste: de mate waarin biofysici, biochemici, en biologen erin slagen een fundamenteel begrip te krijgen van het functioneren van een cel en de daarbij horende fundamentele bouwstenen en chemische processen, in relatie tot de rol die cellen spelen in het functioneren van levensprocessen en het ontstaan van ziekte. Ten tweede: hoe succesvol fysici en chemici zijn in het maken van nieuwe nanostructuren met behulp van *top-down* en *bottom-up* methodes, die interacties kunnen aangaan met relevante biologische componenten. De uitdaging hier ligt in de combinatie van obser-

vaties uit de levende natuur, en de vertaling daarvan naar functionele synthetische constructen, nano-elektronische componenten en kunstmatige moleculaire machines. Ten derde: het vertalen van de observaties en nanotechnologische innovaties naar medische toepassingen met een klinische meerwaarde.

Binnen nanomedicine worden de volgende (voor Nederland zeer belangrijke) onderzoekslijnen voorgesteld:

Onttrafelen van de oorzaak en ontwikkeling van ziekte - Het begrijpen van fundamentele processen en oorzaken achter bepaalde ziektes. Onderzoek aan receptoren en aangrijpingspunten voor therapeutica. Het identificeren van moleculen die karakteristiek zijn voor aanleg voor of ontstaan van ziekte, de zogenaamde biomarkers. Het ontwikkelen van nanosensoren voor onderzoek binnenin een cel (ontwikkelen van nano-naalden, fluorescerende probes). Implanteerbare sensoren en regulerende devices.

Nanotechnologie voor diagnostiek - Lab-on-a-chip en andere geminiaturiseerde biosensing systemen die snel en nauwkeurig verschillende (bio)markers kunnen detecteren. Daarnaast het ontwikkelen van nanodeeltjes en biologisch-chemische nanoconstructen die de diagnostiek nog specifiek en nauwkeuriger kunnen maken. Geïntegreerd chemo- en biosensoren voor bepaling van meerdere types analyses.

Moleculaire imaging - Een belangrijk veld waarvoor contrastmiddelen moeten worden ontwikkeld, al dan niet voorzien van medicijnen, die specificiteit en ruimteoplossend vermogen vergroten, en functionele karakterisatie mogelijk maken. Daarnaast moet onderzoek verricht worden naar weefsel-specifieke contrastmiddelen, die het opsporen van bepaalde types weefsels en afwijkingen daarin verbeteren en een beter contrast geven. Hetzelfde geldt voor *agents* die ziektespecifieke informatie kunnen leveren. Veel kan ook verwacht worden van real-time imaging, waarmee bijvoorbeeld pH-verandering, proteïne-interactie, of ionenkanalen in cellen zichtbaar gemaakt kunnen worden en waarmee de effecten van medicijnen op hun omgeving of zelfs op celniveau kunnen worden bestudeerd. Molecular imaging maakt niet-invasieve diagnostiek en bestudering van ziekteprocessen mogelijk, en geeft de mogelijkheid de juiste therapie te selecteren en de uitwerking van therapie vast te stellen.

Nanotechnologie voor gerichte drugafgifte - Het ontwikkelen van materialen en devices die lokaal en gericht de toediening van medicijnen kunnen verzorgen. Injecteerbare toedieningsystemen zoals depots en colloïdale medicijn-dragers, alsmede minimaal invasieve transdermale- en implanteerbare devices. Deze systemen maken plaats- en tijgecontroleerde afgifte van farmaceutica en biotechnologische medicijnen (proteïnen, vaccins, nucleotides) mogelijk. Probes die processen zoals drug release en therapeutische activiteit kunnen monitoren. In de applicatie kan gedacht worden aan de toediening van biotechnologische medicijnen en vaccins met een beperkte stabiliteit en oplosbaarheid, of met significante nevenwerkingen.

Nanotechnologie voor reconstructive medicine - Het gebied waar intelligente biomaterialen voor *in-vitro* en *in-vivo* controle van het herstelproces gebruikt kunnen worden. Intelligente implantaten kunnen worden uitgerust met nano-elektronica voor draadloze communicatie. Toepassing van biomaterialen voor herstel en reparatie van defecte lichaamsfuncties, bijvoorbeeld door het aanpassen van functies van cellen, spieren, door het maken van structuren voor filtratie van lichaamsvloeistoffen of voor de productie van hormonen.

3.2.2 Voeding

Inleiding op het thema

Goede voeding en gezondheid gaan vaak samen. De steeds ouder wordende bevolking, gezondheid, kosten van gezondheidszorg etc., vragen om innovaties die voorkomen dat gezondheidsproblemen optreden (preventieve gezondheidszorg) en bijdragen aan de kwaliteit van leven.

Vergrijzing en de problemen die gerelateerd zijn aan overgewicht zullen de komende jaren een enorme impact hebben op de maatschappij (kosten van de gezondheidszorg, arbeidsproductiviteit). De voedingsmiddelen-industrie voelt zich hierdoor uitgedaagd om met producten te komen die voldoen aan de laatste inzichten op het gebied van gezonde voeding, maar wel verkocht worden. Dat betekent dat dergelijke voedingsmiddelen tegelijkertijd moeten voldoen aan de strenge eisen die de consument stelt op het gebied van smaak, gemak en voedselveiligheid. Samen vormt dit een enorme technologische uitdaging. Nanotechnologie kan op een aantal terreinen helpen deze uitdaging aan te gaan.

Inkapseling van nutriënten is een toepassing waarbij nanotechnologie wordt gebruikt om een wand van een capsule te maken die nieuwe mogelijkheden biedt om de inhoud vrij te laten komen. Men is dan in staat bepaalde ingrediënten in te kapselen in micro- of nanocapsules. Deze capsules zorgen ervoor dat een reactie met de omgeving of andere stoffen in het product uitblijft, dat een eventuele onplezierige smaak wordt vermeden, dat de stoffen daar vrijkomen waar ze het meeste effect hebben, en dat ze beter door het maag-darmkanaal kunnen worden opgenomen. Een duidelijke link ligt hier naar nanomedicine, waar het toedienen van medicijnen veel nauwkeuriger en sneller kan worden toegepast, bijvoorbeeld niet via de spijsvertering of injecteren, maar via de longen of de huid. Bij nieuwe textieltoepassingen wordt dit laatste al toegepast.

De kwaliteit en veiligheid van voedsel is nog nooit zo goed geweest in geïndustrialiseerde landen als nu. Toch is er nog altijd ruimte voor verbetering, blijkt uit gegevens over doktersbezoek en ziekenhuisopname ten gevolge van het eten van verkeerd of bedorven voedsel. Nanotechnologie stelt ons in staat om sneller, gevoeliger en specifiek te meten en te bepalen of er een kwaliteitsprobleem is met bepaalde voedselproducten. In de gezondheidszorg ligt het belang van nano-biochips hoofdzakelijk in een vroege diagnose en behandeling van ziektes, imaging technieken, materialen voor bot en weefselvervanging, medicijntoediening op maat, zelfherstellende materialen, zelfdiagnostiek voor thuisgebruik. Deze onderwerpen worden nader geadresseerd bij nanomedicine.

Nanotechnologie zal zeker een rol spelen bij de verpakkingsindustrie. Langer bewaartijden van voedselproducten en meer informatie over de kwaliteit van het verpakte product zijn daarbij de doelen. Het toepassen van RFID-tags (Radio Frequency IDentification labels) zal uitgebreid worden met directe informatie over het product of het volgtraject van productie naar consument. Nano-gestructureerde membranen worden o.a. gebruikt voor het gedoseerd toedienen van vloeistoffen, gassen en medicijnen of het filteren van bacteriën of enzymen uit een vloeistof.

Onderzoeksomgeving

Een belangrijke onderzoeksomgeving voor dit thema ligt bij het Top Instituut 'Food and Nutrition', het voormalige 'Wageningen Centre for Food Sciences', de onderzoeksschool VLAG en het onderzoeksprogramma Nano4Vitality.

Actief op het gebied van nanotechnologie zijn TNO, Kwaliteit van Leven, Zeist en Materiaal Technologie, Eindhoven, Unilever Food Res Ctr, Vlaardingen, Univ Amsterdam, Dept Mol Biol & Microbial Food Safety, Swammerdam Institute of Life Science, Amsterdam, Groningen, Wageningen, MESA+ (Universiteit Twente), Friesland Foods, Campina, Universiteit van Maastricht, NIZO Food research, Ede, Debye Res Inst, Van 't Hoff Lab, Universiteit Utrecht, Dutch Separation Technology Institute, Numico research.

VOEDING

Toepassingen van nanotechnologie in voeding en gezondheid zijn het inkapselen van biomaterialen of nutriënten in nanocapsules. Deze zijn onzichtbaar en proef je niet. Daarnaast kunnen deze capsules geopend worden op elk gewenst moment, bijvoorbeeld door te reageren op de pH-graad in je maag.

Nieuwe verpakkingsmaterialen verlengen de shelf-life van voedingsproducten in de versketen, en indicatoren en sensoren op basis van nanotechnologie vertellen de consument hoe het met het product is gesteld.

Nanotechnologie brengt een innovatiegolf in de processen die nodig zijn om voedingsproducten te maken die veel verder gaat dan incrementele verbeteringen. Een voorbeeld is om met behulp van nanozeven bacteriën uit producten te halen en ze zo koud te pasteuriseren.

Mogelijk kan nanotechnologie op de lange termijn zelfs een bijdrage leveren aan betere vleesvervangers op basis van plantaardige eiwitten.



Vetbolletjes met water voor vetarm dieet, Nanomi



RFID-label voor verpakkingsmaterialen, IMEC

Op het gebied van voedselveiligheid: RIKILT-Institute of Food Safety, Wageningen, RIVM, Bilthoven, Netherlands, TNO Kwaliteit van Leven, Hogeschool Zuyd, Rathenau Instituut, RU (NCMLS), Wageningen, UvAmsterdam. Veel grote concerns en het MKB zijn betrokken in dit veld, om een aantal te noemen: DSM, Numico, Holst Centre / TNO, Friesland Food, Stork Food & Dairy Systems, Qanbridge, Cargill, Lionix, Innofood, Aquamarijn, Nanomi.

Wat willen we bereiken en waarom?

In de roadmap 'Microsystem- & Nanotechnology in Food & Nutrition' (Prisma & Partners, MinacNed, juli 2006) worden vier kansrijke thema's voor de Nederlandse voedingsmiddelenindustrie aangegeven, waarin de nano en microtechnologie een belangrijke rol spelen en die tevens van belang zijn voor de gezondheid.

De voorgestelde onderzoekslijnen zijn:

Filteren en fractioneren - Het ontwikkelen van procestechnologische componenten in de vorm van zeven en filters. Toepassingsmogelijkheden liggen onder andere bij het zuiveren en filteren van grondstoffen en halffabricaten, bij gefractioneerd scheiden en bij koud steriliseren of pasteuriseren. Ook kan men denken aan apparatuur die ongezonde bestanddelen (zoals verzadigde vetten) vervangt door gezondere bestanddelen (onverzadigde vetten of vetvervangers).

Sensor/detectiesystemen en processing - Het ontwikkelen van sensoren en diagnostische kits die – sneller en goedkoper dan nu – de kwaliteit van voeding meten, het productieproces monitoren en microbiële en andere soorten verontreiniging tijdig detecteren. Ten tweede gaat het om *down scaling* van de productie en bereiding van voeding. Dat kan in de vorm van apparaten die lokaal (op de boerderij of bij de consument) operationeel zijn (filteren, mengen, emulgeren, geïndividualiseerde voeding). Door het parallel schakelen van dergelijk units is *upscaling* ook mogelijk, waardoor flexibele centrale productie-eenheden kunnen ontstaan.

Emulsies, textuur en afgiftesystemen - Het vervaardigen van voedingsmiddelen met een andere textuur en/of een andere samenstelling. Het gaat dan bijvoorbeeld om dubbele emulsies (water-in-vet-in-water). Daarmee wordt bereiding van ingrediënten met een zeer laag vetgehalte mogelijk. Afgiftesystemen zijn toepassingen waarbij functionele ingrediënten zoals vitamines nauwkeurig gedoseerd en geprogrammeerd vrijkomen, bijvoorbeeld tijdens het eten (geurstoffen) of in het lichaam (kwetsbare nutriënten). Daarnaast kan het verbeteren van de oplosbaarheid van nutriënten of medicijnen d.m.v. nano-encapsulatie hun effectiviteit sterk verhogen.

Verpakking & Logistiek - Dit thema kent twee benaderingen. De ene is om ingrediënten van voedsel beter te verpakken, bijvoorbeeld als bescherming tegen oxidatie of tegen licht. De tweede is de koppeling van verpakking met sensoren en/of RFID's. Sensoren kunnen de status van het product in de verpakking signaleren en in combinatie met actuatoren waar mogelijk zelf corrigeren. RFID's kunnen informatie dragen over de samenstelling, herkomst en/of de actuele status van voedingsmiddelen (zoals het vitaminegehalte of de hardheid van fruit).

.....

Uit bovenstaande thema's blijkt dat niet alleen proces- en productinnovaties met nanotechnologie kostenvoordelen kunnen opleveren, maar dat dankzij de technologie die nu in ontwikkeling is, het ook mogelijk wordt in-grediënten te combineren, die nu nog niet samen verwerkt kunnen worden. De toepassing van nanotechnologie in voeding en gezondheid biedt duidelijk voordelen, ook voor de individuele consument. Koud steriliseren van voedsel met gevoelige ingrediënten, geprogrammeerde en in de tijd gefaseerde afgifte van smaak- en geurstoffen, geavanceerde lokale bereiding van voedsel, het zijn slechts enkele voorbeelden van de mogelijkheden die in de toekomst bestudeerd en ontwikkeld moeten worden.

Een belangrijk aandachtsgebied bij de toepassing van nanotechnologie in voeding en gezondheid is de acceptatie door de consument. Wageningen Universiteit (Marktkunde en Consumentengedrag) doet onderzoek naar de factoren en mechanismen die deze acceptatie beïnvloeden en hoe de valkuilen kunnen worden vermeden die toepassingen van biotechnologie in deze sector nog steeds parten spelen.

3.2.3 Energie

Inleiding op het thema

Een applicatie waarin nanotechnologie een steeds belangrijkere rol speelt is energievoorziening. In het essay 'Duurzame energie dichtbij met nanotechnologie' (geschreven in opdracht van het Rathenau Instituut) worden de mogelijkheden verkend die nanotechnologie kan hebben voor de energievoorziening. Het is gebaseerd op interviews met een tiental Nederlandse onderzoekers en adviseurs, wier deskundigheid uiteenloopt van katalyse tot netwerken en van steenkool tot zonne-energie.

Het blijkt dat nanotechnologie duidelijk van betekenis kan zijn voor de energievoorziening. Zowel door de ontwikkeling en verbetering van omzettingen, zoals aardgas in diesel en zonlicht in elektriciteit of waterstof, als door miniaturisering van elektronische regelsystemen voor een intelligent energie-internet. Ook de opslag van elektriciteit in batterijen of in waterstof is zeer gebaat bij ontwikkelingen in de nanotechnologie (met name katalyse, ionengeleiding en hydrides). Daarnaast levert nanotechnologie ook een bijdrage aan het zuiniger omgaan met energie. Bijvoorbeeld door de ontwikkeling van lichtere materialen en van LEDs (light emitting diodes). De belangrijkste economische groeimarkt van nanotechnologie op dit terrein ligt in energiebesparende technologieën die gebruik maken van geavanceerde materialen, naast de meer voor de hand liggende zaken als nieuwe materialen voor energieopslag via batterijtechnologie, waterstofopslag en brandstofcellen.

Op langere termijn kan op het gebied van zonne-energie veel verwacht worden, bijvoorbeeld quantum dot-structuren die kunnen zorgen voor een duidelijke verbetering van het rendement. Onderzoek vindt plaats op het gebied van de Grätzel-zonnecel, een cel gebaseerd op nanodeeltjes en organische zonnecellen. Om het rendement te verhogen zullen nieuwe kleurstoffen, zoals (bio)-dyes moeten worden gevonden.

Nanogestructureerde materialen, zoals membranen, vinden hun toepassing in het scheiden van gassen (bijvoorbeeld CO₂ en pervaporatie) of beïnvloeding van bacteriën in biomassa processen.

Onderzoeksomgeving

Op het terrein van energievoorziening bestaat in Nederland geen expliciet op nanotechnologie gerichte onderzoeksinitiatief. Wel is nanotechnologie als onderdeel geïntegreerd in bijvoorbeeld de projecten voor waterstofopslag binnen ACTS. Het ECN is het onderzoeksinstituut dat in Nederland actief is op het gebied van energie(voorziening).

Groepen die actief zijn op het gebied van nanogereleerd energie-onderzoek zijn:

Onderzoeksinstituut	expertise
AMOLF	nano-fotonica
Leiden	Photosynthese , conversie van zonlicht naar brandstof
Nijmegen	hoge rendement III-V zonnecellen, organische zonnecellen
TU Delft	opto-elektrische karakterisatie, conversie van zonlicht naar brandstof, windenergie, membranen, brandstofcellen, elektriciteitsopslag
TU/e	photovoltaic quantum dots, organische en amorf silicium zonnecellen, membranen, waterstofopslag, organische led's, elektriciteitsopslag
RUGroningen	organische zonnecellen, conversie van zonlicht naar brandstof, organische leds
Utrecht	interfaces, light trapping, conversie van zonlicht naar brandstof
UT	nieuwe materialen, membranen, biomassa, brandstofcellen, elektriciteitsopslag
UvA	nano-fotonica, Photosynthese
VU	Photosynthese, conversie van zonlicht naar brandstof, waterstofopslag
Wageningen	biometics van chlorofel, organische zonnecellen, conversie van zonlicht naar brandstof, windenergie, biomassa, membranen
ECN	Zonne-energie, windenergie, membranen
Philips Research	Anorganische en organische LEDs, batterijen, alternatieve methoden voor lokale energiewinning ("energy scavenging")
Shell Rijswijk	Sensoren voor oliewinning

Bedrijven actief op het gebied van zonne-energie zijn: Helianthos/Nuon Solland Solar, Scheuten Solar, AST, Shell, Holst Centre, SynCom.

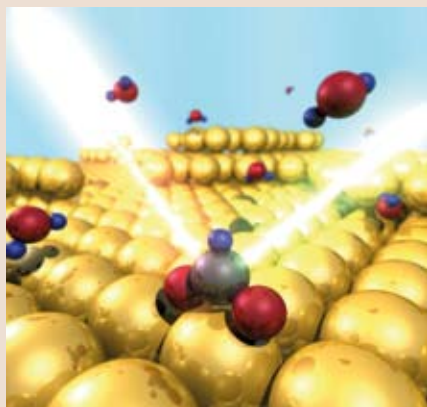
Bedrijven actief bij biomassa-energie zijn: Shell, BTG, Biofuel, BIOeCON. Bij membranen is in Nederland, naast Shell, veel bedrijvigheid: Pervatech, Ecoceramics, Norit-X-flow, Parker, Ceparation, TNO.

Op het gebied van de brandstofcellen vindt voornamelijk materiaalkundig onderzoek plaats met Nedstack als industriële partner. Voor het onderzoek naar waterstofopslag loopt een nationaal programma met als industriële partners Hygear en Shell hydrogen. De industriële partners op het gebied van Energiebesparing door gebruik te maken van leds zijn Philips, Holst Centre en NXP. Op het gebied van geïntegreerde batterijen (elektriciteitsopslag) zijn Philips en Holst actief.

Toepassingen van nanotechnologie in energievoorziening zijn vaak materiaalkundig van aard. Een voorbeeld is het onderzoek naar intelligente (of energieopwekkende) vensters voor toepassing in zonne-energie. Het ontwikkelen van materialen die waterstof kunnen opnemen voor opslag, of materialen die zuurstofdoorlatend zijn voor brandstofcellen. Ook het verstevigen en/of lichter maken van materialen vindt zijn toepassing in turbines en wieken die bij windenergie gebruikt worden. Slijtvaste materialen zullen bijdragen tot duurzaamheid en daarmee ook onderdeel zijn van het thema energievoorzieningen.



Nanopatroon voor betere opname zonlicht in zonnecellen.



Oppervlakte studies voor brandstofcellen

Wat willen we bereiken en waarom?

De transitie naar een duurzame energiehuishouding is een zeer langdurig proces waarbij verbetering en toepassing van bestaande technologieën voor energieopwekking (meer precies: energieomzetting), -distributie, -opslag en -gebruik nodig zijn, maar ook de ontwikkeling en implementatie van nieuwe technologieën. Nanotechnologie zal een belangrijke rol spelen in beide categorieën door de werking te verbeteren of de kosten te verlagen van bestaande technologieën. Daarnaast zal nanotechnologie ook de basis vormen van geheel nieuwe systemen, met de belofte van uitstekende werking en/of zeer lage kosten. Verder kan nanotechnologie nieuwe toepassingsmogelijkheden creëren en de duurzaamheid verbeteren.

De volgende onderzoekslijnen worden voorgesteld:

Efficiënt opwekking van duurzame energie - Bij het efficiënt opwekken van elektriciteit via fotonvoltaïsche conversie zullen verbeterde en geheel nieuwe typen zonnecellen ontwikkeld moeten worden. Mogelijkheden in relatie tot nanotechnologie zijn quantum-dotstructuren die voor een verbetering van het omzettingsrendement kunnen zorgen door manipulatie ("shaping") van het zonnespectrum, betere benutting van het hoog-energetisch licht, geoptimaliseerde absorptie-eigenschappen, etc.. Daarnaast zullen nanogestructureerde (hybride) materialen de mogelijkheid bieden om zeer goedkope (en in sommige gevallen lage-kwaliteit) materialen te gebruiken door minimalisatie van de transportafstanden in de cel, verbeterde lichthuishouding.

Zonne-energie voor het opwekken van warmte - Zonnecollectoren kunnen verbeterd worden door het toepassen van spectraal selectieve lagen (zeer hoge absorptie van licht in combinatie met lage uitstraling van warmte) of warmteoverdrachtslagen (uitstekende overdracht van warmte tussen verschillende media).

Zonne-energie productie van brandstoffen – Waterstof is hier een goed voorbeeld. Nanotechnologie speelt een rol door het toepassen van katalytisch actieve, nanogestructureerde materialen. Deze materialen zullen de degradatie van katalysatoren onderdrukken en voor een verbetering van het rendement zorgen. Überhaupt zal de tendens steeds meer gaan richting het toepassen van microreactoren.

Een belangrijke nieuwe ontwikkeling is de omzetting van zonlicht naar brandstof met geïntegreerde nanosystemen op basis van efficiënte multi-elektron katalyseprocessen, afgeleid van de fotosyntheseprocessen in de levende natuur. De fundamentele uitdaging is om de energie-, tijd- en lengteschalen te vinden waarop katalyse efficiënt verloopt en toegepast kan worden voor het maken van fotoanodes voor het splitsen van water en fotokathodes voor de synthese van waterstof of methanol uit CO₂. Dit wordt kort aangeduid met de term "The Artificial Leaf". De lage efficiëntie van biomassaconversie kan verbeterd worden door directe conversie van zonlicht naar brandstof in vivo. Hiervoor is het nodig een kwantitatief systeembioengineering platform te realiseren dat een basis vormt voor verdere verbetering met synthetische biologie, biobricks en hybride systemen op basis van zowel het leven als artificiële systemen. Het gaat hier om fundamentele doorbraken die tevens van groot belang zijn voor de toekomstige voedselvoorziening en het verminderen van het watergebruik.

Windenergie - Bij deze vorm van energie kunnen we ontwikkelingen verwachten in “zelfreparerende” en zelf-reinigende materialen (M2i, IOP Self Healing Materials) die zorgen voor een langere levensduur en verbeterd gedrag. Voor bijvoorbeeld windparken in zee zullen corrosiesensoren belangrijk worden.

Efficiënt energiegebruik door secundaire conversie van energie en scheiding van stoffen - Een wezenlijk onderdeel binnen dit thema is het bestuderen en toepassen van nanogestructureerde materialen voor scheidingtoepassingen, waaronder CO₂-afvangst en pervaporatie (scheiding van mengsels). Nanogestructureerde materialen vormen ook de basis van nieuwe katalysatoren voor brandstofbereiding uit biomassa. Nanomaterialen zullen worden toegepast voor het opwaarderen van cellulose (biomassa uit houtachtige gewassen) en t.b.v. biokatalyse voor de bereiding van producten uit biomassa en beïnvloeding van bacteriën voor de verbetering van ethanol synthese

Nanotechnologie voor energieopslag - Nanostructuren die snel en efficiënt grote hoeveelheden warmte kunnen opnemen en afstaan. Nanostructuren voor lithium-ion batterijen: verlenging van levensduur en vergroting van opslagcapaciteit. Nanogestructureerde materialen voor waterstofopslag, alsmede katalytisch actieve materialen voor waterstofproductie.

Anorganische en organische LEDs met zeer hoge efficiëntie - LEDs zijn nanostructuren, waarin elektrisch vermogen in licht wordt omgezet. Nanotechnologie biedt kansen om de efficiëntie van LEDs nog verder te verhogen, gebruikmakend van economisch aantrekkelijke fabricagemethoden.

3.2.4 Schoon water

Inleiding op het thema

Met nanotechnologie kan (vervuild) oppervlaktewater worden omgezet in water van de gewenste kwaliteit. Membranen filteren stofdeeltjes, micro-organismen en organisch materiaal uit het water. Met nanotechnologie is het mogelijk om de poriën in de ultrafijne membranen met nog grotere precisie te maken, zodat bijna 100 procent van alle micro-organismen eruit wordt verwijderd. De mogelijkheid om de poriëngrootte in te stellen, zodat een keuze gemaakt kan worden welke deeltjesgrootte wordt doorgelaten en welke niet. Hetzelfde vindt plaats met deeltjes die neutraal of geladen zijn. Om zoutionen te kunnen filtreren moet nog een flinke stap gemaakt worden: niet alleen de filtratie is van belang, ook de hoeveelheid water dat zo gezuiverd wordt is van belang als we dit willen toepassen in regio's die niet over voldoende veilig drinkwater beschikken. Overigens dient hierbij te worden opgemerkt dat ontwikkelingslanden alleen van deze toepassingen kunnen profiteren als de technologie op een betaalbare manier beschikbaar komt.

Een andere vorm van waterzuivering is het binden van ongewenste componenten aan nanodeeltjes. Vervolgens dienen de deeltjes te worden gescheiden door de eerder genoemde membranen, maar dit is ook mogelijk door magnetische scheiding wanneer we magnetische deeltjes gebruiken.

Bij het monitoren van de kwaliteit van water speelt nanotechnologie een steeds grotere rol. De controle van ammonia gebeurt door zeer kleine meetinstrumenten, gebaseerd op lab-on-a-chip-meetinstrumenten die gebruik maken van nanokanalen. Hierdoor is het mogelijk om met zeer kleine hoeveelheden te werken, wat snelle diagnose mogelijk maakt.

Onderzoeksomgeving

Het Nederlandse onderzoek op het gebied van schoon water staat internationaal zeer hoog aangeschreven en onderzoek wordt bovengemiddeld geciteerd. Belangrijke Nederlandse kennisinstellingen uit de watersector zijn GeoDelft, TUDelft, Universiteit Twente (MESA+, Impact), Wageningen, TNO, Kiwa, Unesco-IHE, WL/Delft Hydraulics, Radboud Universiteit Nijmegen (IWWR).

Gedeeltelijk is het onderzoek geclusterd in Wetsus, centre for sustainable water technology, een onderzoeksinstituut waarin de krachten van het bedrijfsleven en vooraanstaande kennisinstellingen zijn gebundeld. Wetsus richt zich op de ontwikkeling van nieuwe technologieën op het gebied van duurzaam water. De meerwaarde van het instituut ligt in de multidisciplinaire aanpak van biotechnologie en scheidingstechnologie. Het onderzoeksprogramma van Wetsus wordt bepaald door de bedrijven die zich als deelnemer aan Wetsus verbonden hebben. Het onderzoek wordt georganiseerd door Wetsus, onder de wetenschappelijke verantwoordelijkheid van universiteiten in Wageningen, Delft, Twente, Eindhoven en Groningen. Wetsus opereert sinds juni 2007 als Technologisch Top Instituut.

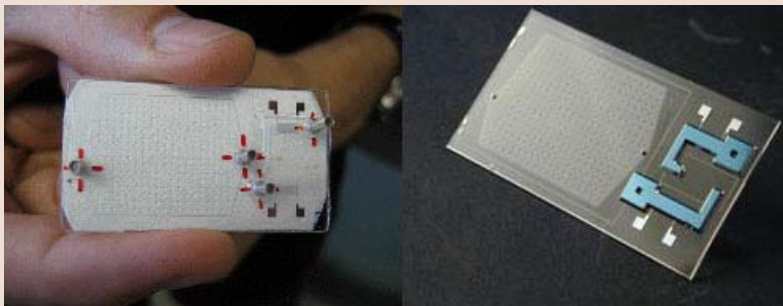
Toepassingen van nanotechnologie in waterzuivering vinden vooral plaats via het filtreren van water door zeven met poriën van slechts enkele nanometers groot . Poriën van 200-300 nanometer worden gebruikt voor het steriliseren of verwijderen van micro-organismen. Voor het ontziltten zijn poriën nodig van 1 nm. Een probleem hierbij kan de flux zijn, die sterk terugloopt bij dergelijke kleine poriën.

Het binden van verontreinigingen aan magnetische nanodeeltjes wordt toegepast, waarbij de deeltjes door een sterke magneetveld worden afgebogen. Later moeten deze deeltjes wel worden schoongespoeld. Nanodeeltjes kunnen ook in situ worden gebruikt om bepaalde chemische of biologische omzettingen in de bodem te bewerkstelligen, waarbij de verontreinigende componenten worden afgebroken.

Het detecteren van verontreinigingen vindt veelvuldig plaats. Het drinkwater in Parijs wordt gecontroleerd op de concentratie ammonia door gebruik te maken van zeer kleine en snelle meetinstrumenten die gebaseerd zijn op nanokanalen.



Filteren van water, Norit



Ammoniaksensor,
BIOS UTwente

.....

Wateronderzoek is ook geclusterd in het Nijmeegse Water and Wetland onderzoek, een onderzoeksinstituut waarin de krachten van het maatschappelijke sectoren, bedrijfsleven en vooraanstaande kennisinstellingen zijn gebundeld. IWWR richt zich op de ontwikkeling van nieuwe biologische technologieën op het gebied van duurzaam watermanagement. Het onderzoek wordt uitgevoerd onder verantwoordelijkheid van de Radboud Universiteit, in samenwerking met de Universiteit van Duisburg-Essen.

Bedrijven die werken op dit terrein zijn: Shell Global Solutions, Unilever, Philips, Friesland Foods, KIWA Water Research, Norit/X-flow, Nuon, Magneto Special Anodes, Lionix, Schlumberger Water Services, Ned. Waterleidingbedrijven, Triqua, Bioclear, Landustrie, Esco Salt, Hi-light Opto Electronics, Global Membrains, Aquacare Europe, Heineken, DSM, DOW, BrightSpark, STOWA, RIZA, DELTARES, Paques BV, Grontmij, Witteveen & Bos.

Wat willen we bereiken en waarom?

Sensoring (meten en monitoren) van waterkwaliteit wordt als belangrijkste onderzoekslijn gezien. Dit vloeit voort uit het gegeven dat bewaking van de waterkwaliteit door snelle detectie van zowel pathogenen als toxische stoffen in drink-, afval- en oppervlaktewater maatschappelijk zeer relevant is en dat dergelijke detectiemethoden op dit moment onvoldoende of niet voorhanden zijn. Omdat nanotechnologie bij uitstek geschikt is om snel en zeer selectief kleine hoeveelheden verontreinigingen en pathogenen te detecteren (genomics, selectieve adsorptie aan nanodeeltjes met zeer groot specifiek oppervlak, optofluidics, lab-on-a-chip systemen), wordt hier veel van verwacht.

Een belangrijk uitgangspunt bij de ontwikkeling van nanotechnologie ter verbetering van waterzuiveringsprocessen is dat drinkwaterproductie, afval- en oppervlaktewaterzuivering bulkprocessen zijn, en dat lage investeringskosten en lage variabele kosten dus randvoorwaarden zijn voor de toepasbaarheid van nieuwe (nano)technologie.

Gegeven deze randvoorwaarden wordt vooral toepassing van nanotechnologie bij zeer selectieve verwijdering van sporen (ppb tot ppm gebied), organische en anorganische verontreinigingen, en van pathogenen als kansrijk beoordeeld.

Een andere veelbelovende onderzoekslijn voor schoon water waarin nanotechnologie een belangrijke rol kan spelen, is de ontwikkeling van membranen met verbeterde filtratie- en/ of zuiveringseigenschappen. Dit is bijvoorbeeld mogelijk door chemische modificatie van het membraanoppervlak of incorporatie van enzymfuncties in membranen.

Daarnaast moeten nieuwe scheidingstechnologieën onderzocht worden als alternatief voor membranen bij bijvoorbeeld ontzilting, met als doel om zowel operationele kosten als energieverbruik te minimaliseren.

In Nederland is een aantal onderzoeksgebieden gedefinieerd betreffende schoon water die direct aansluiten bij de ontwikkelingen binnen nanotechnologie. Binnen het NNI worden de volgende onderzoekslijnen voorgesteld.

Detectie tijdens proces- en drinkwater en de zuivering van afvalwater - Hierbij is remote monitoren noodzakelijk, ontwikkeling van efficiënte en goedkope detectieapparatuur voor hergebruik van licht vervuild huishoudelijk water. Nieuwe sensorconcepten voor contaminanten.

Hergebruik zout afvalwater - Onder andere ontwikkeling van bioconversies bij hoge zoutconcentraties, zodat het schone zoute water opnieuw gebruikt kan worden of op een veilige manier geloosd kan worden. Nanotechnologie kan een rol spelen bij de ontwikkeling van corrosiebestendige materialen voor deze processen.

Verwijdering van zouten - De ontwikkeling van selectieve membranen voor scheiding van specifieke componenten. Alternatieven voor membraanprocessen zoals de ontwikkeling van adsorptieprocessen met (nano) deeltjes voorzien van gefunctionaliseerde oppervlaktes.

Membraan-bioreactoren - Vermindering van de energieflex, verhoging van de flux door het voorkómen van vervuiling, het ontwikkelen van nieuwe toepassingen. Nano-fluïdica voor bestuderen van transportverschijnselen.

Fouling van membranen voor bereiding van drink- en proceswater - Methoden ontwikkelen voor het (in situ) meten van de ophoping van deeltjes aan het membraanoppervlak (biofilms, cakevorming en vervuiling). Chemische en fysische methoden ontwikkelen die vervuilde membranen weer kunnen reinigen. Nieuwe membraanfunctionaliteiten t.b.v. self-recycling, en voorkomen van vervuiling door gebruik te maken van design coatings.

Energiewinning uit water - Hergebruik van vervuiling uit water voor de productie van energie, elektriciteit of waterstof. Ontwikkeling van biocompatibele elektroden, selectieve membranen, geactiveerde elektroden zijn onderdelen waaraan nanotechnologie een belangrijke bijdragen kan leveren.

3.3 Impact op samenleving en risicoanalyse

In deze paragraaf wordt ingegaan op de impact die nanotechnologie zal hebben op onze maatschappij. Daarnaast zullen maatregelen moeten worden getroffen om risico's te bestuderen en te vermijden die gepaard kunnen gaan bij het produceren en gebruik van nanodeeltjes

Inleiding op het thema

Nanotechnologie heeft al een grote impact op onze maatschappij en die zal alleen maar toenemen. Vaak wordt alleen stilgestaan bij de mogelijke risico's van bijvoorbeeld kleine deeltjes, maar de gevolgen van nanotechnologie zullen breder zijn. Enkele voorbeelden zijn de privacy, veiligheid, marktinvoeden, begripsvorming, etc.. Door een veel snellere dataverwerking (snelle computers, nieuwe media) en nieuwe technieken (DNA-structuren ontrafelen, snelle diagnostiek) worden persoonlijke gegevens sneller bekend en toegankelijk. De maatschappij zal hierop moeten anticiperen. Gevoel voor veiligheid speelt hierin ook een belangrijke rol. Marktpartijen zullen hierop inspelen en een drijvende kracht worden voor onze economie, net als de halfgeleiderindustrie in de afgelopen decennia. Vandaar dat het van belang is om de maatschappij vertrouwd te maken met nanotechnologie. Goede publieksvoorlichting is noodzakelijk. Het gevaar kan anders ontstaan dat onbekendheid met nanotechnologie de ontwikkelingen in de weg kan staan. Binnen Nederland wordt veel onderzoek verricht naar de maatschappelijke impact van nanotechnologie en daarom kan dit beschouwd worden als een generiek thema binnen de nanotechnologie in Nederland.

Een verantwoorde ontwikkeling van en uiteindelijk toelating tot de markt van nanotechnologische producten kan alleen tot stand komen als de potentiële risico's voor mens en milieu voldoende onderzocht zijn. Deze potentiële risico's zijn enerzijds gericht op de effecten van blootstelling aan de nanodeeltjes zelf en anderzijds op effecten als gevolg van gebruik van nanotechnologische producten. Zowel voor chemische stoffen als voor de toepassingen ervan in producten is een breed stelsel van nationale en internationale wet- en regelgeving van kracht. Daarnaast is de producent zelf verantwoordelijk voor het op de markt brengen van veilige producten. Deze benadering is voor chemische stoffen in nanovorm niet anders dan voor bestaande chemische stoffen.

Er ligt echter nog wel een serieus probleem in het uitvoeren van dit risico-onderzoek, in het beoordelen van de risico's voor mens en milieu in relatie tot bestaande normen en het afleiden van stofspecifieke normen. De onderzoeksvragen zijn enerzijds methodologisch van aard en anderzijds betreft het uitvoerend onderzoek. Aan methodologische zijde moeten nog goede analytische detectiemethoden worden ontwikkeld en moet inzicht ontwikkeld worden in de karakteristieken van de deeltjes die bepalend zijn voor het veroorzaken van toxische effecten.

Voor bestaande chemische stoffen is vanuit jarenlange ervaring een dergelijk inzicht wel verkregen. Juist dit inzicht is van essentieel belang om - op basis van gegevens uit experimenteel onderzoek - te kunnen extrapoleren naar het niveau van volksgezondheid of milieu. Dergelijk inzicht is tevens essentieel voor het bepalen van normen en voor het interpreteren van normoverschrijdingen.

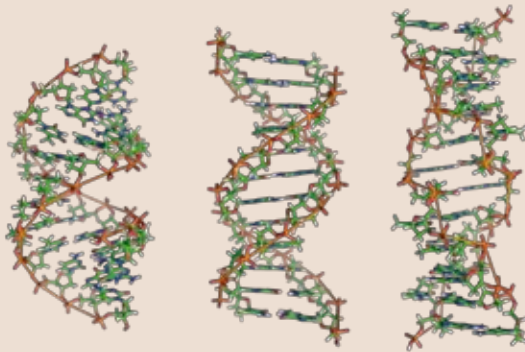
Het meer uitvoerende onderzoek, bijvoorbeeld het vaststellen van dosis-effect relaties vormt een onderdeel van productontwikkeling en zal dus grotendeels door het bedrijfsleven dienen te worden uitgevoerd.

Vooralsnog is de aandacht voor onderzoek naar risico's van nanodeeltjes nog relatief klein geweest.

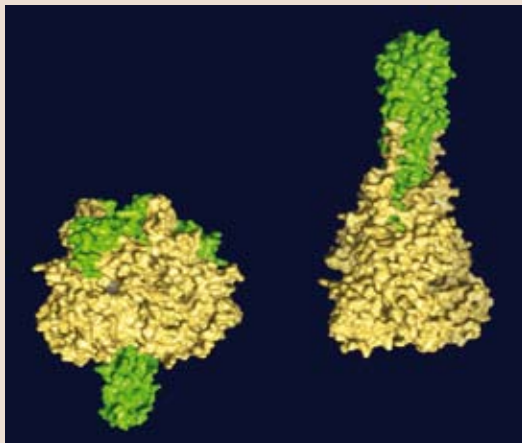
Door ontwikkelingen zoals lab-on-a-chip wordt het mogelijk om thuis bijvoorbeeld je bloed te meten i.p.v. in een ziekenhuislaboratorium. Voordeel is een veel snellere diagnose en daarmee een terugkoppeling in medicijngebruik of het inschakelen van de huisarts in een vroeg stadium. De verantwoordelijkheid verschuift hierbij van arts (ziekenhuis) naar patiënt of de fabrikant van de meetapparatuur. Deze verschuiving van verantwoordelijkheid zal juridische, verzekeringstechnische en menselijke gevolgen hebben.

Het vaststellen van iemands DNA-profiel maakt herkenning door uniciteit eenvoudiger, maar maakt de mens ook kwetsbaarder voor het bekend worden van zeer persoonlijke gegevens. Voorbeelden van risico's verbonden aan nanotechnologie zijn de effecten die nanodeeltjes hebben tijdens inhaleren of aanbrengen van cosmetica. Daarnaast zitten er steeds meer nanodeeltjes in voeding en geneesmiddelen die via de mond het lichaam in komen.

'Size matters'. Nanodeeltjes hebben vaak andere eigenschappen dan dezelfde stoffen in bulk. Zo zijn grote gouddeeltjes niet reactief, maar als nanodeeltje zijn ze dat wel.



DNA structuur



Virus bedekt met nanodeeltjes voor virusdetectie, Ellen Goldbaum, Buffalo

.....

Conform de dynamiek van nieuwe technologieën, is zowel op nationaal als internationaal niveau de aandacht vooral uitgegaan naar de ontwikkeling van de technologie. Aangezien er inmiddels een breed scala van toepassingsgebieden is en er al tal van producten in ontwikkeling en op de markt zijn, is inzicht in risico's voor werkers, volksgezondheid en milieu onontbeerlijk. Allocatie van geld voor dergelijk onderzoek dient derhalve hoge urgentie te hebben.

De onderzoeksvragen die voorliggen zijn talrijk, niet specifiek voor de Nederlandse situatie en veelal niet specifiek voor een bepaald toepassingsdomein. Nanotechnologie staat nog teveel in de kinderschoenen om een definitieve specifieke keuze te maken over de mogelijke kansrijke onderwerpen. Er wordt dan ook stevig ingezet op breed basisonderzoek, wat een globale differentiatie in programmakeuzes lastig maakt. Het is dan ook niet verwonderlijk dat de OESO een speciaal werkprogramma heeft opgesteld om tot een beschrijving van de onderzoeksvragen te komen. Dit programma wordt internationaal zowel in beleidskaders als in wetenschappelijke kaders als leidend gezien. Nederland wordt actief vertegenwoordigd in de diverse onderdelen van dit werkprogramma. De Nederlandse inbreng in dit programma is enerzijds afhankelijk van de kennis die aanwezig is en ontwikkeld kan worden en anderzijds van de financiële mogelijkheden om onderzoek te doen.

De keuze van de onderzoeksvragen die in Nederland opgepakt dienen te worden zou via diverse lijnen gemaakt moeten worden. Het uitgangspunt voor onderzoek in het publieke domein zou moeten zijn, dat enerzijds de resultaten regelgevende en toezichthoudende kaders daadwerkelijk kunnen ondersteunen en anderzijds de ontwikkeling en toepassing van nanotechnologie kunnen ondersteunen. Dit laatste moet het private domein helpen bij het zo goed mogelijk in kaart brengen van de potentiële risico's van hun producten. Het vereist dat zowel meer doelgericht als explorerend onderzoek gefinancierd wordt en dus een plaats op de researchagenda moet krijgen. Daarnaast dient als uitgangspunt te worden gehanteerd dat voor die expertises waarvoor een goede/excellente basis in Nederland aanwezig is, mogelijkheden aanwezig moeten zijn om die ook voor onderzoek naar risico's van nanodeeltjes uit te bouwen.

Onderzoeksomgeving

De Gezondheidsraad heeft in april 2006 een belangrijk rapport, genaamd 'Betekenis van nanotechnologieën voor de gezondheid' uitgebracht¹⁹. In het rapport wordt geconcludeerd dat er met name nog veel onzekerheden omtrent de risico's voor mens en milieu zijn. Er wordt geadviseerd vanuit het voorzorgsprincipe te handelen zolang deze onzekerheden er nog zijn.

In november 2006 is in de Kabinetsvisie Nanotechnologieën gesteld dat een Observatiepost wordt opgericht die risico's van toepassing van blootstelling aan nanodeeltjes en nanotechnologieproducten voor mens en milieu signaleert. Om deze risico's te kunnen signaleren is een goede interactie tussen deze Observatiepost en NNI van groot belang.

Momenteel zijn er in Nederland een aantal onderzoeksgroepen actief op het gebied van risico's van blootstelling aan nanodeeltjes en nanotechnologie producten. Een aantal van deze groepen hebben internationaal een zeer goede reputatie op dit nog relatief nieuwe onderzoeksgebied.

¹⁹ 'Betekenis van nanotechnologieën voor de gezondheid', Gezondheidsraad, april 2006

Randvoorwaarden om dit gebied tot de vooraanstaande onderzoeksgroepen te behoren zijn een goede wetenschappelijke reputatie op hetzelfde terrein voor bestaande chemische stoffen en/of een sterke interdisciplinaire samenwerking.

In Nederland dragen momenteel de volgende instituten en universiteiten bij aan hoogwaardig onderzoek aan de risico's van blootstelling aan nanodeeltjes en nanotechnologie producten voor mens en milieu:

Onderzoeksinstituten	expertise
AMC/Coronel Instituut	arbeid en gezondheid
Hogeschool Zuyd	neveneffecten nanodeeltjes
IVAM/UvA	milieu- en gezondheidseffecten van nanotechnologische ontwikkelingen in de bouw.
KIWA/RIZA	wateronderzoek
RIKILT	voedselveiligheid
WageningenUR	toxicologie en Marktkunde en Consumentengedrag
RIVM	gezondheidsrisico's
TNO	milieu aspecten, toxicologie
TopInstituut Pharma	medicijntoepassingen, biomarkers
UTwente	'Science, Technology, Health and Policy Studies' Technology Assessment
Utrecht	Technology Assessment
TU Delft	Technology Assessment
Rathenau Instituut	sociaal-ethische implicaties
TILT (Universiteit Tilburg)	Recht & Nanotechnologie
NMI	Meetstandaarden

Wat willen we bereiken en waarom?

De impact die nanotechnologie op de maatschappij zal hebben laat zich moeilijk voorspellen. Op de kruisgebieden van de generieke thema's en de applicatiegebieden zal dit vakgebied zich afspelen. Alle groepen die zich met nanotechnologie bezig houden moeten zich bewust zijn van de effecten die nanotechnologie zal hebben. De vragen hoe en waarom, moeten integraal onderdeel zijn van onderzoeksprogramma's op het gebied van de nanotechnologie. Assessmentstudies zijn hierbij essentieel, waarbij de samenwerking tussen de driehoek onderzoekers, ondernemers en sociologen van groot belang is.

Het is complex maar niet onmogelijk om toekomstige de risico's van blootstelling aan nanodeeltjes en nanotechnologische producten voor mens en milieu goed te kunnen beoordelen. Hiertoe moeten eerst de relevante onderzoeksvragen worden geïdentificeerd en vervolgens beantwoord. In dit traject dient sterk internationaal te worden afgestemd en te worden samengewerkt. Hiertoe zijn o.a. het werkprogramma van de OESO en het Kaderprogramma van de EU bij uitstek geschikt. Op hoofdlijnen zijn, mede door Nederlandse inbreng, de belangrijkste onderzoeksvragen inmiddels geïdentificeerd. Echter ook bij de nadere concretisering van deze onderzoeksvragen zal Nederland betrokken moeten blijven.

Zoals eerder vermeld dient in eerste instantie nog op breed basisonderzoek te worden ingezet. Het onderzoeksprogramma dient echter openingen te bieden om op basis van voortschrijdende ontwikkelingen het programma naar specifieke applicatiedomeinen aan te scherpen. De volgende onderzoekslijnen zijn geprioriteerd op basis van belang en op basis van aanwezigheid van toonaangevende expertise binnen Nederland:

Meetmethoden en -apparatuur - Er is veel onzekerheid over de blootstelling van mens (arbeidsblootstelling, consument) en milieu aan nanodeeltjes. Hiertoe dient apparatuur ontwikkeld te worden waarmee emissies en blootstelling bijvoorbeeld op persoonsniveau gemeten kunnen worden. Daarnaast dienen meetmethoden te worden opgesteld om die deeltjeskarakteristieken te kunnen bepalen die relevant zijn voor het beschrijven van de relatie tussen dosis en (eco)toxische effecten. Het is noodzakelijk om te komen tot normen en certificering van meetapparatuur voor het meten van blootstelling aan nanodeeltjes.

Dosimetrie - Het is nog niet mogelijk om vast te stellen in welke eenheden de dosis het best omschreven kan worden. Hiervoor moet worden onderzocht welke deeltjeskarakteristieken de dosis het best omschrijven. Een sterk multidisciplinaire benadering tussen met name chemici, mathematici en (eco)toxicologen is hiervoor essentieel.

Toxicokinetiek/gedrag van stoffen - In welke mate worden de deeltjes opgenomen, waar komen ze in het lichaam terecht, hoe lang blijven ze daar? Vergelijkbaar onderzoek is nodig voor het gedrag van nanodeeltjes in het milieu. Nederland beschikt over hoogwaardige farmacokinetische en toxicokinetische kennis, zowel op het gebied van geneesmiddelenonderzoek als op het gebied van stoffenonderzoek. Deze kennis vormt een sterk uitgangspunt voor nadere specialisatie richting nanodeeltjes. Het onderzoeksprogramma moet erop gericht zijn dat inzicht wordt verkregen in hoe diverse deeltjeskarakteristieken het gedrag van die deeltjes in mens en milieu beïnvloeden. Pas dan is het mogelijk om tot een goede beoordeling van de risico's te komen.

Dosis-effect relaties voor mens en milieu - Er moet vooral snel duidelijkheid komen of de toxicologische eindpunten, waar nu standaard naar wordt gekeken voor de diverse kaders, dekkend zijn voor de potentiële effecten die nanodeeltjes kunnen laten zien. Bovendien moet worden onderzocht of de wijze van testen valide is. Een nauwe interactie tussen (eco)toxicologen en risicobeoordelaars is van essentieel belang hierbij.

Risicobeoordeling en implementatie in regelgeving - Zijn de beschikbare methoden en beoordelingsstrategieën ook toepasbaar op nanodeeltjes? Extrapolatie van gegevens over bijv. deeltjes van gemiddeld 50 nm naar een andere grootte is vooralsnog niet mogelijk. Dit betekent in de praktijk dat iedere deeltjesgrootte van een stof als een nieuwe stof met bijbehorend toxicologisch dossier zou moeten worden beschouwd door de regelgevende kaders. Tevens zou het impliceren dat voor iedere deeltjesgrootte een aparte norm zou moeten worden opgesteld.

Risk-benefit analyses - Transparante methoden voor het afwegen van de risico's en de opbrengsten zullen van cruciaal belang zijn om nanotechnologieproducten op de lange termijn geaccepteerd te krijgen door de consument.

.....

Alle hiervoor genoemde onderzoeksthema's zullen uiteindelijk bij moeten dragen aan het oplossen van de praktische beperkingen in de risicobeoordeling. Vanuit de risicobeoordelingskaders zal niet alleen een nauwe samenwerking met wetenschappelijke kaders maar ook een grote mate van afstemming met de regelgevende kaders nodig zijn. Nederland heeft hier bijvoorbeeld vanuit haar betrokkenheid bij diverse activiteiten onder REACH al een goede basis voor liggen.

NNI wil met de resultaten van het risico-onderzoek in het kader van deze onderzoeksagenda ervoor zorgen dat Nederland op het gebied van (eco)toxicologisch onderzoek en risicobeoordeling internationaal een wetenschappelijk vooraanstaande positie inneemt of blijft innemen. Deze positie zal ertoe bijdragen dat in het private domein een zo efficiënt mogelijke koers van acties kan worden uitgezet om veilige producten in de markt te zetten. Daarnaast zal het risico-onderzoek een significante bijdrage leveren aan de sociaal-maatschappelijke acceptatie van nanotechnologische producten. Tot slot is een solide risicobeoordeling ook van belang om tot een goed afgewogen risk-benefit analyse te komen.

DEEL 4

HET INSTRUMENTARIUM: HOE EN WAAR INVESTEREN

“Nanotechnologie
biedt kansen
voor nieuwe
bedrijvigheid”

Het instrumentarium: hoe en waar investeren

Om het Nederlands Nano Initiatief te kunnen realiseren en tot een succes te maken is investering in vijf gebieden noodzakelijk: (1) investeringen in onderzoek en menselijk kapitaal; (2) investeren in en met bedrijven; (3) investeren in breed toegankelijke infrastructuur; (4) publiek-private samenwerking en (5) investeren in de maatschappij.

4.1 Investeren in excellent onderzoek en menselijk kapitaal

Deze realisatie vraagt om een structureel budget (met ingroeitraject) van tenminste 100 miljoen euro per jaar voor een periode van tien jaar. Een schatting, gebaseerd op de tijdelijke reguliere budgetten van NWO en NanoNed/NanoImpuls voor nanotechnologie.

Doel is het vergroten van fundamentele kennis, rekening houdend met mogelijke toepassingen van die kennis; de Nederlandse topositie in nanotechnologie behouden; creëren van hoog opgeleide kenniswerkers; talent perspectief bieden.

Excellent onderzoek

Zoals uit het voorafgaande blijkt, neemt Nederland een topositie in op het gebied van wetenschappelijk onderzoek in nanowetenschappen en –technologie. Een positie die is ontstaan door te investeren in de beste Nederlandse onderzoeksgroepen en laboratoria. NNI is een initiatief van universiteiten en bedrijven. Het stelt voor deze succesvolle strategie voort te zetten. Hiertoe zullen onderzoeksgroepen en instituten in de gelegenheid worden gesteld onderzoeksvoorstellen in te dienen, mits in de lijn van de in hoofdstuk 3 genoemde generieke thema's en applicatiegebieden.

Een deel van het budget zal ingezet worden voor het creëren van nieuwe leerstoelen en onderzoeksgroepen. Bij voorkeur in grotere onderzoekseenheden, zodat daadwerkelijk een netwerk ontstaat van excellente multidisciplinaire groepen. Er kan bijvoorbeeld gedacht worden aan het FOM-model voor 'concentratiegroepen', waarbij op één locatie gewerkt wordt aan één thema. Het opbouwen van een nieuwe onderzoeksgroep kost circa M€ 3, daarbij hoort tijdelijk personeel (promovendi, postdocs), senior posities (UDs, UHDs), technici, en het op peil houden van de basisinfrastructuur. Verhuispremies om de focus en massa te bereiken kunnen er ook bijhoren. Het is zaak onderzoeksgroepen die zich bezighouden met *fundamentele basisvragen* sterk te houden en te versterken, met daaraan gekoppeld de link naar toepassingen en innovatie. Als voorbeeld kunnen we het applicatiegebied Nanomedicine nemen. Onderzoekseenheden moeten de relatie tussen fysische/academische en klinische partners versterken, mede door deelname van industriële onderzoeksgroepen.

NanoNed is een belangrijk programma geweest om de relatie tussen chemici, fysici, materiaalkundigen, elektro-technici en biologen te versterken. NNI heeft tot taak deze verbindingen uit te breiden naar toepassingsgebieden zoals medisch, klinisch, zorg, energie, water, voeding. Daarom zullen ook nieuwe leerstoelen opgericht worden op kansrijke, lange termijn, niet-traditionele onderzoekslijnen. Daarbij is multidisciplinaire clustering van toponderzoeksgroepen nodig, waarbij expertises op verschillende terreinen bij elkaar gebracht worden.

Menselijk kapitaal

Een van de doelstellingen van het NNI is het binnenhalen dan wel opleiden van kenniswerkers om de ambitieuze plannen uit te voeren. Bijvoorbeeld promovendi, die na hun promotie op allerlei posities in de samenleving terechtkomen, of mensen met een specifieke technische expertise. Ambitieuze plannen vergen een stevig fundament in de vorm van voldoende absorptiecapaciteit om mensen op te kunnen (blijven) leiden. Nederland beschikt hierover; aan de Nederlandse universiteiten en kennisinstellingen werken momenteel circa 1000 onderzoekers en technici aan nanotechnologie. Een groot deel van die onderzoekers is verbonden aan tijdelijke initiatieven van STW, FOM en NanoNed. Structurele financiering is nodig om dit kenniskapitaal te behouden en substantieel uit te breiden. Het is nú zaak te investeren om jong talent voldoende perspectief te bieden voor een loopbaan als onderzoeker bij een kennisinstelling of in het bedrijfsleven.

Een module binnen NNI om tijdelijke uitwisselingen van onderzoekers tussen kennisinstellingen en bedrijfsleven mogelijk te maken, kan een belangrijke bijdrage leveren aan dit loopbaanperspectief, alsmede aan de kennisoverdracht en publiek-private samenwerking. Daarbij moet het in de wet- en regelgeving ook aantrekkelijk gemaakt worden om als niet-Nederlandse kenniswerkers in Nederland te werken en te kunnen verblijven. Een ander aandachtspunt is de 'brain gain'. Het NNI streeft ernaar een aantal Nederlandse coryfeeën vanuit het buitenland terug te halen. Wanneer we een vergelijk trekken met bijvoorbeeld ETH Zurich, zal het terughalen van een coryfee naar schatting circa M€ 5 kosten.

Naast de bovengenoemde hoger opgeleiden (WO, PhD, Post Doc's), is het van groot belang om ook het (V)MBO en HBO te betrekken bij dit groeiend vakgebied. Nanotechnologie kan door haar multidisciplinariteit een rol vervullen bij het enthousiasmeren van jeugd voor technologie. Dit kan gerealiseerd worden door het creëren van stageplaatsen en het opzetten van nieuwe studierichtingen op het gebied van nanotechnologie en embedded systemen.

4.2 Investeren in en met bedrijven

Doel is actieve deelname vanuit het bedrijfsleven aan NNI, door participatie in de onderzoeksprogramma's en het vaststellen van een valorisatieparagraaf.

De Nederlandse industrie, zowel de multinationals als het MKB, is zeer actief op het gebied van nanotechnologie. Toch kan de samenwerking tussen de academische wereld en de industrie aanzienlijk verbeterd worden. Een van de oplossingen is het betrekken van de industrie in een zo vroeg mogelijk stadium. Onderzoeksvoorstellen binnen NNI moeten niet alleen een valorisatiecomponent hebben, maar ook mede geïnitieerd kunnen worden door het bedrijfsleven. Natuurlijk zal dit sterk afhangen van het type en de grootte van het bedrijf. Zo zullen bedrijven als Philips, ASML, NXP, Shell, DSM een belangrijke partner in de generieke en applicatiegerichte onderzoeksprogramma's zijn, terwijl het MKB veelal betrokken zal zijn bij de uitkomsten in de applicatiegebieden. De rol van het NNI naast Point-One, het *high-tech* innovatie programma op het gebied van nano-elektronica en embedded systems, is duidelijk complementair. Beide programma's versterken elkaar.

.....

Nanotechnologie biedt kansen voor nieuwe bedrijvigheid. In de buurt van kennisinstellingen ontstaan kernen van spin-off bedrijven. Een dynamisch ondernemingsklimaat zal dit effect kunnen versterken. Investerings- en naast het initiëren van nieuwe bedrijven ook groei en bloei te realiseren is nodig. Juist deze economische ontwikkelingen kunnen voor de Nederlandse kenniseconomie en regionale ontwikkeling van groot belang zijn. Hierbij zal het MKB een steeds grotere rol gaan spelen, zowel bij de werkgelegenheidsgroei dankzij de ontwikkeling van nanotechnologie als door het ontwikkelen van de spin-off bedrijven zelf. In de volgende paragraaf wordt hierop verder ingegaan.

4.3 Investeren in infrastructuur

Doel is het realiseren van een uitstekende infrastructuur in Nederland, gebruikmakend van de bestaande investeringen en waar nodig door uitbreiding hiervan. De keuzes gemaakt in eerdere programma's zoals NanoNed voor infrastructuurlocaties moeten verder gestalte krijgen. Doublures moeten vermeden worden.

Vooruitstrevend nanotechnologieonderzoek vereist investeringen in apparatuur en faciliteiten voor bijvoorbeeld karakterisatie en fabricage. Daarom zal in het NNI een deel van haar budget aanwenden om op een slimme manier de infrastructuur te bekostigen die toponderzoek kan faciliteren. Doelmatig gebruik van investeringen staat daarbij voorop; dit kan betekenen dat faciliteiten gedeeld zullen moeten worden, en dat er ook gebruik gemaakt dient te worden van de beschikbare onderzoeksinfrastructuur in het bedrijfsleven, bijv. MiPlaza. Het financieren van lokaal benodigde basisapparatuur en – indien het totaal van de huidige faciliteiten onvoldoende blijkt - nieuwbouw van onderzoeksfaciliteiten, kan onderdeel uitmaken van de investeringen. Open innovatiemodellen lijken hiervoor een goede manier van werken, omdat ze een stimulans voor interdisciplinaire samenwerking kunnen betekenen.

Aangezien het nanotechnologieveld zich uitbreidt richting voeding, gezondheid, schoon water en risicoanalyse, zullen ter ondersteuning van deze gebieden nieuwe investeringen gedaan moeten worden. Ook hierbij geldt dat deze investeringen geen verbrokkeling van faciliteiten tot gevolg heeft.

Voor Nanolab NL is een uitgebreide roadmap samengesteld in het kader van de 'Large Scale Research Facilities' van de commissie Van Velzen. Voor een meer gedetailleerde beschrijving van Nanolab NL verwijzen wij naar dit document.²⁰

20 NanoLab NL: Continuation and Strengthening of NanoLab NL, 'Roadmap Large Scale Research Facilities' voor Commissie Van Velzen door ir. Miriam Luizink, MESA+, Enschede, NL.

4.4 Investeren in publiek-private samenwerking

Doel is het stimuleren en opzetten van publiek-private initiatieven, specifiek gericht op het onderzoek naar en de toepassing van nanotechnologie, het bevorderen van betrokkenheid van het MKB bij publiek-private samenwerking en verbeterde toegang voor het MKB tot de nieuw ontwikkelde nanotechnologieën, en het initiëren van nieuwe bedrijvigheid.

Om de toepassing van nanotechnologie te bevorderen is het van belang dat er een goede samenwerking is tussen kennisinstellingen en de industrie. SenterNovem, in samenwerking met NWO, kan hierbij een belangrijke rol spelen. De al gestarte IPP's (industriële partnership programma's) van FOM en STW zijn hier een goed voorbeeld van. De aan de kennisinstellingen en in het bedrijfsleven ontwikkelde kennis moet geabsorbeerd worden door de industrie. Hierbij is het natuurlijk relevant dat de kennis die ontwikkeld wordt aansluit bij de behoefte van de bedrijven. Actieve deelname van industriële onderzoekers creëert de noodzakelijke randvoorwaarden voor deze absorptie. In dit traject moet speciale aandacht worden besteed aan de betrokkenheid en rol van het MKB. Dit kan o.a. worden gestimuleerd door het ter beschikking stellen van 'kennisvouchers' aan het MKB. Ook het stimuleren van nieuwe bedrijvigheid moet actief worden ingevuld. Het ter beschikking stellen van 'valorisatie beurzen' aan (universitaire) onderzoekers om ontwikkelde kennis te commercialiseren - middels een start-up bedrijf - zal bevorderd worden. Sinds 1,5 jaar is NanoHouse actief (www.nanohouse.eu) dat dit in de regio Leuven, Eindhoven, Maastricht, Aken al doet voor het MKB. Financiering komt uit de gelden van TTR-ZON. Er is echter plaats voor meerdere actoren binnen Nederland, zoals in model Syntens.

4.5 Investeren in de maatschappij

Doel is de impact die nanotechnologie in de maatschappij zal hebben in kaart te brengen, het publieke debat te initiëren en stimuleren door het verzorgen van algemeen toegankelijke informatie over nanotechnologie. Het bewerkstelligen van een verantwoorde ontwikkeling van nanotechnologie door het kennisniveau over de mogelijke risico's van nanoprodukten voor mens en milieu zodanig te verhogen dat alleen veilige producten op de markt komen.

Rondom nanotechnologie is publiekscommunicatie van essentieel belang. Het is de taak van het NNI om actief te zijn in de media en om algemeen toegankelijke informatie te verzorgen. Hiervoor zal in het budget ruimte gemaakt worden.

Communicatie dient zich te richten op een bredere doelgroep dan alleen het publiek. Ook moet gezorgd worden voor een goede disseminatie van onderzoeksgegevens, die voor universiteiten vaak essentiëler is dan voor bijvoorbeeld het bedrijfsleven.

.....

Ook dienen belangengroepen actief geïnformeerd te worden zoals werknemersgroepen, ondernemingsraden, consumentenorganisaties en milieugroepen, werkgevers (organisaties), inspecties en 'praktijkondersteuners/zorgsector'.

Nanotechnologie heeft al bewezen een zeer nuttige techniek te zijn voor diverse maatschappelijke oplossingen, zoals diagnostiek, verbeterende materialen, snel dataverkeer. Daarnaast onderkent en benadrukt het NNI het belang van goed onderzoek naar de risico's van blootstelling aan nanodeeltjes en nanotechnologische producten voor mens en milieu. Er ligt een breed scala aan onderzoeksvragen waarvan moet worden vastgesteld welke vragen de meest relevante bijdragen leveren aan een solide risicobeoordeling. Beantwoording van deze vragen omvat zeker specifiek aandacht voor standaardisatie, normering, ontwikkeling van meetapparatuur, verwerven van inzicht in de relatie tussen deeltjeskarakteristieken en gedrag van nanodeeltjes in mens en milieu. Deze kennis is nodig om een solide risicobeoordeling uit te kunnen voeren maar is ook van essentieel belang bij het adviseren van regelgevende kaders over hoe om te gaan met nanodeeltjes en nanotechnologische producten in de regelgeving, mede gezien de recente aanbeveling van de Europese Commissie m.b.t. een *code of conduct for responsible nanosciences and nanotechnologies research*.

DEEL 5

HET RESULTAAT: DE POSITIE VAN NEDERLAND IN 2020

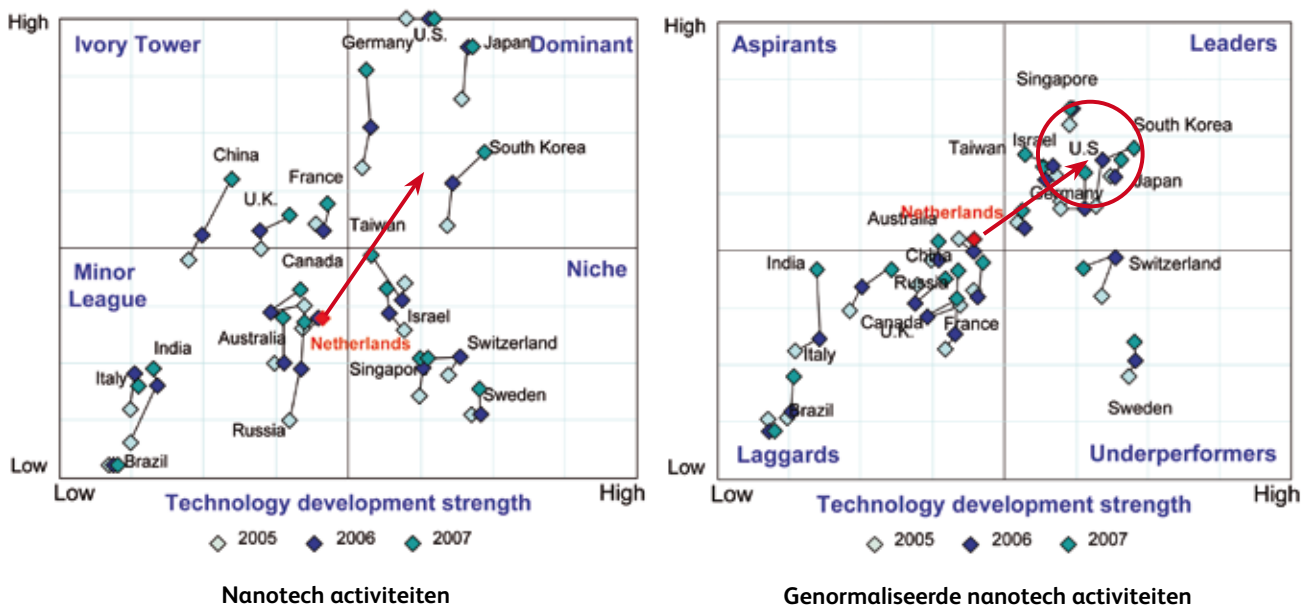
“De internationale
positie van Nederland
prominenter, zowel
kwalitatief als
kwantitatief”

Het resultaat: de positie van Nederland in 2020

In deze paragraaf wordt de governance geschetst waarbinnen het NNI zal opereren. Daarnaast wordt de aanzet tot het schrijven van een businessplan gegeven, inclusief de rol die de verschillende partijen hierin zullen spelen.

5.1 Beschrijving van het nieuwe landschap en afrekencriteria

Hoe staat Nederland er in de wereld op het gebied van de nanotechnologie in 2020 voor als deze strategische research agenda integraal wordt uitgevoerd? In een recent rapport²¹ heeft Lux Research in kaart gebracht waar Nederland momenteel is gepositioneerd ten opzichte van toonaangevende OECD- en BRIC-landen. De in te zetten nieuwe middelen zullen - zoals de pijlen in de figuren 7a en 7b aangeven - niet alleen de Nederlandse nanotechnologie-activiteiten zowel absoluut als relatief op een hoger plan brengen, maar ook de technologische ontwikkelingskracht van Nederland in algemene zin versterken. Als gevolg daarvan wordt de internationale positie van ons land prominenter, zowel kwantitatief als kwalitatief.



Figuur 7: Nanotechnologische activiteiten (absolute schaal) versus technische ontwikkelsterkte (relatieve schaal). Bij activiteiten is hierbij gekeken naar nano-initiatieven, nanotech centra, publicaties, patenten, overheidssteun, risicokapitaal, corporatief R&D, actief deelnemende bedrijven. Bij ontwikkelsterkte is gekeken naar R&D- bestedingen, High-tech producties, aantallen arbeidskrachten, aantallen promoties, onderwijs en infrastructuur. (bron: LUX Research Inc. ©2008²¹)

²¹ Gegevens afkomstig van LUX Research Inc. in opdracht van NanoNed betreffende de valorisatie van de verschillende Flagships binnen NanoNed (2008).

Door middel van dit Nederlands Nano Initiatief is in 2020 de publieke kennisinfrastructuur op het gebied van nanowetenschap en -technologie aanzienlijk versterkt. De omvangrijke additionele middelen die op langdurig-tijdelijke basis beschikbaar komen, zorgen 'an sich' voor een substantieel hoger activiteitsniveau, 'triggeren' ombuigingen in bestaande geldstromen en geven sturing aan de inzet van nieuwe structurele middelen voor universiteiten, (technologische) instituten, NWO e.d. Het palet aan activiteiten is sterk verbreed.

Een effectieve sturing brengt de organisatie op een hoger plan: betere taakverdeling en concentratie zorgen voor de gewenste focus en massa. Inhoudelijk zijn de activiteiten goed afgestemd op de behoeften van het bedrijfsleven dat zich alsdan in Nederland manifesteert, terwijl er ook voldoende ruimte is voor grensverleggend onderzoek dat anticipeert op veelbelovende nieuwe ontwikkelingen later in de jaren '20.

Het 'nanogehalte' van de fysica, chemie en biologie ligt in 2020 circa 50 % hoger dan in 2008. Bovendien heeft op dit terrein een sterke integratie van de bijdragen uit deze basisdisciplines plaatsgevonden. Dit manifesteert zich in aard en omvang van leerstoelen, staf, faciliteiten e.d. Het aantal wetenschappelijke publicaties op nanogebied is navenant gestegen, terwijl door de gerealiseerde kwaliteitsslag ook de impact ervan is toegenomen. In de hele onderwijsketen VMBO - VWO - MBO/HBO - WO - MSc is het 'nanoprofiel' duidelijk zichtbaar aanwezig.

Ook het industriële landschap ziet er in 2020 heel anders uit. Ook hier is het inhoudelijke palet sterk verbreed. Waar in 2008 de nano-industrie nog sterk wordt gedomineerd door de sector halfgeleiders en elektronica, hebben in 2020 de sectoren voeding en gezondheid sterk aan belang gewonnen. Het grote aandeel van multinationals in de nano-activiteiten is relatief verminderd ten gunste van dat van snelgroeiende research-intensieve middelgrote en kleine bedrijven. Dit voor Nederland betrekkelijk nieuwe type bedrijven is deels ontstaan door verzelfstandiging van bedrijfsonderdelen van grote bedrijven, nieuwe vestigingen van (onderdelen van) buitenlandse bedrijven in Nederland en door start-ups. De werkgelegenheid in de nano-industrie is sterk gegroeid en kenmerkt zich door een bijzonder hoog opleidingsniveau. Het aantal patenten dat in 2020 door Nederlandse bedrijven en kennisinstellingen wordt aangevraagd, is het dubbele van 2008.

Door opleiding en voorlichting heeft de samenleving de nanotechnologie goed geaccepteerd. De bevolking kent zowel de kansen als de bedreigingen. De samenleving doorziet de risico's en weet daarmee goed om te gaan. De vernieuwing van de bedrijvigheid genereert een duurzame en bestendige economische groei van 2 à 3 %. De nieuwe consumptiegoederen van de nano-industrie vinden gretig aftrek en dragen sterk bij aan de verbetering van de kwaliteit van leven. Doorbraken zijn er op het gebied van de waterkwaliteit, duurzame energie, voedselkwaliteit en gezondheidszorg.

5.2 Nederlands Nano Initiatief - Governance structuur

De Governance structuur van het Nederlands Nano Initiatief is gebaseerd op de succesvolle aanpak van het NanoNed-consortium. Centraal in de Governance staan het bestuur, het ondersteunende - onafhankelijke - bureau, de adviserende bestuursraad en Programma Directeuren, zie ook figuur 8.

Naast de directe NNI-Governance moeten partijen die participeren in het programma voor het programma aanspreekbare, en voor deze instelling verantwoordelijke, vertegenwoordigers aanwijzen.

Bestuur

Het Bestuur is verantwoordelijk voor het besturen van het NNI en heeft de bevoegdheid om beslissingen te nemen voor de uitvoering van het NNI. Het Bestuur vergadert iedere 2 maanden en bestaat uit 7 leden. In het Bestuur zitten leden vanuit de kennisinstellingen, industrie en maatschappelijke organisatie in de verhouding 3-3-1. Het aantal leden vanuit de kennisinstellingen is minimaal gelijk aan het aantal leden vanuit de industrie.

Indien gewenst kan het bestuur - tijdelijke - raden instellen voor specifieke advisering.

Het bestuur wordt ondersteund door een onafhankelijk Programma-Bureau.

Programma-Bureau

Het bestuur het NNI wordt ondersteund door een onafhankelijk Programma-Bureau met voldoende en competente menskracht om de taken te vervullen die bij de goede uitvoering van het NNI horen. Het Bureau ondersteunt het bestuur en draagt zorg voor het programmamanagement. Het Bureau voert het secretariaat van de commissies die de uitvoering van het programma begeleiden, begeleidt de onderzoeksprojecten, zorgt voor de financiële administratie en betalingen, draagt zorg voor de communicatie en verleent assistentie bij kennisbescherming en kennishandel. Het Bureau is aanspreekpunt voor alle bestuurszaken en contactpunt voor in het programma participerende partijen.

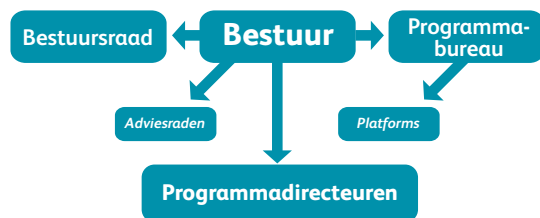
Het Bureau kan Platforms installeren voor bepaalde specifieke programmataken.

Bestuursraad/Adviesraad

De Bestuursraad/Adviesraad bestaat uit vertegenwoordigers van wetenschap, industrie, maatschappelijke organisaties en overheid. Het Bestuur heeft het vertrouwen van de Bestuursraad. De raad houdt toezicht op het Bestuur en adviseert gevraagd of ongevraagd. Belangrijkste taak zal zijn om het bestuur te adviseren omtrent de richting van het NNI-programma in relatie tot de belangrijkste internationale ontwikkelingen op het gebied van nanotechnologie, met specifieke aandacht voor wetenschappelijk kwaliteit, economische relevantie en maatschappelijk nut. Het beleid van het NNI wordt vastgesteld in overleg met de Bestuursraad. Belangrijke beslissingen worden genomen in overleg met de Bestuursraad. Bestuur en Bestuursraad vergaderen twee maal per jaar gezamenlijk.

Programma Directeuren (flagship captains, projectleiders)

Door het Bestuur van het NNI wordt de inhoudelijke leiding van de onderdelen van het programma opgedragen aan Programma Directeuren. Deze zijn verantwoordelijk voor de inhoudelijke sturing, bewaking en coördinatie van het programma en de bewaking van de valorisatie van het programma. De Programma Directeuren kunnen bij de werkzaamheden ondersteund worden door clusterleiders en projectleiders. Deze laatste zijn tevens verantwoordelijk voor de uitvoering en opgeleverde resultaten van de aan hen toegewezen projecten.



Figuur 8: Schematische weergave
NNI-Governance structuur.

5.3 Het vervolg

Voor het vervolg stelt het consortium NNI voor om de participerende partijen uit te nodigen om Programma Directeuren voor te dragen voor het uitwerken van een van de onderzoekslijnen, zoals omschreven in hoofdstuk 3. Uit dit aanbod wordt een aantal Programma Directeuren, experts op hun gebied, door het consortium aangewezen om een visiedocument op te stellen. Hierbij wordt gestreefd naar een evenwichtige verdeling over alle thema's. Het visiedocument is een eerste aanzet tot het definiëren van een onderzoeksvoorstel. Na goedkeuring van een visiedocument wordt de betrokken Programma Directeur gevraagd het onderzoekprogramma verder uit te werken in overleg en samenspraak van alle betrokkenen (kennisinstellingen, industrie, maatschappelijke instanties) binnen het onderzoeksprogramma. Dit onderzoeksprogramma dient een beknopt *werkplan* en een *projectbegroting* te bevatten. De ingediende onderzoeksprogramma's zullen worden beoordeeld door een internationaal forum, waarbij naast wetenschappelijke inhoud ook de inbreng vanuit het bedrijfsleven, de valorisatie en maatschappelijk impact mede beoordeeld worden. De toekenning van middelen zal afhangen van deze beoordeling, waarbij het consortium ervoor zorgt dat alle thema's voldoende aan bod komen.

.....

Deze strategische agenda voor het Nederlands Nano Initiatief is tot stand gekomen met de hulp van vele mensen uit het nanoveld zowel vanuit de kennisinstellingen als de industrie. In het bijzonder wil ik Leon Gielgens (STW, NanoNed), Hendrik van Vuren (FOM), Mijke Zachariasse (FOM), Reinder Coehoorn (Philips), Hans Hofstraat (Philips) en Menno van Duuren (UTwente) bedanken voor hun bijdrage, die van grote waarde is geweest.

© 2008 Dave H.A. Blank

The background of the page is a close-up, blurred photograph of green leaves, likely from a plant like a banana or similar broad-leafed species. The leaves are curved and layered, creating a sense of depth and texture. The colors range from light green to a darker, more saturated green, with some areas appearing slightly yellowish due to the lighting.

BIJLAGE

Bijlage 1: Geplande investeringen USA voor 2009 (miljoen dollars)

Gegevens afkomstig van US-NNI Strategisch Plan: www.nano.gov									
	Fundamenteel onderzoek	nanomaterialen	Devices en systemen	Metrologie en standaards	Nano-fabricatie	infrastructuur	Milieu, gezondheid en veiligheid	Onderwijs en sociale dimensies	Totaal NNI
DOD	227,8	55,2	107,7	3,6	12,8	22,1	1,8		431
NSF	141,7	2,5	51,6	16	26,9	32,1	30,6	35,5	396,9
DOE	96,9	63,5	8,1	32	6,0	101,2	3,0	0,5	311,2
DHHS	55,5	25,4	125,8	5,9	0,8		7,7	4,6	225,7
NIST	24,5	8,5	22,7	20,9	15,3	5,7	12,8		110,4
NASA	1,2	9,8	7,7			0,2	0,1		19
EPA	0,2	0,2	0,2				14,3		14,9
DHHS							6		6
USDA	2,1	2,1	2,2	1,1	0,3		0,1	0,1	8
DOJ				2,0					2
DHS			1,0						1
DOT	0,9								0,9
Totaal	481	227,2	327	81,5	62,1	161,3	76,4	40,7	1.527

DOD: Department of Defence

NSF: National Science Foundation

DOE: Energy, include Offices of Science, Fossil Energy, and Energy Efficiency and Renewable Energy

NIH, DHHS: National Institute of Health, Health and Human Services

NIST: National Institute of Standards and Technology

NASA: National Aeronautics and Space Administration

EPA: Environmental Protection Agency

USDA: Agriculture

DHS: Homeland Security

DOJ: Justice

DOT: Transportation

Bijlage 2: Positie Nederland in aantallen nanotechnologie-publicaties en gemiddelde citaties

		Aantal publicaties	Gemiddeld Aantal citaties
1	Zwitserland	792	10.4
2	Nederland	514	9.27
3	US	9993	9.22
4	Canada	754	7.57
5	België	382	7.52
6	Ierland	131	7.07
7	Engeland	1415	6.69
8	Schotland	130	6.61
9	Denemarken	217	6.46
10	Frankrijk	2673	6.42
11	Japan	4251	6.18
12	Spanje	874	5.87
13	Duitsland	3579	5.78
14	Israel	371	5.56
15	Brazilië	245	5.11
16	Oostenrijk	220	5.01
17	Italië	958	4.79
18	Zweden	381	4.54

(bron Science Watch 2000).

Bijlage 3: Nano-industrieel landschap

Op basis van SenterNovem-studies is het industriële landschap in Nederland onder te verdelen in de volgende technologische sectoren waar investeringen in nanotechnologie toepassing zullen vinden:

Precisiefabricage

circa 10 spelers, zoals ASML, Philips, NXP, Mapper, Océ-Technologies, OTB, HemTech

kenniskant: TNO, TUD

programma's: NanoNed, IOP 'Precisietechnologie'

karakteristiek: wereldtoppers met veel kennis in huis

Instrumentatie

circa 40 spelers, waaronder FEI, Mecal, OTB, Dutch Space

kenniskant: TNO, UT, TUD, Nederlands Meet Instituut

programma's: NanoNed, IOP 'Precisietechnologie', Smartmix programs

karakteristiek: wereldtoppers met veel kennis in huis

Nanomaterialen

circa 75 spelers, waaronder Akzo Nobel, DSM, SKF, DOW Chemical, Krya Materials

kenniskant: TU/e, M2i, DPI, TNO-Eindhoven/Zeist, RU, UT

programma's: NanoNed, IOP 'Oppervlaktetechnologie', IOP 'Self Healing Materials', IOP 'Photonic Devices'

karakteristiek: sterke positie, breed, met veel kansen MKB

'Devices & system integration'

circa 25 spelers, waaronder Philips (deels m.b.v. MiPlaza), NXP, C2V, Bronkhorst HighTech, Cavendish, Lionix, Nyquist

kenniskant: UT, TU/e

programma's: NanoNed, MicroNed, IOP 'Photonic Devices', Point-One

karakteristiek: miniaturisatie met veel kansen MKB

Bio-nanotechnologie

circa 20 spelers, waaronder IsoTis, OctoPlus, Pamgene, Kreatech, Synvolux, PharmaTarget, ENCAPSON, Chiralix, Syntharga, MagnaMedics

kenniskant: WUR, RUG, UT, RU, UU, Leiden (BioScience Park)

programma's: NanoNed, BioMaDe, IOP 'Industriële eiwitten', IOP Genomics. Activiteiten sluiten aan op sterke Privaat Publiek Partnership als CTMM, BMM, TI Pharma in Healthcare.

Bijlage 4: Internationale initiatieven op gebied van nanotechnologie

Waar bekend zijn investeringen en bijbehorende perioden aangegeven.

EU: Zevende Kaderprogramma	3,48 miljard euro	2007 - 2013
Europa heeft in KP7 een budget gereserveerd voor nanotechnologie van 3,48 miljard euro voor de periode van 2007 - 2013. De eerste jaren zal het budget vergelijkbaar zijn met dat van KP6, daarna loopt het op tot anderhalf maal zoveel als in KP6. Nanotechnologie onderwerpen vinden we vooral terug in de KP7-thema's 'Nanosciences, Nanotechnologies, Materials and New Production Technologies', 'Health' en 'ICT'. In de beschrijvingen van de thema's ligt er een sterke nadruk op toepassingsgericht, maatschappelijk c.q. economisch gedreven onderzoek door consortia van bedrijven en kennisinstellingen, waarbij er ook een beperkte ruimte is voor basisonderzoek. Daarnaast is er voor basisonderzoek (ongeacht het onderwerp) de European Research Council (ERC) binnen KP7. Integratie van technologieën voor industriële toepassingen wordt expliciet genoemd als thema. Betrokkenheid van het MKB en disseminatie van R&D-resultaten naar het MKB blijft een belangrijk aandachtspunt in het Kaderprogramma. Van belang voor "Nanomedicine" is het ETP Nanomedicine, waarin Europese bedrijven en academische instellingen de krachten hebben gebundeld onder aanvoering van Philips en Siemens. Andere voor nanotechnologie relevante ETP's zijn ENIAC, Photonics 21 en Artemis. ENIAC (nanoelectronics) en ARTEMIS (embedded computing systems) zijn inmiddels Joint Technology Initiatives geworden, met Nederlandse co-financiering via Point-One.		
Duitsland	700 M€	2006-2009
Duitsland besteedt veel aandacht aan fundamenteel onderzoek via de Deutsche Forschungsgemeinschaft. Dit onderzoek is voornamelijk gedreven door nieuwsgierigheid en staat los van politieke en economische keuzes. Vraaggestuurd onderzoek wordt ondersteund door het Duitse Nationale Nano Initiatief (gepubliceerd in het najaar van 2006). Hierdoor is er een goede balans tussen fundamenteel onderzoek en onderzoek dat is gericht op de nationale sterktes. Het Duitse Nationale Nano Initiatief, gesteund door zes federale ministeries, heeft tot doel Duitsland ook op lange termijn innovatief en welvarend te houden. Nanotechnologie wordt gezien als de methode om economische groei te bewerkstelligen. Op basis van een mix van economische en maatschappelijke factoren zijn zes onderwerpen gekozen. Deze onderwerpen vormen strategische samenwerkingsverbanden om in te kunnen springen op nieuwe ontwikkelingen in de toekomst. De zes onderwerpen zijn: elektronica, automobiellandbouw, chemie, medicijnen, lichttechniek en energie. Milieu, gezondheidszorg en machine- en installatiebouw zijn mogelijke toekomstige thema's.		
Frankrijk	150 M€	Per jaar
In navolging van de VS en Japan richtte Frankrijk in 2002 een commissie op om het nanotechnologisch onderzoek beter te coördineren. In het kader van het Nationale Wetenschapsprogramma werd in 2005 het Programme National en Nanosciences et Nanotechnologies (PNANO) gelanceerd en 5 Centers op het gebied van nanotechnologie opgericht. Naar schatting zijn 2000 onderzoekers in 180 laboratoria werkzaam op het gebied van nanotechnologie. Jaarlijks budget is meer dan 150 M€		
Engeland		
Engeland heeft sterke groepen op de gebieden nano-elektronica, nanofotonica, en moleculaire nanotechnologie. Financiële impulsen gaan met name via de diverse Research Councils. Dit heeft geleid tot drie 'Interdisciplinary Research Collaborations' op nanotechnologiegebied: bio-nanotechnologie in de combinatie Oxford-Glasgow-York samen met het National Institute for Medical Research, materialen in de combinatie Cambridge- Bristol-University College London, en 'tissue engineering' in de combinatie Liverpool-Manchester. Daarnaast zijn er ook andere grootschalige initiatieven gericht op de industrie en de samenwerking academia-industrie, resulterend in tientallen 'Nanotechnology Centres' en het 'Institute of Nanotechnology'.		

Zwitserland		
Zwitserland was een van de eerste landen die - via federale funding - investeerde in nanotechnologie. De nadruk ligt met name op investeringen in excellent onderzoek. Investerings hebben onder andere geleid tot drie 'National Centres of Competence in Research', met materiaalwetenschappen in Genève, algemene nanowetenschappen in Basel en nano optica in Lausanne. Daarnaast zijn er ook andere initiatieven op het gebied van elektronica, informatie en communicatie en supramoleculaire functionele materialen. Ook in Zwitserland krijgt de discussie rondom veiligheid en risico's van nanodeeltjes nadrukkelijk aandacht via diverse actielijnen.		
Rusland	>3,7 miljard €	
De regering heeft eind 2007 een overheidsinvestering in de nanotechnologie aangekondigd van. Vanuit dit fonds zullen diverse activiteiten worden ondersteund: van fundamenteel onderzoek tot start-ups. Een belangrijk gedeelte van het fonds wordt gebruikt om de infrastructuur binnen Rusland te moderniseren. Dit bedrag komt boven de gebruikelijke onderzoeksstimulering van onderzoek.		
Verenigde Staten		
In 2001 hebben de VS een National Nano Initiative opgezet. De doelstellingen zijn: excellent onderzoek, benutten van kennis voor welvaart en welzijn, het creëren van een hoog opgeleid arbeidspotential en verantwoorde ontwikkeling van nanotechnologie. Het beeld is dat de kansen die nanotechnologie biedt het beste benut kunnen worden door samenwerking van academia, industrie en de overheid in een groot nationaal programma. Het Amerikaanse National Nano Initiative zet in op de volgende zeven onderwerpen: (1) fundamentele nanoschaalverschijnselen en -processen; (2) nanomaterialen; (3) nanoschaal devices en systemen; (4) instrumentatie, metrologie en standaardisatie; (5) nano-fabricage en -productie; (6) grote onderzoeksfaciliteiten en infrastructuur; (7) maatschappelijke impact van nanotechnologie. Zie ook bijlage 1.		
Canada		
Canada heeft in 2001 het National Institute for Nanotechnology (NINT) opgericht. De focus van het in Alberta gevestigde instituut ligt op integratie, het combineren van nano-devices en materialen in complexe nanosystemen die verbonden zijn met de buitenwereld. Het onderzoek is gericht op: (1) Synthese en karakterisatie van nano-kristallen en nano-draden; (2) Synthese van op supramoleculen gebaseerde materialen; (3) Het op moleculaire schaal maken van devices en nano-sensoren; (4) Ontwikkeling van nano-materialen geschikt voor katalyse en specifieke modificaties aan halfgeleider-oppervlakken; (5) Ontwikkeling van interfaces voor nano-elektronica en nano-fluidics devices; (6) Theorie, modellering en simulatie van nano-systemen en (7) Ontwikkeling van kwantitatieve imaging en karakterisatie technieken die nanotechnologie onderzoek ondersteunen.		

Japan		
In het kader van het Tweede Wetenschap en Technologie Basisplan heeft Japan in 2001 drie nationale beleidslijnen geïmplementeerd. In de eerste beleidslijn wordt het fundamenteel onderzoek geïntensiveerd. Daarbinnen zijn de onderwerpen gekozen op basis van de maatschappelijke en economische behoeften. Hierbij speelt het thema 'nanotechnologie voor materialen' een belangrijke rol. Om excellent onderzoek mogelijk te maken en te benutten staat in de tweede beleidslijn het financieringssysteem van wetenschap en techniek en de bemensing centraal. De derde beleidslijn, tenslotte, gaat over de internationalisering van wetenschap en techniek door middel van internationale samenwerkingsprojecten en het verbeteren van de verspreiding van informatie. Voor de uitvoering van deze beleidslijnen is gekozen voor een top-down coördinatie waarbij de beschikbare middelen selectief worden toegekend op basis van excellentie en nationale prioriteit. Daarnaast heeft de massaliteit in het hoger onderwijs ertoe geleid dat er een differentiatie is gemaakt in universiteiten die zich meer op onderwijs richten of juist op onderzoek.		
China		
Ook China steekt steeds meer middelen in onderzoek en ontwikkeling van nanotechnologie, hierdoor zijn er momenteel meer dan 50 universiteiten, 20 instituten van de China Academy of Science en 300 ondernemingen actief op dit terrein. Op dit moment wordt een centrum voor nanotechnology gerealiseerd aan University of Beijing en Tsinghua University met een totale overheidsinvestering van 500 M\$. Andere centra's zijn in Shenyang, Xian, Hong Kong en Zhejiang provincie. Het Shanghai Nanotech Promotion Center (SNPC) heeft een budget van 100 M\$/jaar.		

Bijlage 5: Workshops Nederlands Nano Initiatief

De regering 'Balkenende III' heeft in november 2006 een Kabinetsvisie Nanotechnologieën 'Van klein naar groots' uitgebracht. De visie wordt ondersteund door negen Ministers (Economische Zaken; Onderwijs, Cultuur en Wetenschap; Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer; Volksgezondheid, Welzijn en Sport; Binnenlandse Zaken en Koninkrijkrelaties; Justitie; Sociale Zaken en Werkgelegenheid; Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit; Financiën).

Voor wat betreft een onderzoeksagenda staat er in deze Kabinetsvisie: 'Voor het opstellen van een nationale onderzoeksagenda nanotechnologieën heeft het kabinet behoefte aan afgewogen en beredeneerde visies en voorstellen van gezaghebbende organisaties en bedrijven en van onderzoekers van onbetwiste internationale reputatie. In dit verband is het initiatief van STW, FOM en het Bsik-project NanoNed om een Nationaal [nu Nederlands] Nano Initiatief te ontwikkelen interessant. Doel van dit initiatief is het opstellen van een strategische brede onderzoeksagenda. Het kabinet zal de ontwerpers van het initiatief vragen om in deze onderzoeksagenda ook aandacht te besteden aan de vervulling van belangrijke voorwaarden om goed onderzoek te verrichten zoals opleidingen, infrastructuur, en aan risico-onderzoek.'

In de Kabinetsvisie staat ook de volgende passage: 'De initiatiefnemers van het Nationaal [nu Nederlands] Nano Initiatief hebben aangegeven de inzichten van relevante kennisinstellingen, industrie en maatschappelijke organisaties te willen samenbrengen.'

Als eerste stap is een Nederlands Nano Initiatief (NNI) discussienotitie opgesteld. Hierin zijn de - ook in de Kabinetsvisie genoemde - thema's beschreven waar het NNI zich op wil richten: 1) 'beyond Moore'; 2) 'nanomedicine'; 3) 'functionele nanodeeltjes en nanogestructureerde oppervlakken'; 4) 'waterzuivering en energievoorziening'; 5) 'voedsel en gezondheid'; 6) 'risico's en toxicologie van nanotechnologie'.

Vervolgens zijn in september 2007 een 7-tal (thematische) workshops georganiseerd, die allen onder leiding stonden van 2 expert-workshopleiders. In overleg met de workshopleiders, en de directeurs van STW en FOM en de voorzitter van NanoNed zijn deelnemers uit zowel de academische wereld als uit het bedrijfsleven uitgenodigd; voor zover relevant zijn ook maatschappelijke organisaties betrokken. De NWO-gebiedsbesturen van CW, ALW en ZonMW zijn gevraagd wie zij namens hen naar deze workshops willen afvaardigen. Deze gebieden zijn tevens verzocht om suggesties te doen voor inhoudelijke experts (uit zowel academia als bedrijfsleven). Doelstelling van de workshops was om een basis te leggen voor een inhoudelijke invulling van de NNI Strategische Research Agenda Nanotechnologie. Overzicht van de NNI SRA Nanotechnologie workshops (deelnemerslijsten, zie bijlage):

Workshop	Workshop leiders	Aantal experts
beyond Moore (nano-electronics)	Prof. Koopmans (TU/e) Prof. DeBoeck (Holst Centre)	20
Functional nano-particles and nano-structured surfaces	Dr. Visser (DSM) Prof. Blank (UT)	25
NanoMedicine	Prof. Subramaniam (UT) Prof. Hofstraat (Philips)	36
Nanotechnology for energy provision	Prof. Sinke (ECN) Dr. Geerlings (Shell)	28
Nanotechnology for water purification	Dr. Euverink (Wetsus) Dr. Caro (TUD)	20
Nanotechnology for food and health	Prof. Kampers (WUR) Dr. Gorter (Qanbridge)	24
Risks and toxicology of nanotechnology	Dr. Sips (RIVM) Dr. Van de Sandt (TNO)	30

Op basis van de workshops is een volgende stap gezet in het formuleren van de NNI Strategische Onderzoeksagenda Nanotechnologie. Begin januari 2008 hebben de NNI-workshopleiders en workshop-deelnemers input kunnen geven op een concept NNI-onderzoeksagenda (waarbij ook diverse andere nano-geïnteresseerden hebben gereageerd). Een aparte vervolgsessie met de NNI-workshopleider, mede in aanwezigheid van de directeuren van STW en FOM en de voorzitter van NanoNed, heeft in april 2008 plaatsgevonden.

Begin maart is overlegd over de onderzoeksagenda tussen de directeuren van STW en FOM en de voorzitter van NanoNed namens de NNI-partijen en verschillende vertegenwoordigers van bedrijven (w.o. Phillips, Shell, Unilever, DSM, NXP, FEI Company, Bronkhorst High-Tech, C2V). Tevens hebben er nog afzonderlijke gesprekken plaatsgevonden met Philips, ASML (tevens Point-One vertegenwoordigend) en TNO Industrie en Techniek, DSM en NXP. Het Kabinet heeft, aansluitend aan de in november 2006 verschenen Kabinetsvisie Nanotechnologie 'Van Klein naar Groots', in juli 2008 het Actieplan Nanotechnologie naar de Tweede Kamer gestuurd. In het Actieplan van het Kabinet wordt ook kort aandacht besteed aan mogelijke financieringsopties voor de opvolging van het, door de Commissie van Wijzen als succesvolle aangemerkte, Bsik-programma NanoNed, respectievelijk het Nederlands Nano Initiatief dat STW, FOM en NanoNed op verzoek van het Kabinet opstellen. Dit vervolgvorstel van NanoNed/NNI, dat een businessplan-achtig format zal hebben, wordt gebaseerd op de voorliggende Strategische Research Agenda Nanotechnologie van het Nederlands Nano Initiatief.

STW, FOM en NanoNed hebben gedurende het hele proces regelmatig en intensief contact met de interdepartementale werkgroep Nanotechnologieën, met name met drs. Jacqueline Mout (OCW), ir. Fred Couzy (EZ) en dr. Tom van Teunenbroek (VROM) en met dr.ir. Lianne van Doeswijk (SenterNovem).

In dit overleg hebben partijen elkaar geïnformeerd over de ontwikkelingen in het NNI (opstellen van de onderzoeksagenda) en de ontwikkelingen aan kabinetszijde (opstellen tweede actieplan Nanotechnologieën) en de aandachtspunten voor de verdere stappen besproken.

Overzicht deelnemers NNI-workshops

Beyond Moore

	Name	Company / University
1	Dr. A.G.T.M. Bastein	TNO Science & Industry
2	Prof.dr.ir. P.W.M. Blom	University of Groningen
3	S.H. Brongersma	IMEC
4	Dr. L.H. Gielgens	Technology Foundation STW
5	Dr. R.A. Hartman	ASML Netherlands B.V
6	Dr. A.F. de Jong	FEI Company
7	Prof.dr. B. Koopmans	Eindhoven University of Technology
8	Prof.dr.ir. L.P. Kouwenhoven	Delft University of Technology
9	Drs. J.N. Mout	Ministry of Education, Culture and Science
10	Dr. B. Noheda	University of Groningen
11	Drs. W. Pelt	Ministry of Defence
12	Prof.dr. Th.H.M. Rasing	Radboud University Nijmegen
13	Dr.ir. D. Reefman	Philips Research Laboratories
14	Prof.dr. J.M. van Ruitenbeek	University of Leiden
15	Dr. K. Simon	ASML
16	Prof.dr. W.L. Vos	University of Twente
17	Prof.dr.ir. B.J. van Wees	University of Groningen
18	Dr.ir. W.G. van der Wiel	University of Twente
19	Dr. M. Zachariasse	FOM
20	Prof.dr.ir. H.S.J. van de Zant	Delft University of Technology

Functionele nano-materialen and nano-gestructureerde oppervlakken

	Name	Company / University
1	Prof.dr. A. van Blaaderen	University of Utrecht
2	Prof.dr. D.H.A. Blank	University of Twente
3	Prof.dr. M.A. Cohen-Stuart	Wageningen University
4	Prof.dr. R. Coehoorn	Philips Research
5	Dr. M. Crego-Calama	Holst Centre
6	Dr. E.P.K. Currie	Kriya Materials B.V.
7	Dr.ir. L.J.M.G. Dortmans	TNO
8	Prof.dr. J.W.M. Frenken	University of Leiden
9	Prof.dr. K.J. Hellingwerf	University of Amsterdam
10	Dr A.J. de Jong	Akzo Nobel
11	De heer Gert Jan Jongerden	Nuon Helianthos

12	Dr. P.E. de Jongh	University of Utrecht
13	Prof.dr. H.N.W. Lekkerkerker	University of Utrecht
14	Prof.dr. A. Meijerink	University of Utrecht
15	Dr.ir. E.E. Neuteboom	NWO
16	Dr E.G. Pelan	Unilever R&D
17	Dr. Andreas Schmidt-Ott	Delft University of Technology
18	Prof.dr. J. Schoonman	Delft University of Technology
19	Dr. V.A. Soloukhin	Océ-Technologies B.V.
20	Prof.dr. V. Subramaniam	University of Twente
21	Prof.dr. D.A.M. Vanmaekelberg	University of Utrecht
22	Dr. G.W. Visser	DSM Research
23	Dr. R. Wagemans	Shell
24	Prof.dr.ir. B.M. Weckhuysen	University of Utrecht
25	Dr. M. Zachariasse	FOM
26	Dr. L.H. Gielgens	Technology Foundation STW

NanoMedicine

	Name	Company / University
1	Prof.dr.ir. F.P.T. Baaijens	Eindhoven University of Technology
2	Dr. E.P. Beem	ZonMw
3	Prof.dr. C.A. van Blitterswijk	Isotis NV
4	Prof.dr.ir. P.W.M. Blom	University of Groningen
5	Prof.dr. J.A. Bouwstra	University of Leiden
6	Prof.dr. D.J. Broer	Philips Research Laboratories
7	Dr. M. van Bruggen	Philips Research Laboratories
8	Dr. E.T. Carlen	University of Twente
9	Prof.dr. D.J.A. Crommelin	University of Utrecht
10	Peter Cuypers	DSM Research
11	Prof.dr. C. Dekker	Delft University of Technology
12	Prof.dr. G.A.M.S. van Dongen	Vrije Universiteit Medisch Centrum
13	Dr. P.H. Elsinga	Rijksuniversiteit Groningen
14	Prof.dr. C.G. Figdor	Universitair Medisch Centrum St. Radboud Nijmegen
15	Dr. L.H. Gielgens	Technology Foundation STW
16	Dr. B. Henry	Organon Research Scotland
17	Dr. J.D.M. Herscheid	Vrije Universiteit Amsterdam
18	Prof.dr. J.W. Hofstraat	Philips Research Laboratories
19	Drs. N. Honingh	ZonMw
20	Dr.ir. C.I.A. Hooijer	FOM bureau
21	Dr. L.G.J. de Leede	OctoPlus

22	Prof.dr. J.P.T.M. Leeuwen	Erasmus Universiteit Rotterdam
23	Prof.dr. P.R. Lijten	University of Utrecht, UMC
24	Dr.ir. E.E. Neuteboom	NWO
25	Prof.dr. R.J.M. Nolte	Radboud Universiteit Nijmegen
26	Prof.dr.ir. M.W.J. Prins	Philips Research Laboratories
27	Prof.dr. R.S. Reneman	University of Maastricht
28	Dr. I.S. de Ridder	NWO
29	Prof.dr. A. Rip	University of Twente
30	Prof.dr. G. Storm	University of Utrecht
31	Prof.dr. V. Subramaniam	University of Twente
32	Dr. T.E. Swierstra	University of Twente
33	Prof.dr. E.M.J. Verpoorte	University of Groningen
34	Drs. J.B. van den Wijngaard	VWS
35	Ir. J.M. Wissink	Medspray XMEMS B.V.
36	Dr. M. Zachariasse	FOM bureau

Nanotechnologie voor energievoorziening

	Name	Company / University
1	Dr. G.J. Bauhaus	Radboud Universiteit
2	Prof.dr. Blom	RuG
3	Dr. B. Dam	Vrije Universiteit
4	Dr. J.J.C. Geerlings	Shell Global Solutions
5	Dr. L.H. Gielgens	STW
6	Dr. A.P.L.M. Goossens	Technische Universiteit Delft
7	Prof.dr. H.J.M. de Groot	LIC/Biofysische organische chemie
8	Dr. W.G. Haije	ECN
9	Prof.dr. K.P. de Jong	Universiteit Utrecht
10	Dr. G.J. Jongerden	Helianthos
11	Dr.ir. W.M.M. Kessels	Technische Universiteit Eindhoven
12	Dr. M. Koetse	Holst Centre / TNO
13	Dr. J.M. Kroon	ECN
14	Prof.dr.ir. L. Lefferts	Universiteit Twente
15	Drs. J.N. Mout	Ministerie OCW
16	Dr. F.M. Mulder	Technische Universiteit Delft
17	Dr.ir. E.E. Neuteboom	NWO
18	Prof.dr.ir. A. Nijmeijer	Universiteit Twente
19	Prof dr P.H.L. Notten	Technische Universiteit Eindhoven
20	Prof.dr. A. Polman	AMOLF
21	Prof.dr. C. van Rijn	WUR Organische Chemie

22	Prof.dr. R.E.I. Schropp	Universiteit Utrecht
23	Prof.dr. L.D.A. Siebbeles	Technische Universiteit Delft
24	Prof.dr. W. Sinke	ECN
25	Dr.ing. P.J. Sonneveld	WUR Glastuinbouw
26	Prof.dr. D.A.M. Vanmaekelberg	Universiteit Utrecht
27	Prof.dr. H.J. Veringa	ECN
28	Dr. M. Zachariasse	FOM

Nanotechnologie voor schoon water

	Name	Company / University
1	Dr. A. van Amerongen	WUR
2	Dr. J. Caro	TU Delft
3	Dr. G.J.W. Euverink	Wetsus
4	Dr.ir. H. Futselaar	Xflow
5	De heer B. van der Gaag BSc	Kiwa Water Research
6	Dr. L.H. Gielgens	STW
7	Dr. B. Gottenbos	Philips Research
8	Prof.dr.ir. J. Huskens	Universiteit Twente
9	Drs. A.E. Jansen	TNO
10	Prof.dr.ir. F.A.M. Leermakers	WUR
11	Ir. H. Leeuwis	Lionix B.V.
12	Dr. S.G. Lemay	TU Delft
13	Drs. J.W. Lenstra	Min. VROM
14	Prof.dr.ir. M.C.M. van Loosdrecht	TU Delft
15	Dr.ir. M.J.J. Mayer	Wetsus
16	Dr. R. Mulder	Paques b.V.
17	Dr.ir. W. Olthuis	Universiteit Twente
18	Dr. C.J.M. van Rijn	Aquamarijn Microfiltration BV
19	Dr. M. Zachariasse	FOM
20	Prof.dr. H. Zuilhof	WUR

Nanotechnologie voor waterzuivering en voedsel & gezondheid

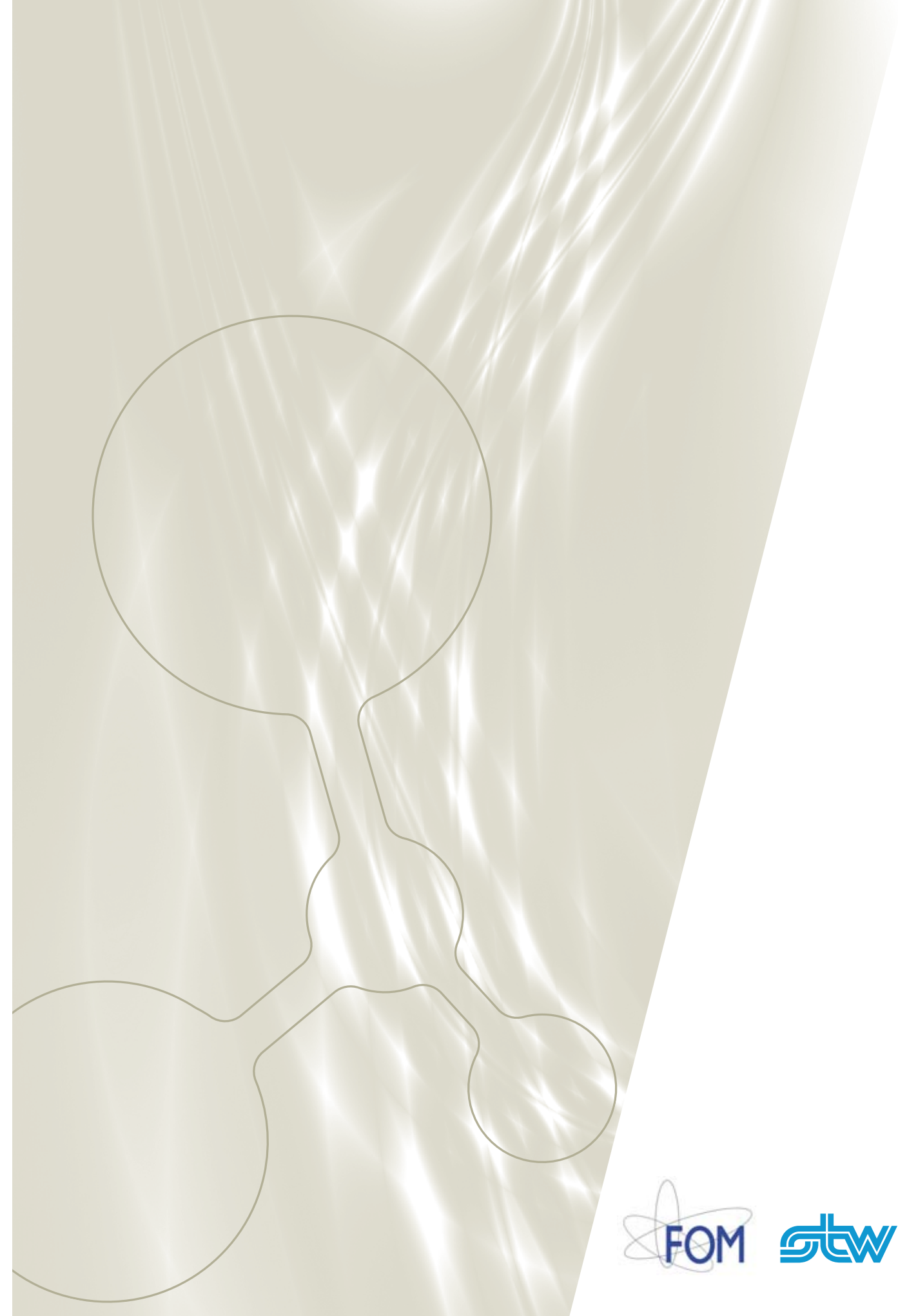
	Name	Company / University
1	Prof.dr. W. G. van Aken	ZonMw
2	Dr.ir. J.O. de Boer	ZonMw
3	Dr. R. Bos	Friesland Foods
4	Dr.ir. H. Boumans	TNO-Quality of Life
5	Dr.ir. J. Castenmiller	Food and Consumer Product Safety Authority (VWA)
6	Prof.dr. D. Crommelin	Top Institute Pharma

7	Dr. J.C.T. Eijkel	University of Twente
8	Dr. L.H. Gielgens	Technology Foundation STW
9	Prof. dr. R.J. Hamer	Wageningen University and Research Centre
10	Dr.ir. P. van Hee	DSM Food Specialties
11	Prof.dr.ir. J.C.M. van Hest	Radboud Universiteit Nijmegen
12	Dr. P. de Jong	NIZO Food Research
13	Ir. H. Leeuwis	LioniX
14	Prof.dr. J. Maat	Unilever
15	Dhr. P.R. Pekelharing	Spencer Food
16	Dr.ir. C.J.M. van Rijn	Wageningen University and Research Centre
17	Prof.dr. G. Th. Robillard	BioMade Technology
18	Ir. F. Simonis	TNO Eindhoven
19	Dr.ir. T.H.M. Snoeren	Numico Research B.V.
20	Dr. J.M. Steijns	Campina
21	Dr. J.W. Tas	Ministry of Health, Welfare and Sport
22	Prof.dr.ir. J. Westerweel	Delft University of Technology
23	Dr. M. Wösten	University of Utrecht, Faculty of Veterinary Medicine
24	Dr. M. Zachariasse	FOM

Risico's en toxicologie van nanotechnologie

	Name	Company / University
1	Ir. D. van Aken	Voedsel en Waren Autoriteit
2	Dr. G. Alink	Wageningen UR
3	Drs. J.A. van den Bandt-Stel	VNO-NCW
4	Dr. E.P. Beem	ZonMW
5	Dr. P.J.A. Borm	Hogeschool Zuyd
6	Dr.ir. H. Bouwmeester	RIKILT - Instituut voor Voedselveiligheid
7	Drs. P. van Broekhuizen	IVAM
8	Dr.ing. D.H. Brouwer	TNO Zeist
9	Dr. C. Herberts	RIVM
10	Dr.ir. R.F.M. van Gorcom	RIKILT - Instituut voor Voedselveiligheid
11	Mr. H. van Heiningen	Océ N.V.
12	Mevr. M. Jacobs	Vereniging Leefmilieu
13	Dr. J. Arts	TNO Quality of Life
14	Dr. J. Marra	Philips Research Laboratories
15	Prof.dr.ir. D. van de Meent	Radboud Universiteit Nijmegen
16	Drs. S.J.G. Rientjes	Stichting Natuur en Milieu
17	Dr. J.J.M. van de Sandt	TNO Zeist

18	Dr. A.J.A.M. Sips	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
19	Prof.dr. V. Subramaniam	Universiteit Twente
20	Drs. T. van Teunenbroek	Min-VROM
21	Ir. P.H.M. Timmermans	FNV Bondgenoten
22	Dr.ir. G.W. Visser	DSM Research B.V.
23	Drs. J.B. van den Wijngaard	VWS
24	Dr. M. Zachariasse	FOM-Bureau
25	Dr. M. van Zijverden	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
26	Dr. M.E.Butter	Coordinator Platform Gezondheid en Milieu
27	Dr. E. Mastrobattista	Universiteit Utrecht
28	Dr. H. Lichtenbeld	Nanotox
29	Dr. C. Mombers	Technologiestichting STW
30	Dr. L.H. Gielgens	Technologiestichting STW / NanoNed



Interfaces in oxidische nanodevices

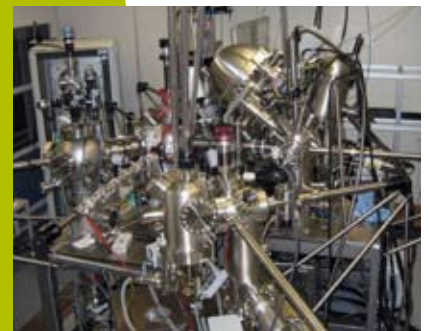
Dave H.A. Blank

Oxides, vooral perovskiten, beginnen een zeer belangrijke rol in elektronische nano-devices te spelen. Dit komt mede omdat deze materialen verschillende eigenschappen kunnen hebben, zoals piezo-effect, ferroelectriciteit, magnetisme, supergeleiding, etc. Tegenwoordig is het mogelijk om deze eigenschappen op nanoscale precisie te controleren. De verschillende oxides hebben een kristalstructuur die niet veel van elkaar verschilt. Daardoor is het mogelijk om ze te combineren door ze op elkaar te stapelen. De nieuwe gemaakte materialen kunnen eigenschappen hebben die een combinatie is van de eigenschappen van de individuele materialen of juist compleet nieuwe eigenschappen krijgen.

Naast deze eigenschappen van de bulkmaterialen blijkt het interface tussen de materialen ook verrassende eigenschappen te hebben. Studies aan zo'n interface hebben aangetoond dat het interface tussen twee niet geleidende materialen geleiding oplevert. Hetzelfde geldt voor twee niet-magnetische materialen die een magnetisch effect laten zien aan het interface.

Om gebruik te maken van deze effecten in nieuwe devices is apparatuur nodig die deze materialen met atomaire precisie op elkaar kan stapelen. Vragen die opgelost moeten worden is de chemische binding tussen de materialen, de atomaire structuur en hoe het oppervlak eruit ziet. Binnen NanoNed is apparatuur ontwikkeld en gerealiseerd om dergelijke materialen te kunnen stapelen en vervolgens de verschillende eigenschappen te bepalen. In de figuur is een afbeelding van het systeem te zien. De materialen worden gedeponereerd door middel van gepulste laser depositie. Het systeem heeft ook apparatuur om de chemische elementen en hun bindingen te bestuderen. Daarnaast is een AFM en STM aan het systeem gekoppeld die bij zowel bij lage als hoge temperaturen het oppervlak op atomaire precisie in kaart kan brengen.

*Depositiesysteem
voor het atomaire
stapelen van lagen*





B

BioNanotechnologie

Cees Dekker, Nynke Dekker

Voor de ontwikkeling van bionanotechnologie zullen nieuwe paden ingeslagen moeten worden. Het onderzoek moet zich richten op de synthetische biologie en het grensvlak tussen nanotechnologie en biologie. Synthetische biologie is een nieuwe onderzoeksrichting waarin een cel gezien wordt als een systeem bestaande uit “bio-bouwstenen”. Het sleutelen aan deze systemen is nu mogelijk door onze kennis van de biologie, moleculaire biologie en biochemie. Met behulp van de synthetische biologie is het mogelijk om kunstmatige netwerken in cellen te maken.

Eén van de ideeën is om onderdelen van de cel of zelfs (gedeeltelijke) artificiële cellen te maken. Hierdoor kunnen bijvoorbeeld bacteriën worden gemodificeerd zodat ze waterstof kunnen produceren. Benodigde infrastructuur voor synthetische biologie zijn laboratoria voor celgroei, apparaten voor DNA - ordening en fabricatie faciliteiten.

Nieuwe apparaten voor de bionanotechnologie moeten worden ontwikkeld. Apparatuur die (zacht) biomateriaal op nanometer schaal kan meten is nodig. Hierbij moet worden gedacht aan optisch en magnetisch pincetten en fluorescentie spectroscopie die veranderingen in biomoleculen kunnen waarnemen. Deze technieken en de huidige ontwikkelingen op sub-celniveau gaan hand in hand met de ontwikkelingen van de microscopie. Zo is het mogelijk afbeeldingen met een extreem hoge resolutie te maken.

De ontwikkeling van meetapparatuur voor nanodeeltjes en nanosensoren zullen een impuls geven op het gebied van de bionanowetenschappen. Een belangrijke toepassing van de bionanowetenschappen is de nanomedicine. Nanosystemen met toepassingen in therapie, diagnostiek en waarneming kunnen worden ontwikkeld. Daarnaast is het gebruik van specifieke label-moleculen noodzakelijk. Hiervoor is het nodig om alle interacties in een molecuul precies te begrijpen. Vervolgens zal het onderzoek zich moeten richten op het bouwen en ontwerpen op moleculair niveau en het ontwikkelen van bioafgeleide materialen.

Voortgang in nanofabricatie, zoals het maken van nanokanalen, worden toegepast in de biomoleculaire analyse. Een voorbeelden hiervan is “lab on a chip”. Nanotechnologie kan ook een impuls geven aan de ontwikkeling van gevoelige elektrochemische apparaten en het beïnvloeden van bacteriën op een chip.

*Artist's impressie van
een bionanostructuur*





Het verbinden van nanosystemen met de macrowereld **Miko Elwenspoek**

Micro-elektromechanische systemen (MEMS) spelen een belangrijke rol in de nanotechnologie. Met MEMS is het mogelijk om structuren te maken op nanometer schaal, ook al heeft fotolithografie dimensies in de micrometer schaal (zie figuur 1). MEMS zijn dan ook onmisbaar voor het verbinden van de nanowereld met de macrowereld. Met behulp van MEMS kunnen nieuwe, functionele nanoapparaten worden ontworpen en gemaakt.

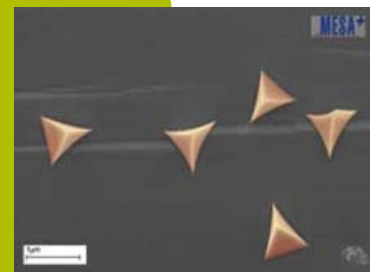
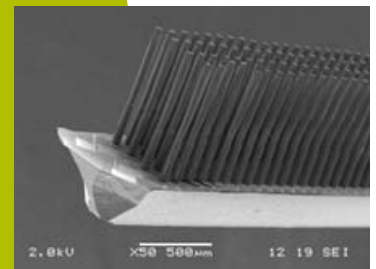
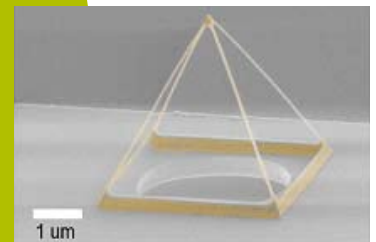
Door middel van MEMS kunnen zeer gecompliceerde structuren worden gemaakt: aan elkaar verbonden, functionele nanosystemen die vergelijkbaar zijn met materialen, structuren en systemen die voorkomen in de natuur. Als voorbeeld in figuur 2 een trekkracht sensor gebaseerd op de akoestische detectie die insecten gebruiken. Het verkrijgen van de technologie om drie dimensionale structuren te maken zou een grote stap voorwaarts zijn. Een manier om dit te doen is door gebruik te maken van zelf ordenende micro- en/of nano-bouwstenen. Een voorbeeld van deze bouwstenen is weergegeven in figuur 3. Het onder de knie krijgen van deze technologie maakt het mogelijk om nieuwe functionele materialen te maken. Hierbij moet gedacht worden aan nieuwe fotonische kristallen, drie dimensionale geheugencellen en drie dimensionale computerchips.

De benodigde instrumentatie om deze ontwikkelingen te bewerkstelligen kunnen worden ingedeeld in drie categorieën. Ten eerste is er apparatuur nodig om nanostructuren te maken. Vervolgens zijn er apparaten nodig om de nanostructuren te kunnen bekijken. Ten slotte zijn er apparaten nodig die de fysische eigenschappen van de nanostructuren kunnen meten.

1. Resultaat van 3D-lithografie

2. Trekkracht sensor

3. Bouwstenen voor supermaterialen





Verbinding van de biowereld met de wereld van de synthetische materialen **Ben Feringa**

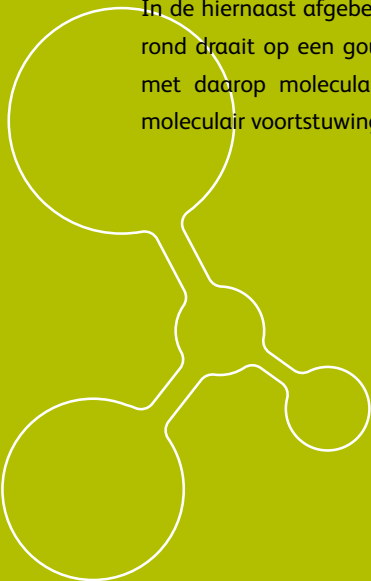
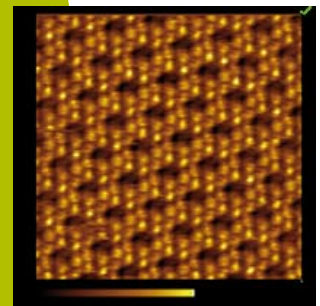
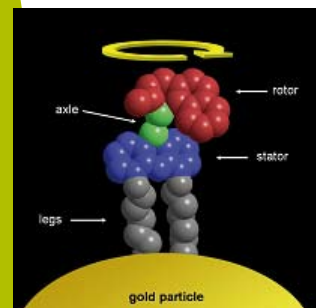
Op dit moment zijn er meerdere veel voorkomende ziektes wereldwijd die onvoldoende behandeld kunnen worden, zoals kanker en HIV. Nieuwe benaderingen zijn daarom zeer gewenst. Bionanotechnologie is een innovatieve methode die deze uitdaging aan kan. Het combineert van chemisch ontwerp en synthese, moleculaire biologie en materiaalkunde.

Deze methodologie levert de mogelijkheid om deze ziektes in-vivo op te sporen en te beïnvloeden op moleculair niveau. Dit leidt tot fascinerende mogelijkheden. Processen in de cel kunnen worden beïnvloed, medicijnen kunnen gecontroleerd afgeleverd worden in het lichaam en biocompatibele implantatiematerialen kunnen worden ontwikkeld.

Om dit te bereiken, moeten onderzoekers de komende decennia letterlijk een brug bouwen tussen de “biowereld” en de “wereld van synthetische materialen”. Apparaten die gebaseerd zijn op een combinatie van eiwitten en DNA gerelateerde materialen en synthetische nano-materialen zullen gemaakt moeten worden. Dit zal vervolgens oneindig veel mogelijkheden opleveren, zoals: het detecteren van defecten op celniveau door middel van nanorobots, sterk verbeterde medicijntoevoersystemen op nanoschaal of materialen die de celgroei en adhesie kunnen controleren.

In de hiernaast afgebeelde figuren staan weergegeven: een moleculaire motor die rond draait op een gouden oppervlak (boven), een nanogestructureerd oppervlak met daarop moleculaire motoren (midden) en een op nanoschaal autonoom moleculair voortstuwingsysteem dat glucose als brandstof gebruikt (onder).

1. *moleculaire motor*
2. *oppervlak met motoren*
3. *moleculair voortstuwingsysteem*





Kwantum informatica

Leo Kouwenhoven, Lieven Vandersypen

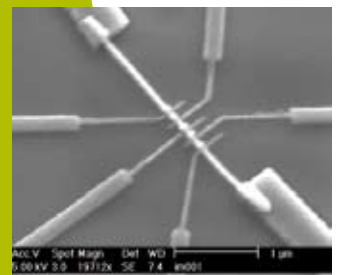
De ontwikkeling van de kwantuminformatica is essentieel om de uitdagende concepten uit de nanoelektronica en nano-optica te realiseren. Deze concepten zullen bijvoorbeeld tot geavanceerdere mobiele telefoons en computers leiden.

Typische materialen die hiervoor gebruikt kunnen worden zijn koolstof nanodraden en nanobuisjes. Om dit te bewerkstelligen zijn geavanceerde materiaalgroei en karakterisatie faciliteiten nodig.

Nanodraden en nanobuisjes zijn ook veelbelovend voor de ontwikkeling van nanoelektrische en nanomechanische systemen. Hierbij kan gedacht worden aan ultra-gevoelige gassensoren die zelfs een enkel molecuul kunnen detecteren. Verder kunnen gefunctionaliseerde kristallen leiden tot efficiëntere zonnecellen door de bijzondere optische eigenschappen die deze kristallen bezitten. Tevens kunnen deze kristallen gebruikt worden als fluoriserend label / tracer in vele biomedische toepassingen en nano-LEDs. Daarnaast worden organische-anorganische en anorganische-biologische samengestelde structuren ontwikkeld.

Voor dit onderzoek zijn materiaalgroei en karakterisatie faciliteiten toegespitst op nanodraden en functionele bouwstenen nodig om een specialistische en hoogwaardige infrastructuur te creëren.

1. *Gekoppelde kwantumdots in een 2DEG*
2. *Nanodraad kwantumdots*





Ontwikkelen van complexe moleculaire systemen **Bert Meijer**

Ons onderzoek richt zich op de intrigerende mogelijkheden die synthese van functionele, geordende polymersystemen biedt. Op dit moment zijn polymeerchemici nog beperkt tot de simpele moleculen die gemakkelijk ordenen.

Echter, de natuur kent een variëteit van mechanismes die zowel kleine als grote complexe moleculen kunnen ordenen. De huidige syntheses bestaan uit het eenvoudig mengen van de materialen onder standaard druk en temperatuur. In de natuur vinden dit soort processen juist ver van het natuurlijk evenwicht plaats. Om kunstmatige systemen te verkrijgen met de zelfde toepassingsmogelijkheden als de natuurlijke systemen, moet naar nieuwe syntheses worden gezocht. Het maken en gebruiken van geordende chemische en biologische complexen die ver buiten het evenwicht kunnen ontstaan is noodzakelijk.

Daarom richt ons onderzoek zich op het ordenen van moleculen aan de hand van processen die ook in de natuur worden gebruikt, zoals retro-synthese. Met deze synthese kunnen kunstmatige ribosomen, kunstmatige fotosynthese en nanomedicijnendoosjes worden gemaakt. Onderzoekers kunnen retro-synthese bewerkstelligen door gebruik te maken van tijdelijk aangeslagen, instabiele molecuultoestanden. Aangezien een deel van de moleculen niet stabiel is moet het in detail karakteriseren van de nieuwe, kunstmatige systemen gedaan worden tijdens de synthese.

*'Artist impression'
van moleculaire
zelforganisatie*





B

Bionanotechnologie

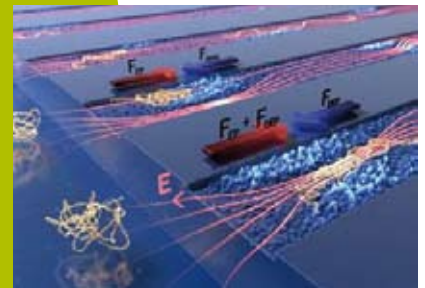
Albert van den Berg

Door nieuwe inzichten in processen op nanometerschaal en nieuwe technieken om nanostructuren te maken, begrijpen we steeds meer van het gedrag van grote biomoleculen zoals DNA en eiwitten. Hierdoor kan de bionanotechnologie worden toegepast in belangrijke onderzoeken naar het genoom en eiwitten, medische diagnostiek en diagnostiek die bij de patiënt uitgevoerd kan worden.

Vooruitstrevend onderzoek naar functionele nanodeeltjes heeft ervoor gezorgd dat doorbraken zijn gemaakt op het gebied van lokaliseren van ziektes en gerichte toevoer van medicijnen naar de aandoening. Echter, bij vele onderzoekscentra wordt pas sinds kort de cruciale rol van bionanotechnologie erkend. De technische universiteit Delft (Medical Delta) en de universiteit van Twente (ECTH) zijn recent begonnen met een studie naar gebruik van bionanotechnologie in de gezondheidszorg. Essentieel voor de snelle groei van dit nieuwe onderzoeksveld is samenwerking van nanotechnici, natuurkundigen, chemici en biologen. Daarnaast is het van belang dat de onderzoekers goede toegankelijkheid hebben tot en kunnen ontwikkelen van nieuwe, moderne instrumentatie. NanoLab NL levert de broodnodige infrastructuur om vooruitstrevend onderzoek te doen op het gebied van de bionanotechnologie. Wanneer Nederland internationaal mee wilt blijven doen, zijn structurele investeringen in apparatuur nodig voor nanofabricatie, oppervlakte analyse en karakterisatie, cellulaire en biomoleculaire analyse en cellulaire en biomoleculaire manipulatie.

G. Beugelaar, UTwente

*DNA opgesloten in
12 nm nanokanaaltjes*





Het optimaliseren van top-down en bottom-up methodes voor het maken van nano apparaten **Bart van Wees**

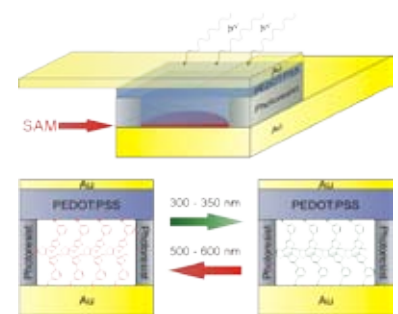
Belangrijk voor de nieuwe generatie nanomaterialen en nanoapparaten is het creëren van een optimale combinatie van de top-down en de bottom-up methodes. Deze combinatie wordt al gebruikt bij het maken golflengte-specifieke moleculaire schakelaars, weergegeven in de figuur. De schakelaar is het actieve gedeelte van het systeem.

De weerstand van het materiaal verandert ten gevolge van inkomend licht van een bepaalde golflengte. Om deze moleculaire nanoschakelaar te maken is een combinatie van top-down en bottom-up benaderingen nodig. Hierbij kan worden gedacht aan lithografie (top-down), chemische synthese (bottom-up) en zelfassemblage van moleculaire monolagen (bottom-up). Uit metingen blijkt dat de moleculen hun functionaliteit behouden tijdens en na het fabricatieproces. Zodoende kunnen geheugenchips die tussen twee toestanden kunnen switchen worden gemaakt.

Op dit moment worden nieuwe materialen ontwikkeld voor het ontwerpen van nanostructuren. Zo heeft grafeen een impuls aan de nanowetenschappen gegeven. Met grafeen (een vorm van koolstof) heb je een laag dat in één richting maar één atoom dik is. Hierdoor is al in één richting de limiet van de nanotechnologie bereikt. Transistoren van grafeen hebben het voordeel van een hoge ladingsdichtheid vergeleken met siliciumtransistoren. Ook wordt grafeen inmiddels met succes gebruikt als basismateriaal voor de spintronica. Dankzij de nabijheid van ladingsdragers aan het oppervlak kunnen deze transistoren gebruikt worden in gas en vloeistof sensoren.

In de figuur is een schematische doorsnede van een device met moleculaire junctie weergegeven. In deze junctie zijn de diarylethene moleculen geklemd tussen Au en PEDOT:PSS/Au. Wanneer we gebruik maken van UV licht zal de open isomer (in rood) gesloten worden (in groen). Bij zichtbaar licht keert het proces zich om.

Device met moleculaire junctie





Nanotechnologie voor water

Matthias Wessling

De toevoer van voldoende schoon drinkwater is niet alleen een grote uitdaging en noodzaak voor warme en/of droge maar ook voor waterrijke landen. Voldoende drinkwater is namelijk de basis voor goede hygiëne en politieke stabiliteit. Op dit moment overlijden jaarlijks miljoenen mensen door besmet water. Om voldoende schoon drinkwater voor de hele wereldbevolking te krijgen, zal de wetenschap met nieuwe ideeën aan moeten komen.

Nieuwe concepten gebaseerd op nanomaterialen zijn veel belovend. Deze kunnen leiden tot: filters met daarin biogefactiveerde sensoren van nanodraden voor de opsporing van microverontreinigingen; nanodeeltjes die vervuilingen en infecties uit het water kunnen verwijderen; ontkalking van het water door middel van kunstmatige, waterdoorlatende membranen; goede afvoer en hergebruik van water door middel van evenwijdig aan elkaar liggende nanogefabriceerde membranen.

In de figuur is de drempel tot voortuitgang weergegeven: verdikkingen die binnen de ultrafiltratiemembraan tot een stroombeperking leiden (linksboven) en een ultradunne vrijstaande nanogefabriceerde membraan die efficiënt het water kan desinfecteren (rechtsboven). In de figuur hieronder een porie-in-een-porie membraan.

*Voorbeelden van
transport door
membranen*

