

Nanotechnologie

Speerpunten voor actie



Nationale Raad voor Landbouwkundig Onderzoek

Postbus 20401

2500 EK Den Haag

tel.: 070 378 56 53

internet: <http://www.agro.nl/nrlo/>

ISBN: 90 - 5059 - 094 - 2

Overname van tekstdelen is toegestaan, mits met bronvermelding.

NRLO-rapport nr. 99/7, Den Haag, maart 1999



Aan: Dr. D. van Zaane (Wageningen UR/DLO)
Drs. L.J. Halvers (Technologiestichting STW)

Bezuidenhoutseweg 73
Postbus 20401
2500 EK 's-Gravenhage
The Netherlands

Telefoon 070 378 56 53
070 378 56 94
Telefax 070 378 61 49

onderwerp	kenmerk	doorkiesnummer	's-Gravenhage
W&T-verkenning	99 NRLO 183	070-3785727	16 maart 1999
Nanotechnologie			

Bij dezen bieden wij u aan het rapport "Nanotechnologie". Wij vragen uw speciale aandacht voor de voorstellen voor actie.

Dit rapport is onderdeel van een NRLO-verkenning naar de toekomstige dynamiek van tien wetenschaps- en technologiegebieden¹. Vanwege het belang van wetenschap en technologie voor de toekomst van agrosektor, groene ruimte en vissector is deze zogeheten W&T-verkenning een van de drie hoofdlijnen in het totale werkprogramma van de NRLO. De andere twee hoofdlijnen zijn verkenning van de maatschappelijke dynamiek en verkenning van de dynamiek van innovaties.

Nanotechnologie wordt gekarakteriseerd door de dimensie waarop wordt geopereerd: de nanometer (10^{-9} m). Dat betekent een fundamenteel nieuwe ontwikkeling omdat in het nanogebied andere fysische en chemische wetten gelden. Er is sprake van een nieuw paradigma, waardoor een nieuwe benadering nodig is. De ontwikkelingen op dit terrein voegen een nieuwe dimensie toe aan de moleculaire wetenschappen, en kunnen de kennis en de technologie gericht op landbouw en voeding beïnvloeden.

Uit de quick-scan op dit gebied zijn enkele punten naar voren gekomen.

1. Gelet op de ontwikkelingen in dit vakgebied is eerder sprake van nanoscience dan van nanotechnologie. Daarmede is aangegeven dat het accent ligt op fundamenteel onderzoek.

¹ Die gebieden zijn: sensor- en microsysteemtechnologie, intelligente dataverwerking en procesbesturing, nanotechnologie, moleculaire plantenbiologie, moleculaire en reproductiebiologie bij dieren, beleids-wetenschappen en ICT in de groene ruimte, productie-ecologie, veterinaire epidemiologie, verpakings- en bewaar-technologie en aquacultuur.



1. Het is gewenst het toegepast onderzoek snel te ontwikkelen.
2. Het is gewenst het agrokennissysteem vroegtijdig te laten aansluiten op de nieuwe denkwereld van de nanotechnologie.

De volgende acties worden voorgesteld:

1. NWO en STW ontwikkelen programma's voor fundamenteel en toegepast onderzoek op het gebied van de nanotechnologie in Nederland, waarin fysici, chemici én biologen participeren.
2. Wageningen UR (leerstoel moleculaire fysica, DLO-instituten) bevordert dat onderzoekers uit het landbouwkennissysteem a) actief participeren in het Vlaams-Nederlands nanotechnologie platform en b) interactieve communicatievormen ontwikkelen met het fundamenteel onderzoek.
3. Wageningen UR (leerstoel moleculaire fysica, DLO-instituten) ontwikkelt een strategie om als organisatie adequaat te kunnen inspelen op de mogelijkheden vanuit de nanotechnologie en om een beeld te krijgen van de investeringen die voor het gewenste onderzoek nodig zijn.

Gaarne vernemen wij uw reactie op de actie-voorstellen en hoe daaraan uitvoering kan worden gegeven.

Prof.Dr.Ir. A. Rörsch,

Voorzitter NRLO.

Dr.Ir. A.P. Verkaik,

Directeur Bureau NRLO.

Inhoudsopgave

1. Inleiding	1
2. Betekenis van nanotechnologie	2
3. Nanotechnologie en de agrosector	6
4. Acties	8
NRLO-adviesrapporten W&T-verkenning	10

1. Inleiding

De bevindingen in dit rapport zijn tot stand gekomen in een proces waarbij veel en uiteenlopende partijen waren betrokken via interviews en workshops. Belangrijke grondstoffen voor dit proces waren essays en studies die in opdracht van de NRLO zijn uitgevoerd. Het proces bestond uit drie stappen, waarvan de resultaten worden beschreven in de volgende 3 hoofdstukken van dit rapport.

1. Dynamiek en betekenis van nanotechnologie

De dynamiek in dit W&T-gebied en de potentiële betekenis hiervan is vooral ontleend aan de studie van de Stichting Toekomstbeeld der Techniek (STT) over nanotechnologie (1998). Een aantal aspecten van nanotechnologie is aan de orde gesteld in 2 NRLO-rapporten, te weten het essay "Agrofysica, informatie- en communicatietechnologie in de plantaardige productie" van Ir. J. Meuleman en Ing. P. van Weel (NRLO-rapport 97/24) en de studie over "kansen voor verwerking en distributie" van mw. Ir. E.T. van Tienen, Ir. A.E. Simons en Drs. D.A.J.M. Stijnen (NRLO-rapport 97/26).

2. Quick scan van TNO-STB

De ontwikkelingen op dit W&T-gebied in Nederland en daarbuiten zijn door TNO-STB beschreven in een *quick scan* (NRLO-rapport (98/37)). Er is op dit gebied geen sterkte/zwakte-analyse (zoals bij de andere W&T-gebieden) uitgevoerd omdat het een nog zeer jong wetenschapsgebied betreft.

3. Acties ter versterking

In een workshop met personen uit kennisinstellingen, overheid en bedrijfsleven zijn het essay en het concept van de *quick scan* van TNO-STB besproken. Tevens zijn een aantal voorstellen voor acties ter versterking van dit W&T-gebied geselecteerd. Tenslotte heeft een kleine NRLO-verkenningcommissie, bestaande uit Dr. H.J. Huizing (ATO-DLO), Dr.Ir. B.G. Linsen (lid DB-NRLO) en Dr.Ir. H.J. van Oosten (Bureau NRLO), de acties verder ingevuld en is aangegeven wie de voorgestelde acties zou moeten ondernemen.

2. Betekenis van nanotechnologie

De dimensie als uitgangspunt

Nanotechnologie wordt gekarakteriseerd door de *dimensie* waarop wordt geopereerd: de nanometer (10^{-9} m). De basis voor dit werkgebied is in 1959 gelegd door Richard Feynman, die stelde dat naast het werken in wetenschappelijke disciplines het ook mogelijk moest zijn vanuit *dimensies* te werken. Tot een echte doorbraak kwam het na 1980 door de revolutionaire ontwikkelingen in de chiptechnologie en parallelle ontwikkelingen in de supramoleculaire chemie.

Sedertdien neemt internationaal de belangstelling voor dit wetenschapsgebied snel toe. In Nederland werd in 1994 de eerste verkenning uitgevoerd in opdracht van de Overleg-Commissie Verkenningen (OCV). In 1998 bracht de Stichting Toekomstbeeld der Techniek (STT) een zeer omvangrijke en diepgaande studie uit over nanotechnologie met een overzicht van de nationale en internationale wetenschappelijke ontwikkelingen en de investeringen in kennisinfrastructuur.

STT hanteert de volgende definitie: "Nanotechnologie is een opkomend veld van onderzoek en ontwikkeling gericht op toenemende controle over materiële structuren met afmetingen op nanoschaal (0.1 tot 100 nm) in tenminste één dimensie.

Schaafsma vat het als volgt samen (1998)²:

- afmeting 1-100 nanometer;
- georganiseerde assemblages van één of meerdere moleculaire bouwstenen tot twee- of drie-dimensionale structuren op nanometerschaal ontworpen met het oog op specifieke fysische en/of chemische functies of eigenschappen, die fundamenteel verschillen van die van de individuele bouwstenen en die van de macroscopische eigenschappen van traditioneel materiaal;
- zeer grote oppervlakte/volume verhouding en als gevolg daarvan sterk afwijkende adsorptie-eigenschappen;
- niet klassiek-fysisch gedrag met betrekking tot de elektrische, magnetische, (elektro-) chemische en optische eigenschappen van in ieder geval anorganische en sommige organische nanomaterialen.

² Overzicht afkomstig van Prof.Dr. T.J. Schaafsma, oktober 1998.

Wetenschappelijke deelgebieden in ontwikkeling

In de publikatie van STT over nanotechnologie wordt een onderscheid in vier deelgebieden gemaakt: nanomaterialen, nano-elektronica, moleculaire nanotechnologie en nano-instrumentatie³.

Nanomaterialen

Nanomaterialen zijn natuurlijke of artificiële twee- of drie-dimensionale atomaire of moleculaire structuren met afmetingen van 1 tot 100 nanometer. Doordat het mogelijk moet zijn nieuwe nanomaterialen atoom voor atoom op te bouwen kan efficiënter met grondstoffen worden omgesprongen. De nanotechnologie zou op deze wijze de mogelijkheid kunnen bieden voor het ontwikkelen van nieuwe productietechnologieën die minder belastend zijn voor het milieu en minder afvalstoffen produceren.

Daarnaast worden nieuwe materialen ontwikkeld door verandering van de oppervlakte-structuren. Hierdoor verandert de eigenschap van het oppervlak (bv. sterke en soepele coatings).

Nano-elektronica

De trend tot miniaturisering heeft tot gevolg dat over enkele jaren een directe behoefte zal ontstaan aan geïntegreerde schakelingen op nanoniveau. Aangezien op dit niveau veelal geheel andere fysische eigenschappen een rol gaan spelen moet dit gebied duidelijk worden onderscheiden van de microsysteemtechnologie. Het is te verwachten dat de nano-elektronica een grote impact zal hebben op de huidige elektronica aangezien de silicium microchip door deze nanotechnologie vervangen zal worden.

Moleculaire nanotechnologie

In de moleculaire nanotechnologie gaat het om de assemblage van chemische en biochemische moleculen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van onder andere supra-moleculaire chemie en polymerisatietechnieken. Nanotechnologie en biotechnologie komen zo dicht bij elkaar. In de biotechnologie gaat het vaak om het ontwikkelen van moleculen met vergelijkbare structuur en functie als bestaande enzymen en moleculen. In de nanotechnologie is de voornaamste missie geheel *nieuwe* structuren met *nieuwe* functies te ontwikkelen.

³ Wolde ten, Arthur (1998); Nanotechnology, Towards a molecular construction; STT Netherlands.

Nano-instrumentatie

Voor het prepareren, construeren en manipuleren van nanogestructureerde materialen is een geavanceerd instrumentarium noodzakelijk. Bij nano-instrumentatie moet gedacht worden aan instrumenten die de activiteiten op nanoniveau zichtbaar maken.

Noodzakelijke paradigmaverandering

Er is een paradigmaverandering noodzakelijk, omdat nanostructuren met betrekking tot elektrische, magnetische, chemische en optische eigenschappen een ander, niet-klassiek fysisch gedrag vertonen. Er vindt een overgang plaats van klassiek gedrag (micro) naar quantummechanisch gedrag (atomen en moleculen).

Inzicht in dit onbekende gedrag vereist fundamenteel onderzoek en een nieuwe denkwijze.

Het ontwikkelen van nieuwe inzichten over dit niet-klassieke gedrag van nanostructuren zal tijdrovend zijn. Dat betekent ook dat er wel ideeën bestaan over toepassingen van nanostructuren, maar dat deze voornamelijk visionair zijn. De tijdschaal voor commerciële toepassing ligt in de orde van 5-25 jaar.

De nationale en internationale infrastructuur

Nederland en Vlaanderen

In Nederland zijn de belangrijkste groepen op het gebied van nanotechnologie te vinden aan de universiteiten van Groningen, Twente en Delft.

In Groningen is het nanotechnologieinstituut BioMaDe opgericht en dankzij recente financiering zal dit instituut binnenkort van start gaan. Uit de ICES-gelden is voor de komende 10 jaar in totaal 30 miljoen gulden beschikbaar gesteld (2 tranches van 15 miljoen). Aanvullend kapitaal zal moeten komen van participerende ondernemingen.

Twente is penvoerder van een interuniversitaire onderzoeksschool supramoleculaire chemie en technologie (met deelname van groepen op dit gebied uit Twente, Nijmegen, Eindhoven en Groningen).

In Delft is het onderzoek geconcentreerd in het laboratorium voor nanoschaalexperimenten en -technologie (NEXT, in de onderzoeksschool DIMES).

Daarnaast zijn op vijf andere universiteiten (Leiden, Utrecht, Eindhoven, Nijmegen, Wageningen) groepen op dit terrein actief.

Binnen enkele grote onderzoeksinstituten heeft het denken over de potenties van nanotechnologie geleid tot enige activiteiten. Soms gaat het daarbij om grotere molecuulstructuren dan de eerder geformuleerde definitie. Dit zijn het ATO-DLO, het ID-DLO, het ECN en TNO-TPD en TNO-Industrie. In Vlaanderen is dat met name het IMEC te Leuven.

Een aantal grote ondernemingen is eveneens actief op dit terrein. Zo zijn bijvoorbeeld te noemen Philips, Unilever, DSM, Akzo Nobel en ASML.

Tijdens de presentatie van de STT-studie *Nanotechnology* in oktober 1998 werd een Nederlands-Vlaams platform "Nanotechnologie" geïnstalleerd. Dit platform beoogt de kennis over nanotechnologie te verbreden, onderzoeksapparatuur te delen en synergie in het onderzoek te bevorderen.

Internationaal

Volgens een studie van het Institute for Prospective Technological Studies (IPTS) van de EU te Sevilla wordt in Europa bij nanotechnologie op een vergelijkbare niveau als in de Verenigde Staten en Japan wetenschappelijk onderzoek verricht. Wel lijkt het dat in Europa minder wordt samengewerkt met de industrie en dat zou kunnen betekenen dat er minder toegepast onderzoek wordt gedaan.

In de Verenigde Staten wordt ongeveer 230 miljoen gulden besteed aan dit werkveld. Daarvan gaat zo'n 75% naar fundamenteel onderzoek en de rest naar toegepast onderzoek. De helft van het totale budget wordt besteed via de "National Science Foundation". Defensielaboratoria vormen daarnaast een belangrijke bron voor financiering en programmering.

In Duitsland wordt ongeveer 160 miljoen gulden besteed aan nanoprogramma's. Het "Bundesministerium für Bildung und Forschung" is de belangrijkste financier.

In Frankrijk wordt een voorstel op dit terrein ontwikkeld met een budget van circa 13 miljoen gulden.

3. Nanotechnologie en de agrosector

De kenmerkende invalshoek van nanoscience is de dimensie. Dat betekent, dat het werken op zeer kleine schaal zal plaatsvinden in tal van vakgebieden en disciplines. Het miniaturiseren of werken op moleculaire basis vormen daarvan voorbeelden. Kennis daarover zal zich verspreiden naar vele vakgebieden.

In de moleculaire biologie heeft zich ook zo'n ontwikkeling voorgedaan. De technieken, die eerst werden ontwikkeld in de moleculaire biologie, zijn daarna op grote schaal toegepast in tal van andere wetenschappelijke disciplines.

In de polymeerchemie en de biotechnologie doen zich ontwikkelingen voor die het mogelijk maken steeds kleinere structuren te bestuderen en te manipuleren. Dat raakt aan het terrein van de nanosciences.

In de onderzoeksprogramma's van de diverse landen is tot nu toe nauwelijks enige aandacht voor ontwikkelingen en toepassingen die specifiek gericht zijn op (delen van) de agrosector. Het gaat veel meer om het doorgronden van fundamentele fysische, chemische en biologische processen op atomair en moleculair niveau. Vooralsnog concentreert veel onderzoek zich op thema's zoals nanomaterialen, nano-elektronica en moleculaire nanotechnologie. Het is met name een veld waar chemici, fysici en moleculair biologen bij uitstek een grote rol gaan spelen en waar het naar verwachting de inter- en transdisciplinaire aanpak van fundamentele problemen van doorslaggevend belang zal zijn. Het bij elkaar brengen van de relevante disciplines in transdisciplinaire teams is daarvoor van grote betekenis.

Nanotechnologie kan, vanwege de mogelijkheden voor extreme miniaturisering, alle aspecten van de moderne agrosector gaan beïnvloeden. Dat kan betreffen de bestudering en modificatie van de biologie van plant en dier, als de ontwikkeling van precisie-instrumenten (als sensoren) en computertechnologie. Op termijn kan dat effecten hebben op de besturing van teelt- en verwerkingsprocessen van plantaardige en dierlijke producten, als op de monitoring en sturing van productkwaliteit tijdens de productie en in agroketens. In de meeste gevallen is evenwel nog een lange fundamentele onderzoeksperiode nodig om tot wezenlijke doorbraken te komen.

Voor de agrosector is het van belang voorlopig een brede oriëntatie op ontwikkelingen in de nanotechnologie te bevorderen en te vermijden dat de aandacht alleen uitgaat naar specifieke deelgebieden. Steeds meer vindt vernieuwing in de agrosector plaats door

impulsen van buiten de traditionele disciplines. Het Nederlands-Vlaamse nanoplatform kan daarin een uitstekende rol vervullen.

De Nederlandse onderzoeksgroepen zijn op verschillende onderwerpen actief. Dat is in deze fase onontbeerlijk voor de ontwikkeling van het vakgebied. Als voorbeelden zijn te noemen (zie voor een vollediger overzicht de NRLO-studie, uitgevoerd door TNO-STB): nano-elektronica (Dimes), biomoleculaire engineering, zelf reproducerende technieken, moleculaire elektronica (BioMaDe), organische zonnecellen (ECN, WUR, TUD, UU), akoestische golfsensoren, slijtvaste coatings en nanocomposiet voor voedselverpakkingen (TNO), gestructureerde polymeren voor toepassing in de membraantechnologie, selectieve membranen en adsorptiematerialen, moleculaire herkenning en sensortechnologie (IMAG-DLO, ATO-DLO), vaccindiagnostica (het teweegbrengen van immunologische reacties bij enkelvoudige moleculen (ID-DLO).

Hoewel drie DLO-instituten, gericht op de agrosector en voeding, al volop bezig zijn mogelijkheden van nanotechnologie te exploreren, is een verdere versterking van de aandacht vanuit het agrokennissysteem voor dit wetenschapsgebied nodig.

Nanotechnologie vraagt een nieuwe denkwijze. Het is zinvol tijdig met die denkwereld in aanraking te komen, als inspiratie voor het eigen werkveld.

4. Acties

Deze acties zijn bedoeld om de aansluiting van de kennisinfrastructuur van de agrofood-sector bij de ontwikkelingen in de nanotechnologie te bevorderen.

1. Versterk de fundamentele basis van nanotechnologie in Nederland en ontwikkel programma's voor toegepast onderzoek

De afmetingen van nanodeeltjes en -structuren zijn zo klein, dat de fysische en chemische eigenschappen ervan fundamenteel verschillen van tot nu toe bekende deeltjes en materialen. Er is sprake van sterk afwijkende adsorptie-eigenschappen, niet klassiek-fysisch gedrag met betrekking tot elektrische, magnetische, chemische en optische eigenschappen van anorganische en organische materialen. Bij organische materialen is een extra complicatie dat hun gedrag nog moeilijker te beheersen is. Door de volstrekt nieuwe fysische en chemische functies voldoen klassieke wetten niet meer en zal moeten worden uitgegaan van nieuwe benaderingen om deze nanowereld verder te ontsluiten. Er is sprake van paradigmaveranderingen die andere denkwijzen vereisen dan tot nu toe het geval was. Het verdiepen van dit inzicht vraagt een nieuwe collectieve inspanning. Waarin fysici, chemici en biologen gezamenlijk nieuwe inzichten ontwikkelen. Het wordt zinvol geacht om naast het fundamentele onderzoek ook het toegepast onderzoek te ontwikkelen.

NWO versterkt het fundamenteel onderzoek in Nederland. De vier genoemde deel-terreinen (nanomaterialen, nano-elektronica, moleculaire nanotechnologie en nano-instrumentatie) kunnen daarbij als startpunt dienen. Er dient met name aandacht te worden gegeven aan het tijdig in multidisciplinaire onderzoekprogramma's bij elkaar brengen van fysici, chemici en biologen.

STW neemt initiatieven om programma's voor toegepast onderzoek tot ontwikkeling te brengen.

2. Creëer nieuwe netwerken en communicatievormen van de agrofoodsector met de nanotechnologie

Het is zinvol om in een vroeg stadium verschillende disciplines en denkwerelden bij elkaar te brengen. Daarmede kan tijdig een aansluiting worden gerealiseerd van het agrokennis-systeem met de nieuwe denkconcepten vanuit de nanotechnologie. Het gaat er om de aandacht te richten op het zichtbaar maken van de potenties van combinaties van bestaande en nieuwe wetenschapsgebieden. Ten dele is dat recent gerealiseerd door de

vorming van een nanotechnologie-platform. Het is zinvol de onderzoekers uit de agrofoodsector daarbij te laten aansluiten of zo nodig op deelgebieden netwerken te vormen van onderzoekers en potentiële gebruikers.

In deze fase zijn actieve communicatievormen het meest geschikt om uitwisseling van kennis en inzichten te bevorderen: kleine workshops, creatieve brainstormsessies over ontwikkelingen die gaande zijn en die denkbaar zijn.

Wageningen UR (leerstoelgroep moleculaire fysica, IMAG-DLO, ATO-DLO, CPRO-DLO en ID-DLO) zoeken aansluiting bij het nanotechnologie platform. Zij ontwikkelen gezamenlijk interactieve communicatievormen om veranderende denkwijzen in de nanotechnologie in een brede kring van onderzoekers en potentiële toepassers ter discussie te stellen. Het is van belang om verschillende disciplines en hun denkwijzen al in het begin van de ontwikkeling van de nanotechnologie te confronteren met paradigmatische vernieuwing en transdisciplinaire werkvormen.

3. Ontwerp een strategie om de agrosector optimaal te laten aansluiten op de nanotechnologie

Zeer veel aspecten van de agrofoodsector zullen op een termijn van 5-10 jaar te maken kunnen krijgen met toepassingen van nanoscience en -technologie. Het is zinvol om vanuit een perspectief van voedselproductie, -verwerking en -afzet een strategie te ontwerpen om de potenties van nanoscience op verschillende deelterreinen beter te kunnen inschatten. Daardoor wordt duidelijk welke keuzevragen zich gaan voordoen in het onderzoekbeleid en welke acties nodig zijn om op de nieuwe ontwikkelingen in te kunnen spelen.

Wageningen UR (leerstoelgroep moleculaire fysica, IMAG-DLO, ATO-DLO, CPRO-DLO en ID-DLO) ontwikkelen een strategie om adequaat in te spelen op de nieuwe mogelijkheden vanuit de nanotechnologie en een beeld te vormen van de investeringen die voor het gewenste onderzoek nodig zijn.

NRLO-adviesrapporten W&T- verkenning

nummer	titel
99/1	Kansen in wetenschap en technologie Speerpunten voor de agrosector, visserij en groene ruimte
99/2	Sensor- en microsysteemtechnologie Speerpunten voor actie
99/3	Bewaar- en verpakkingstechnologie Speerpunten voor actie
99/4	Veterinaire epidemiologie Speerpunten voor actie
99/5	Moleculaire en reproductiebiologie bij dieren Speerpunten voor actie
99/6	Moleculaire plantenbiologie Speerpunten voor actie
99/7	Nanotechnologie Speerpunten voor actie
99/8	Productie-ecologie Speerpunten voor actie
99/9	Intelligente dataverwerking en procesbesturing Speerpunten voor actie
99/10	Aquacultuur Speerpunten voor actie
99/11	Beleidswetenschappen en ICT in de groene ruimte Speerpunten voor actie