



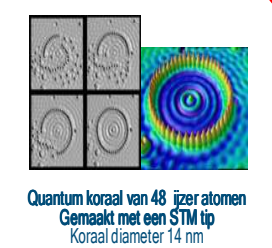
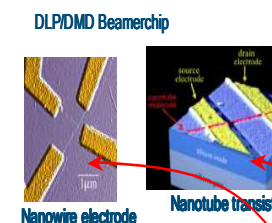
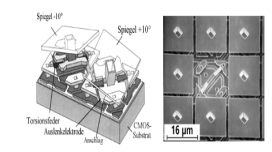
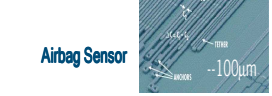
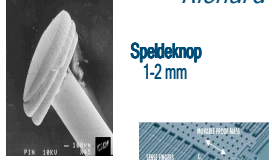
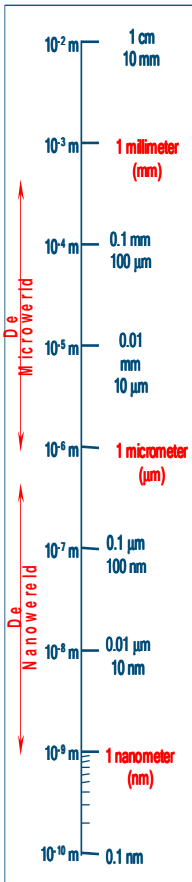
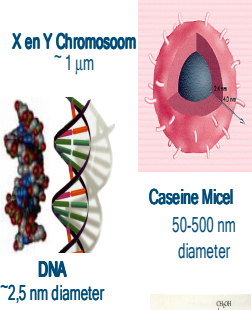
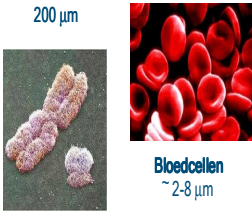
Nanotechnologie en het Beloofde Land



Prof. dr. Cees J.M. van Rijn
Inaugurele Rede
Wageningen
8 November 2007

“There is Plenty of Room at the Bottom”

Richard Feynman 1959



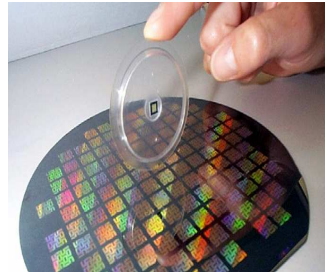
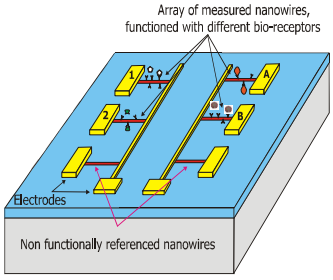
21ste Eeuw Uitdaging

Leer bottom-up van de natuur, combineer met top-down technologie, en maak nuttige dingen voor de mens

Uit de natuur

Door de mens

©2007 vanRijn



Nanotechnologie en het Beloofde Land

door prof.dr. Cees J.M. van Rijn



Inaugurele rede uitgesproken op 8 november, 16.00 uur in de Aula van de Wageningen Universiteit bij de benoeming tot 0.0 Hoogleraar Microsysteem en Nanotechnologie voor Agro, Voeding en Gezondheid.

Copyright © 2007 Cees van Rijn/WUR/OrganischeChemie

Voor een Videoopname zie <http://wurtv.wur.nl>

ISBN: 978-90-8585-167-7

Cover: Nicolas Poussin, "*L'Automne ou La Terre Promise*" (1662).

INHOUD

➤	Inleiding	1
❖	GOEDE VOEDING EN NANOTECHNOLOGIE	5
➤	Smaak en Textuur verbetering	5
➤	Functionele Voeding	7
➤	Persoonlijke voeding	8
➤	Voeding monitoren	9
❖	UITSTEKENDE GEZONDHEID EN NANOTECHNOLOGIE	11
➤	Vroegtijdige diagnose	12
➤	Persoonlijke preventieve medicijnen	13
➤	Vriendelijk toedienen van medicijnen	13
❖	ZUIVER WATER EN NANOTECHNOLOGIE	15
➤	Verontreinigd water zuiveren	15
➤	Kwaliteit van water monitoren	17
➤	Energie en water	17
❖	SCHONE ENERGIEBRONNEN EN NANOTECHNOLOGIE	19
➤	Meedenkende Leefomgeving en Nanotechnologie	21
➤	Nanoelektronica	22
➤	Sensor node netwerken	22
❖	RISICO'S EN NANOTECHNOLOGIE	25
➤	Dankwoord	27
➤	Curriculum Vitae	29
➤	Referenties	31

Nanotechnologie en het Beloofde land

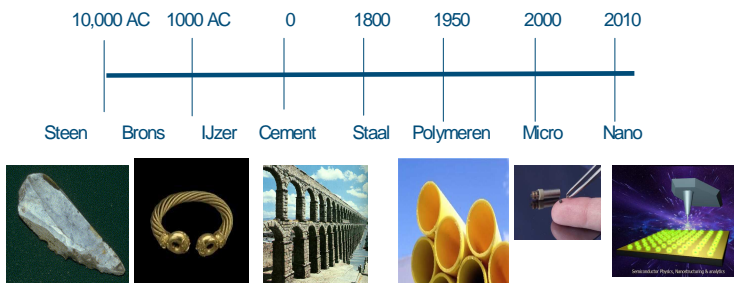
Mijnheer de Rector, Dames en Heren,

➤ INLEIDING

Vele eeuwen terug was een volk tijdens een barre tocht door een woestijn een land beloofd dat onder meer zou “overvloeien van melk en honing” [1]. Er zou als het ware een paradijs op aarde kunnen aanbreken, edoch dit land diende nog wel te worden verkend en met verstand en inzet te worden veroverd [2]. Ik wil proberen samen met U een nieuw beloofd land te gaan verkennen, en met U te bezien of nanotechnologie het meest geëigende werktuig is om dit land met verstand en inzet te veroveren.

De menselijke beschaving wordt gekenmerkt door het gebruik van nieuwe materialen en werktuigen en de steeds verder gaande ontwikkeling hiervan.

Werktuigen en Materialen



Figuur 1 Uit opgravingen kennen we het gebruik van stenen werktuigen en inmiddels ontwikkelen en gebruiken we ook micro en nano werktuigen.

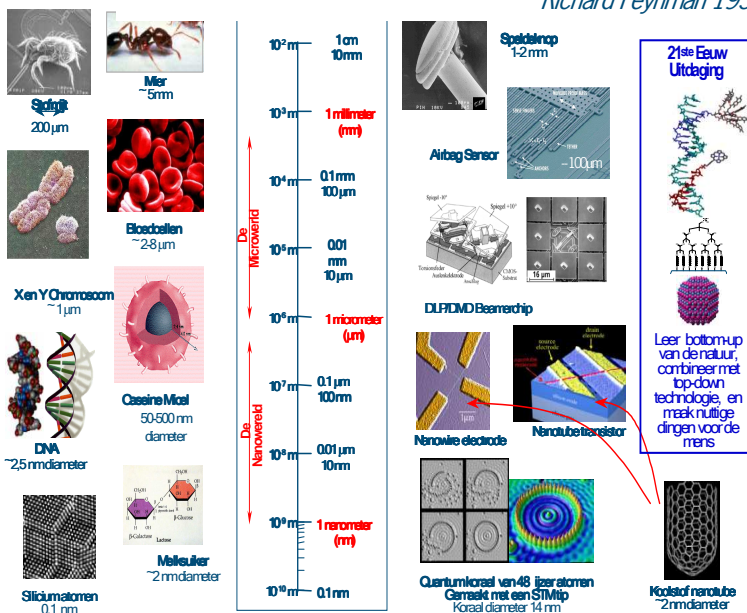
Wat is dan wel precies nanotechnologie. De deskundigen zijn het nog steeds niet helemaal eens over de definitie, maar de volgende afbakening kan wellicht helpen: onder nanotechnologie kan worden verstaan een multidisciplinaire bezigheid, die onder meer biologie, scheikunde, natuurkunde en werktuigbouw bij elkaar samenbrengt op een werkgebied tussen ca. 1 nanometer en 1 micrometer [3] met als doel het creëren van nieuwe functionele materialen en werktuigen ten behoeve van het welzijn van de mensheid in de 21^{ste} eeuw. Het werkgebied is zeer klein.

2 Nanotechnologie

Richard Feynman heeft in 1959 in een legendarische lezing [4] getiteld "There's plenty of room at the bottom" betoogd dat de natuurkundige wetten het niet onmogelijk maken om materialen atoom voor atoom uit elkaar te halen en ook weer atoom voor atoom in elkaar te zetten.

"There is Plenty of Room at the Bottom"

Richard Feynman 1959



Figuur 2 Voorbeelden van micro en nano structuren, uit de natuur (links) en gemaakt door de mens (rechts). "There's plenty of room at the bottom" is de titel van een lezing [4] uit 1959 door Nobelprijswinnaar Richard Feynman, hetgeen in Amerika feitelijk gezien wordt als de start van het nanotechnologie tijdperk.

Voor de beeldvorming: hoe groot is 1 nanometer en 1 micrometer. 1 nanometer komt overeen met de grootte van een eenvoudig suikermolecuul en 1 micrometer (=1000 nanometer) komt overeen met de grootte van een opgerold DNA chromosoom. Een molecuul van bijvoorbeeld melksuiker bestaat uit ca. 2×24 atomen en een DNA

chromosoom uit meer dan honderd miljoen atomen. Het in elkaar zetten van atomen tot grote moleculen is het bouwen van klein naar groot, een soort lego, en dit wordt ook wel de bottom-up benadering van de nanotechnologie genoemd. De natuur is hierbij eigenlijk onze ware leermeester, wat betreft bouw, zelforganisatie (self-assembly), en functie van zeer grote moleculen zoals eiwitten en DNA. De raakvlakken met moleculaire wetenschappen, een studierichting hier in Wageningen, en de bottom-up benadering van de nanotechnologie zijn derhalve groot.

Wat betreft zelforganisatie, wist U dat het witte in een glas melk feitelijk zeer kunstig gevormde eiwit agglomeraten zijn, ook wel caseïne micellen genoemd. Zo'n caseïne micel [5] heeft een gemiddelde diameter tussen 50-500 nanometer en creëert zichzelf door middel van een zelforganiserende opbouw van caseïne eiwitten en calciumfosfaat nanodeeltjes van ca. 2,5 nanometer [6].

Omgekeerd bestaat ook de top-down benadering in de nanotechnologie. Dit is het bouwen van een product met steeds dezelfde vorm of functie maar dan met de uitdaging om het product zelf steeds kleiner en kleiner uit te voeren. Buiten de nanotechnologie kennen we de top-down benadering al wat langer. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het terugschalen van de eerste buizen computers met ca. 1000 bytes ter grootte van een woonkamer begin jaren veertig [7] tot een transistorchip van minder dan een kubieke millimeter met dezelfde 1000 bytes eind jaren zeventig. Een ander goed voorbeeld is de Micro Systeem Technologie [8] waarbij alleen de verkleining van de vorm met behoud van dezelfde prestatie belangrijk is, waardoor meer kosten competitief gewerkt kan worden aan complexe hightech producten op basis van silicium, zoals bijvoorbeeld de air-bag sensor, de druk sensor en de multi-mirror beamerchips (DLP/DMD) met meer dan een miljoen schakelbare spiegeltjes van minder dan 10 bij 10 micrometer (zie *Figuur 2*). Een derde voorbeeld; eind jaren tachtig was de verdergaande miniaturisering van de elektronische geheugens zeer belangrijk [9]. De breedte van de kleinste schakelingen van deze geheugenchips was destijds ca. 1 micrometer (=1000 nm).

Verdergaande technologische ontwikkelingen maakte begin deze eeuw dat deze breedtes al kleiner werden dan 100 nanometer [10] en anno 2007 is 35 nanometer al in het vizier. En met dit soort afmetingen zijn we ruim binnen het domein van de top-down benadering van de nanotechnologie, dingen maken kleiner dan 1000 nm. Wellicht dat het U opvalt dat voor de top-down benadering juist de mens en zijn kennis van onder meer de optica, de elektronica en de mechanica centraal staan. Top-down maken we kleine dingen en leren van de menselijke kennis en

4 Nanotechnologie

kunde, terwijl bottom-up maken we grote moleculen en leren juist wat betreft opbouw en functie van de natuur.

Hoe maken we nu top-down en bottom-up nieuwe nuttige technologie ten behoeve van het welvaren van de mensheid in het komende paradijs. Gemeten naar de behoeften van de moderne mens zou dat land tenminste in de volgende zaken dienen te voorzien:

- Goede Voeding
- Uitstekende Gezondheid
- Zuiver Water
- Schone Energiebronnen
- Meedenkende Leefomgeving

Ik wil nu elk dezer onderwerpen met U doornemen en zal daarbij een aantal voorbeelden van de beoogde werkzaamheden hier in Wageningen noemen binnen mijn leeropdracht en binnen het Centrum voor Bionanotechnologie BioNT.

❖ GOEDE VOEDING EN NANOTECHNOLOGIE



Stelt U zich eens voor: U verblijft anno 2017 in een “all inclusive” vakantievilla van uw favoriete touroperator ergens in Europa. U wilt wat drinken en uw oog in de keuken valt op een fancy apparaat met opschrift NanoDrink4You. Het sensoroog van het apparaat heeft U ook gesignaleerd en uit een luidspreker klinkt: ‘Wilt U uw tong uitsteken en A zeggen.’ U aarzelt even, maar bent in een goede stemming en bovendien U heeft dorst. Na enkele seconden deelt de luidspreker mee: ‘Papilanalyse, ondermaat bitterstoffen en een overmaat vet en zoetstoffen geconsumeerd de afgelopen drie dagen, ons advies: 300 ml grapefruit sap’. Het apparaat spreekt verder: ‘Ademanalyse, overmaat ethanol en nicotine, ons advies 500 mg vitamine B₃ en B₆ en 500 mg vitamine C’. Vervolgens klinkt: ‘Wilt U de aanbevolen vitamines in de 300 ml sap, druk dan op de groene knop’ [11]. ‘Wilt U geen vitamines en/of een drank naar eigen keuze, druk dan op de rode knop’. Toekomstmuziek? De nanotechnologie zal het U hopelijk leren de komende decennia.

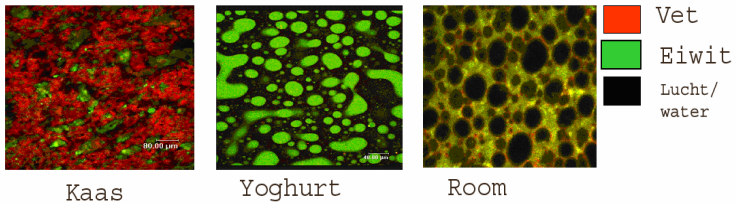
Wat zullen we met de nanotechnologie doen op het gebied van voeding:

- Smaak en textuur verbetering van voeding
- Functionele voeding
- Persoonlijke voeding op maat
- Voeding monitoren (track en trace)

➤ SMAAK EN TEXTUUR VERBETERING

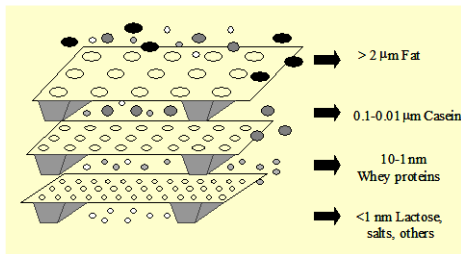
Als U een blokje kaas gaat eten, dan ziet U eerst dat het een geelachtig en vast voedingsmiddel is. Tijdens het proeven en eten wordt U gewaar dat het hartig smaakt en dat de kaas langzaam zijn vaste vorm verliest. Er worden veel sensorische prikkels geregistreerd, waaronder de perceptie van smaak, geur, structuur en temperatuur van de kaas. Kaas heeft karakter, geen kaas smaakt hetzelfde. Het maken van kaas uit melk is een fijnzinnig ambacht met veel aandacht voor elke processtap. De hoofdbestanddelen van kaas zijn gefermenteerde caseïne eiwitten, water en vette room. Een aantal microscopische opnames van zuivelproducten zijn bijgaand weergegeven.

6 Nanotechnologie



Figuur 3 Microscopische opnames van kaas, yoghurt en room, courtesy Friesland Foods.

U ziet afzonderlijke domeinen met eiwitten, vetten en water/lucht. Juist de grootte van deze domeinen en hun verankering met en in de andere domeinen bepalen in belangrijke mate de waargenomen sensorische prikkels van textuur en smaak. Meer controle op de grootte van deze domeinen en hun onderlinge verstrengeling kan nieuwe smaaksensaties opleveren. Nanotechnologie kan hiervoor nieuwe gereedschappen aanleveren. Bottom-up door de natuur een handje te helpen om tijdens het kaasbereiding en fermentatieproces meer controle te krijgen op de grootte en mate van verankering van de domeinen door het toevoegen van door de nanotechnologie gemaakte natuurlijke moleculen.

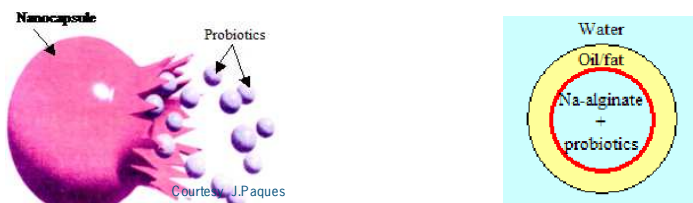


Figuur 4 Membranen kunnen worden toegepast voor het fractioneren van grondstoffen in zuivere fracties.

Top-down door dingen, zoals membranen, te maken die de oorspronkelijke melk bijvoorbeeld eerst opdelen in een deel caseïne-eiwit, een deel vet/room en een deel zout/suikers. De kaasmaker kan dan met deze afzonderlijke grondstoffen in door hem vastgestelde hoeveelheden allerlei nieuwe soorten kaas maken, en wellicht zitten er enkele nieuwe bij die de tong kunnen strelen en hun weg vinden naar de markt. Het onlangs gestarte MicroNed onderzoek 'Dynamic Microfractionation of Dairy Products' sluit hierop aan binnen mijn leeropdracht.

➤ FUNCTIONELE VOEDING

Onder functionele voeding verstaan we voeding, ten behoeve van het voorkomen van een aandoening of toekomstig gebrek bij de mens. Het is dus voeding met een gezondheids stempeltje, goede voeding dus. Sappen en magere zuivelproducten zijn gezond. Er wordt veel onderzoek verricht om deze nog gezonder te maken door ingrediënten zoals biologisch actieve stoffen en vitamines in een geschikte vorm hier aan toe te voegen. Nanotechnologie biedt de mogelijkheid om dit soort functionele ingrediënten te verpakken in nanocapsules, capsules die je niet proeft en zo klein zijn dat ze zichtbaar licht niet verstrooien, waardoor je ze ook niet ziet (vanishing technology), maar die wel hun werk doen. De functie van de capsule is tweeledig, 1) het voorkomen van ongewenste reacties (bijv. onprettige smaak of geur) of neutralisatie van de capsule-inhoud met het hoofdproduct en 2) de inhoud van de capsule op een geschikt moment of op een geschikte plaats laten vrijkomen. Door het capsulmateriaal zo te ontwerpen dat de ingrediënten slechts zeer langzaam door de capsule wand heen komen, kan bijvoorbeeld gecontroleerde of tijdgedoseerde afgifte plaats vinden. Zo is het goed mogelijk om in de NanoDrink4You automaat zowel vitamine B en C in de grapefruit sap te doen, je stopt ze in afzonderlijke nanocapsules, waarmee je bovendien voorkomt dat de vitamine C al kan reageren met de vitamine B. In het algemeen zal de nanocapsule zijn inhoud kunnen vrijgeven door het toedienen van een geschikte trigger, zoals een temperatuursprong of een verandering van de zuurgraad. Ook zou je bijvoorbeeld zeer intensieve smaakstoffen in de nanocapsules kunnen stoppen die pas vrijkomen tijdens het proeven: een smaakexplosie zou het gevolg kunnen zijn. Ik zal nu meer voorbeelden geven van verder nanoonderzoek dat is gestart binnen mijn leeropdracht.



Figuur 5 Het verpakken van probiotica in geschikte capsulmateriaal.

U kent ze wel die kleine flesjes zuiveldrank waaraan actieve bacteriën zijn toegevoegd van de soort Lactobacillus of Bifidus. Uit onderzoek blijkt, dat niet alle bacteriën heelhuids op de plaats van bestemming aankomen, maar dat meer dan 90% al kan doodgaan in de maag vanwege de hoge zuurgraad. De bacteriën verpakken in een zuurbestendig nanoasje,

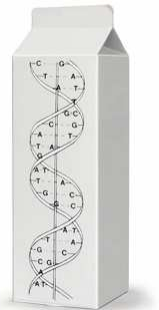
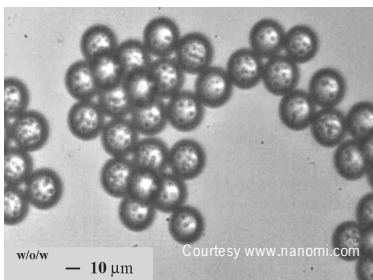
8 Nanotechnologie

waarvan het materiaal pas langzaam ontleedt nadat het een zuur heeft gezien zou de overlevingskans aanzienlijk doen toenemen. Op dit moment is hierop onderzoek in gang gezet, enerzijds betreffende het vinden van het geschikte capsulmateriaal, en anderzijds de juiste verpakkingswijze binnen de MicroNed projecten 'Nanoencapsulation of Probiotics', 'High Throughput Emulsification' en 'Engineering of Capsule Materials'.

Zeepbellen bevatten veel lucht en een beetje zeep, we blijven gefascineerd kijken tot ze pats kapotspringen en zien dat er bijna niets meer van overblijft. Stelt U zich eens voor dat de zeep vervangen is door vet en dat de lucht vervangen is door water. En wanneer deze waterhoudende 'vetbellen' zeer klein zijn, zijn ze ook stevig, net zo stevig als de normale vetdruppeltjes in dressings en mayonaise. Ook zult U het verschil niet proeven, uw tong zal echt vet registreren, 'lekker' zult U zeggen. Om dergelijke 'vetbellen' te maken is inmiddels ook onderzoek gestart onder de titel 'light vet'. Een kanttekening dient nog wel gemaakt te worden betreffende de vraag of deze 'light vet' variant ook zal leiden tot een daadwerkelijk verminderde vetconsumptie. De maag en het spijsverteringsstelsel zullen immers wel degelijk registreren dat er minder vet is binnengekomen en kunnen terugkoppelmechanismen activeren die weer sturen op een grotere vetopname. Hierop is binnen Wageningen ook onderzoek gestart binnen het WCFS programma.

➤ **PERSOONLIJKE VOEDING**

Hierbij kunnen we denken aan voeding waarbij de kleur, smaak of textuur afgestemd kan worden op een persoonlijke vraag of een voorschrift van de diëtiste.



Figuur 6 Het ontwikkelen van micro en nanocapsules voor het toepassen in producten vanuit een persoonlijke vraag of voorschrift zal een grote vlucht nemen.

Een voorbeeld: De nanotech voeding bevat van te voren al een breed palet aan nanocapsules die pas na selectieve activatie de juiste kleur, smaak- of gelerings stoffen vrijmaken, terwijl de overige aanwezige nanocapsules ongemoeid worden gelaten. Ook is het denkbaar dat nanocapsules worden ontworpen, die voorzien in het mogelijk opheffen van een voedselallergie, (lactose) intolerantie of voorzien in een (vitamine) deficiëntie van een bepaalde persoon. Ingrediënten met dergelijke nanocapsules zouden uitstekend passen in de voorraadkast van de NanoDrink4You.

Op de persoon afgestemde voeding kan ook bijdragen aan het voorkomen van ziekte of gebrek op latere leeftijd. Het ontwikkelen van allerlei nanocapsule nutriënten zal een grote toekomst tegemoet gaan. Niet alleen om ziekte te voorkomen, maar ook om bijvoorbeeld de calorieënnamen te beperken. Bijvoorbeeld door het ontwikkelen en toevoegen van nanocapsules aan (zuivel)producten, die leiden tot een langdurige prikkeling van specifieke verzadigingsreceptoren voor bijvoorbeeld vetten of koolhydraten, en derhalve ook tot een verminderde inname van calorierijk voedsel leiden. Anderzijds kunnen ook de micro en nano structuur [12], alsmede de smaakintensiteit worden verhoogd [13], waardoor ook eerder een gevoel van verzadiging kan optreden. Eventueel dit ook in combinatie met interessante menuvariaties. Sonja Bakker anno 2020 belooft U mogelijk dan niet alleen een slank voorkomen, maar vooral ook een lang(er) leven, door een “geniet, maar eet met mate” voorschrift, mogelijk gemaakt door nanotechnologie.

➤ VOEDING MONITOREN

De voortdurende controle op de kwaliteit van voedsel, tijdens productie, tijdens vervoer naar de winkel, tijdens de aanbestedingsperiode in de winkel, en tijdens verblijf bij de consument thuis, zal de komende decennia alleen maar toenemen.



Figuur 7 Het toepassen van RFID tags op voedingsmiddelen die plaats van herkomst, tijdstip van productie en vervoergegevens vastleggen zal steeds meer ingeburgerd raken.

10 Nanotechnologie

Nu al wordt tijdens het vervoer gebruik gemaakt van Radio Frequency Identification (RFID) tags, die plaats van herkomst en tijdstip van productie aangeven op de verpakking. Ook worden al actieve RFID tags ingezet, die bijvoorbeeld gegevens als luchtvochtigheid en temperatuur semi-continu wegschrijven op de RFID chip. Door te 'tracken' en te 'tracen' wordt zodoende de hele lading gevolgd en kan de kwaliteit van het product nauwlettend in de gaten worden gehouden. Top-down kan de nanotechnologie hierbij helpen door de RFID tags nog verder te miniaturiseren, waardoor ze veel goedkoper kunnen worden gemaakt. Verwacht wordt dat de prijs van enkele eurodubbeltjes nu zal terugzakken tot eurocenten binnen tien jaar. Het landelijke programma Point-One gericht op nanoelektronica en embedded systemen kent een thema "More than Moore" waarin op de ontwikkeling van dit soort toekomstscenario's wordt geanticipeerd.

Nano4Vitality, Wageningen Centre Food Science en Food and Nutrition Delta ondersteunen anderzijds interessante publiek-private initiatieven op het gebied van functionele en persoonlijke voeding.

❖ UITSTEKENDE GEZONDHEID EN NANOTECHNOLOGIE

De afgelopen eeuw is de gezondheid, alsmede de gemiddelde levensverwachting sterk toegenomen, en is voor de Nederlandse bevolking gestegen van ca. 50 tot 80 jaar. Sommige artsen beweren dat dit vooral komt door hun goede werken. Andere artsen beweren dat dit vooral komt door de verbeterde algehele aandacht voor persoonlijke hygiëne [14]. Sommige artsen en niet-artsen beweren dat het vooral komt door een betere beschikbaarheid van goede voeding voor iedereen. Weer anderen [15] beweren dat dit komt omdat we niet meer zo hard hoeven te werken als vroeger.

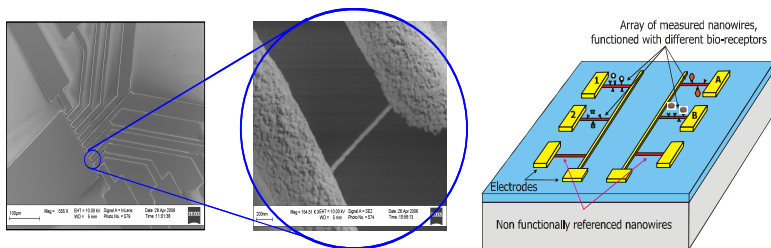
Aan de andere zijde wordt de hedendaagse mens meer en meer geconfronteerd met aandoeningen gerelateerd aan een overvloed van voedsel, zoals obesitas, diabetes, alsmede hart- en vaataandoeningen. In de voorgaande eeuwen waren het juist ziektes gerelateerd aan een tekort aan bepaalde voedingsstoffen die hun tol eisdten, zoals rachitis, scheurbuik etc. Studies [16] laten zien dat ons metabolisme meer is ingesteld op het opheffen van tekorten dan in het opheffen van een overvloed aan voedingsstoffen. Dit kan er op duiden dat we gedurende onze evolutie meer verbleven en ons aangepast hebben in een omgeving van voedselschaarste (savannes) dan in de Hof van Eden (vgl. paradijs). Een zelfde beeld geldt voor de toename van aandoeningen, zoals Chronic Obstructive Pulmonary Diseases (COPD) en allerlei allergieën, die gerelateerd kunnen zijn aan een langdurig verblijf in een niet natuurlijke omgeving. Onze moderne maatschappij zal de komende decennia zich steeds meer gaan richten op de gezondheid en het algehele welbevinden van haar bewoners. De mens zal de mens derhalve steeds meer een zorg worden [17]. De toenemende leeftijdsverwachting alsmede de toename van welvaart gerelateerde ziekten zullen de wetenschap hernieuwd uitdagen om oplossscenario's te schetsen en te valideren.

Wat kunnen we van de nanotechnologie verwachten op het gebied van gezondheid:

- Vroegtijdige diagnose
- Persoonlijke preventieve medicijnen
- Vriendelijk toedienen van medicijnen

➤ VROEGTIJDIGE DIAGNOSE

Veel aandoeningen laten zich beter behandelen naarmate we er eerder weet van hebben. Voor ernstige ziektes, zoals kanker en hartfalen, kan dit een zaak van leven of dood betekenen. Voor minder ernstige aandoeningen is het op zijn minst prettig dit te weten, vooral als een vroegtijdig ingezet dieet of levensstijl verandering het uitbreken van een ziekte kan voorkomen. Het in een vroeg stadium opsporen van een op handen zijnde ziekte of gebrek zal derhalve een grote vlucht nemen. Nu al worden zogenaamde 'Total Bodyscans' aangeboden, die een update geven van de algehele gezondheid, inclusief een check op een aantal vaak voorkomende afwijkingen. Vanwege de huidige stand van de medische technologie en de immer alerte handelsgeest zijn deze scans nog lang niet voor iedereen betaalbaar. Toch blijft het een gegeven, hoe eerder een afwijking wordt opgespoord, hoe groter de kans op genezing. Wat kan de nanotechnologie hier betekenen? Veel afwijkingen en latente ziektes kenmerken zich door een verhoogde aanwezigheid van bepaalde eiwitten of antilichamen in bloed of lymfevocht. Het gaat soms om minieme concentraties, nanomolen (10^{-9} mol/l) of nog minder. Een voorbeeld van recent gestart onderzoek 'Biosensing with Nanowires' is het detecteren van subnanomol concentraties van specifieke eiwitten met behulp van nanodraadjes [18].

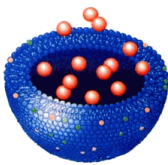


Figuur 8 Lay-out van een nanowire sensor (links) met een individuele 'wire' (midden), en een lay-out van een biofunctionaliseerde nanowire chip (rechts).

De nanodraadjes hebben een diameter vergelijkbaar met de diameter van een eiwit molecuul, waardoor het mogelijk is om de binding van slechts één biomolecuul al te detecteren [19]. Gevoeliger kan het dus bijna niet.

➤ **PERSOONLIJKE PREVENTIEVE MEDICIJNEN**

Geen mens is hetzelfde, volgens biochemici is iedere mens een biochemische eiwitfabriek draaiende op een unieke selectie van ca. 25.000 genen (fabrieksinstellingen) met een intermenselijke variatie van minder dan ca. 1%. Het totaal aantal intermenselijk verschillende eiwitfabrieken dat je hiermee kunt maken is groter dan het totaal aantal geschatte atomen in het gehele universum[20]. Daarnaast worden bepaalde vooraf geprogrammeerde instellingen van elk zo'n eiwitfabriek voortdurend aangepast aan de beschikbaarheid van zijn grondstoffen, in dit geval van zijn voedsel voorziening. Op de persoon, ofwel op iedere eiwitfabriek, afgestemde individuele voeding kan bijdragen aan het voorkomen van vroegtijdige slijtage, ofwel het voorkomen van ziekte of gebreken op latere leeftijd. De eiwitfabriek kan ook ontsporen en zwarte rook produceren; één of meer fabricage processen hebben het dan opgegeven of zijn voor zichzelf begonnen; de mens in de eiwitfabriek is dan ziek. Grondstoffen helpen dan niet meer, alleen nog tijd plus de hoop op zelfherstelling, of een allopathische of homeopathische arts laten komen die adequaat oliet en ingrijpt in het ontspoorde fabricage proces.



De nanotechnologie kan hier te hulp schieten en op de persoon afgestemde nanomedicijnen meegeven. Deze nanomedicijnen kunnen dan verpakt worden in nanocapsules. Capsules die bijvoorbeeld in staat zijn na inname of toediening naar de zieke plaats te reizen en daarna op een geschikt seintje wachten vooraleer ze opengaan en hun heilzame werk kunnen doen. Het ontwikkelen van dit soort nanocapsules zal een grote toekomst tegemoet gaan, niet alleen dus voor nutriënten, zoals we eerder zagen maar ook in dit geval voor medicijnen [21]. De farmaceutische industrie heeft deze nieuwe markt reeds ontdekt en zal, nu het tijdperk van de gepatenteerde 'blockbusters' vrijwel is afgelopen, zich meer gaan richten op de ontwikkeling van medicijnen voor potentieel kleinere doelgroepen. Verwacht wordt dat er voor iedere mens een persoonlijke combipil zal worden voorgeschreven, die bijvoorbeeld bestaat uit een mix van functionele nutriënten en preventieve medicijnen, bijvoorbeeld een pil met selenium, foliumzuur, omega vetzuren en aspirine. De scheidslijn tussen nutriënten en medicijnen zal steeds moeilijker te vinden worden, alleen wetgeving kan hierin een duidelijke lijn stellen.

➤ **VRIENDELIJK TOEDIENEN VAN MEDICIJNEN**

Het slikken of spuiten van medicijnen is van kinds af aan al geen pretje, zeker als je ziek bent. Niet alleen smaken de meeste pillen vies, je bent ook ziek en derhalve prikkelbaar. Daarentegen als je gezond bent, ben je

14 Nanotechnologie

vooral gericht op een goede voedselinname, maar zodra je gezondheid minder is wil je vooral eerst weer beter worden. Veel medicijnen hebben vaak ook één of meer bijwerkingen en vormen zo een extra belasting voor de gezondheid en vertragen het ik ben weer beter gevoel. Chronische zieken hebben het niet makkelijk en voelen zich vaak verplicht er alles aan te doen om het langdurig ziek zijn zo comfortabel mogelijk in te richten. Nieuwe patiënt vriendelijke toedieningsvormen van medicijnen staan sterk in de belangstelling, ook bij de nanotechnologie. Een interessante ontwikkeling is de mogelijkheid om bepaalde medicijnen gedoseerd te inhaleren in plaats van te spuiten [22].



Figuur 9 Het inhaleren van medicijnen (rechts) in plaats van injecteren (links) zal patiënt vriendelijker worden ervaren.

Door middel van nanotechnologie kunnen zeer scherp gedefinieerde neveldruppeltjes worden gemaakt, die afhankelijk van hun grootte naar een zeer specifiek gebied van de longen kunnen worden gestuurd. Toepassingen liggen in het bereik van COPD aandoeningen en ook voor het gedoseerd inhaleren van insuline. Een andere ontwikkeling betreft geminiaturiseerde nanopompjes, die in staat zijn zeer exact onderhuids een bepaald medicijn gedoseerd af te geven, op basis van gegevens van een geïntegreerde sensor. Een andere patiënt vriendelijke toedieningsvorm is het onderhuids aanbrengen van biodegradeerbare nano en microcapsules gevuld met medicijnen. Deze capsules laten het medicijn met een redelijk gelijkmatige dosis vrijkomen gedurende een langere tijd (van enkele weken tot enkele jaren).

❖ ZUIVER WATER EN NANOTECHNOLOGIE

In de middeleeuwen en lang daarna dronken we in Nederland meer bier dan water [23]. We wisten ons zelden en dachten dat wassen slecht was voor de gezondheid en alleen noodzakelijk voor de zieken. Tegenwoordig weten we beter en we zien het ook als onze missie schoon en betrouwbaar water voor iedereen in de wereld toegankelijk(er) te maken. Dit is geen gemakkelijke opgave, de wereldconsumptie van water verdubbelt iedere 20 jaar en dat is zowat twee maal sneller dan de aanwas van de wereldbevolking. De Verenigde Naties schatte in 2005 dat ca. 1.3 miljard mensen geen adequate toegang heeft tot schoon en veilig drinkwater. Ca. 97% van het water op aarde is zeewater, ca. 3% is zoet water waarvan ca. 2.5% in de vorm van ijs, 0.4% als grondwater en ca. 0.02% als oppervlaktewater [24]. Ongeveer 3/4 van alle regen valt in gebieden waar slechts 1/3 van de wereldpopulatie leeft.

Wat kan de nanotechnologie hier betekenen:

- Verontreinigd water zuiveren
- Kwaliteit van water monitoren
- Energie en water

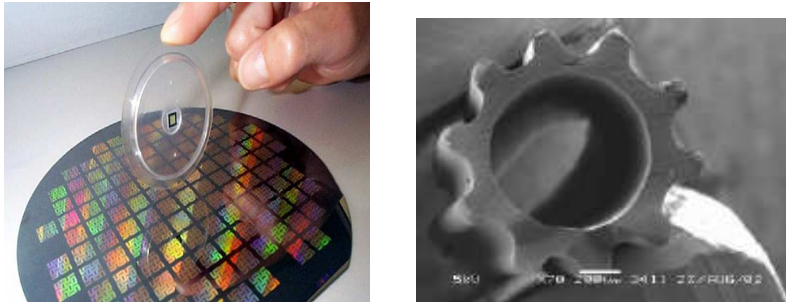
➤ VERONTREINIGD WATER ZUIVEREN

Voor het zuiveren van verontreinigd water worden tal van scheidingstechnologieën toegepast. Belangrijke methoden zijn filtratie, adsorptie, oxygeneren en UV-behandeling. Nanotechnologie kan in een aantal gevallen deze methoden verder optimaliseren en nieuwe routes aangeven. Een paar voorbeelden.

Filtratie bestaat uit het wegvangen van de grotere deeltjes uit een oplossing met allerlei gesuspendeerde deeltjes (algen/micro-organismen/mineralen) en opgeloste bestanddelen (zouten). Veelal worden hiervoor membranen ingezet en al enige decennia worden de filtratieregimes gehanteerd zoals Microfiltratie, Ultrafiltratie, Nanofiltratie en Omgekeerde Osmose. Opmerkelijk is hierin het nanofiltratie regime, een begrip dat al is ingevoerd rond 1985, maar dit terzijde. Met microfiltratie kunnen micro-organismen worden verwijderd, in dit regime valt ook de steriele filtratie, liggend bij 220-450nm. Met ultrafiltratie kunnen virussen worden verwijderd, met nanofiltratie de nanodeeltjes tussen 1nm en 10nm, en met RO filtratie de allerkleinste deeltjes, zoals zoutionen. Op het gebied van waterfiltratie vervult niet alleen Nederland maar ook de stadstaat Singapore een voortrekkersrol. In Singapore is de ambitie om vrijwel al het afvalwater te hergebruiken en weer geschikt te maken als drinkwater. Hiertoe wordt een cascade van ultrafiltratie en omgekeerde osmose (RO)-

16 Nanotechnologie

membranen toegepast, die alles uit het water halen tot en met de allerkleinste opgeloste deeltjes. Het water is daarna in principe drinkbaar, maar voor de veiligheid van microbiële besmetting wordt een extra UV-behandeling toegepast. Het een en ander is te zien in de zogenaamde NEW water plant, waar tevens grootschalige voorlichting wordt gegeven en het Singaporese publiek psychologisch wordt voorbereid op het drinken van haar eigen gezuiverde afvalwater. Met nanotechnologie kunnen nieuwe type membranen voor waterfiltratie worden ontwikkeld, waarbij met name de controle op de poriegrootte van wezenlijk belang is.



Figuur 10 Microzeef (links) gemaakt met nanotechnologie [25] en een micro-structureerd capillair membraan (rechts).

Ook kan water behandeld worden met allerlei adsorptiematerialen die selectief bepaalde bestanddelen uit het water halen, zoals ijzer en mangaan verontreinigingen. Adsorptiematerialen op basis van nanodeeltjes hebben het voordeel van een zeer gunstige oppervlakte/inhoud verhouding, waardoor met weinig bulkmateriaal toch een groot adsorberend vermogen wordt bereikt. Nanodeeltjes op basis van ijzerhydroxide zijn in staat het zeer giftige arsenicum uit het water te halen. Belangrijk is wel dat de nanodeeltjes zelf achterblijven voordat het water naar de gebruiker wordt gebracht. Dit gebeurt door alle nanodeeltjes in een geschikte poreuze polymeren drager vast te zetten. Voor het afdoden van micro-organismen in water wordt thans veelal een UV/ozon/peroxide behandeling toegepast. Het UV licht heeft een dubbele werking: enerzijds door direct het DNA materiaal van de micro-organismen te beschadigen, en anderzijds door reactieve zuurstof radicalen (ozon) te produceren in combinatie met peroxide. UV behandelingen zijn relatief duur, een terugkoppelmechanisme om de mate van bereikte afdoding snel te kunnen vaststellen is zeer gewenst. Nanotechnologie kan hierin een rol vervullen.

➤ KWALITEIT VAN WATER MONITOREN

Het ontwikkelen van innovatieve meet- en regeltechnieken om de waterkwaliteit te monitoren staat sterk in de belangstelling. Voor het vroegtijdig kunnen signaleren van oplopende concentraties schadelijke stoffen bij de inname van oppervlakte en rivierwater voor verdere zuivering is dit van duidelijk belang. Het continu of semi-continu kunnen meten van de concentraties van bijvoorbeeld toxines, herbicides, maar ook van micro-organismen tegen acceptabele kosten zou een uitkomst kunnen betekenen. We zagen al eerder dat sensoren op basis van nanowires aanbevolen werden voor vroegtijdige diagnose van bepaalde ziekten. Hetzelfde geldt hier voor de vroegtijdige signalering van oplopende concentraties schadelijke stoffen in water toepassingen. Hiertoe is inmiddels ook een onderzoek gestart 'Sensing water contaminants with nanowires'.



Figuur 11 Lab on a Chip systeem [25].

Met de top-down benadering van de nanotechnologie kan een water monitorings-systeem ook volledig geminiaturiseerd worden, we spreken dan van een Laboratorium op een Chip. De buizen, destillatiekolommen en erlenmeyer's zijn dan niet meer nodig voor een wateranalyse. Een klein eventueel opgeconcentreerd water sample kan aangeboden worden aan zo'n geminiaturiseerd lab-systeem, (in figuur 11) ter grootte van een Chipkaart, waarna verwerking, analyse en uitslag snel volgt. Het besturingssysteem van zo'n minilab vindt bij voorkeur met een laptop plaats, en in de toekomst natuurlijk met uw Blackberry of Palmtop.

➤ ENERGIE EN WATER

Witte energie is het omzetten van vallend water in elektriciteit. Hierbij levert het water dus energie op. Binnen Wageningen Universiteit lopen

18 Nanotechnologie

onder meer twee onderzoeksprojecten om met water energie te maken. Het ene project betreft het onttrekken van energie wanneer zout en zoet water met elkaar worden gemengd en in een ander project worden micro-organismen ingeschakeld, die via biogekatalyseerde elektrolyse van afvalwater direct waterstof opleveren.

Water zuiveren kost normaliter vrijwel altijd energie. De hoeveelheid energie om een bepaalde hoeveelheid water te zuiveren wordt bepaald door onder meer de gebruikte zuiveringstechniek, de kwaliteit van het ingangs- en van het gewenste uitgangswater. Afhankelijk van de locatie in de wereld zullen verschillende methoden van watervoorziening en waterzuivering worden toegepast. In de meer dichtbevolkte geïndustrialiseerde gebieden ligt een gecentraliseerde waterzuivering en waterlevering voor de hand, in minder dichtbevolkte en minder geïndustrialiseerde landen dient dit vooral decentraal te geschieden. Water zuiveren kost energie, en energie kost geld. Om zuiver water voor iedereen in de wereld toegankelijk en betaalbaar te maken dienen we ook alternatieve energiebronnen te ontwikkelen, het liefst schone energiebronnen voor het verkrijgen van zuiver water. Nanotechnologie kan hierin een rol vervullen.

❖ SCHONE ENERGIEBRONNEN EN NANOTECHNOLOGIE

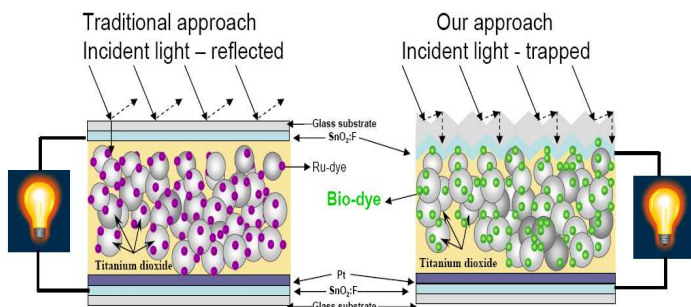
In de zeventiger jaren van de vorige eeuw kwam je op de achterkant van een auto wel eens een sticker tegen met het opschrift “Iedereen wil terug naar de natuur, maar niemand wil lopen”. Degene die niet, of niet uitsluitend, wil lopen zal dan vroeg of laat een beroep willen doen op een vervoermiddel, en die behoefte, U raadt het al, energie. Het kost evenwel niet alleen energie om zo'n vervoermiddel te laten voortbewegen, maar ook het maken van het vervoermiddel zelf kost energie. De mobiliteit van de hedendaagse mens kost veel energie, een schatting is dat ca. 20% van de mondiale energie gebruikt wordt voor het maken en voortbewegen van zijn vervoermiddelen. De mondiale energieconsumptie bedraagt thans ca. 14 miljard kilowattuur per dag, dit zijn 200 miljoen olievaten per dag, en is tot nog toe ongelijk verdeeld in de wereld [26]. Verwacht wordt dat ondanks alle voorgenomen matigingen er op zijn minst een verdubbeling van de energieproductie nodig is om een ieder in deze wereld van de noodzakelijke energie te voorzien.

In 2002 zei nanotechnoloog en Nobelprijswinnaar Richard Smalley [27] dat er een international energieprobleem dreigt en dat nanotechnologie oplossingen kan aanbieden. Zo kan nanotechnologie een bijdrage leveren aan een omzetting van onze bestaande energie “voorraadbronnen”, zoals gas, olie en steenkool, naar een meer schonere vorm zonder dat bijvoorbeeld bij de verbranding allerlei roetdeeltjes en stikstof of zwaveloxiden vrijkomen. Zo kan onder meer gebruik worden gemaakt van kobalt nanodeeltjes die eerst gas omzetten naar een superschone dieselolie, of kan steenkool worden omgezet naar een vloeibare of gasachtige vorm. Nanotechnologie biedt hierbij inzicht en controle op hoe moleculen worden gekoppeld en ontkoppeld aan het oppervlak van een katalysator.

Zo kan nanotechnologie ook een belangrijke bijdrage leveren aan het ontwikkelen van alternatieve energiebronnen, bijvoorbeeld aan de komende waterstof economie, maar ook aan zonne-energie. Dagelijks valt er ca. 165.000 terawatt aan zonnestraling op aarde, dit is ca. 10.000 maal de huidige mondiale energieconsumptie per dag. Nanotechnologie kan vooral een rol spelen bij het efficiënter omzetten van de zonnestraling naar elektriciteit, en het ontwikkelen van zeer goedkope zonnecellen. De efficiëntie van de actieve laag in een zonnecel, hangt af van het type zonnecel, ca. 20% voor de klassieke silicium zonnecel, en 4-12% voor de meer moderne varianten, zoals de Grätzel, de dunne film Si, de KoperIndiumDisulfide (CIS), en de polymeren zonnecel. Juist de laatste varianten zijn (potentieel) veel goedkoper te fabriceren en bovendien

20 Nanotechnologie

worden de efficiënties van deze types ieder jaar hoger. Prijs is een belangrijk issue als men bedenkt dat de energieprijis van de *uitontwikkelde* silicium zonnecel nog steeds ca. 10 maal de huidige energieprijis per kilowattuur is, alternatieven zijn dringend welkom.



Figuur 12 De efficiency van een Grätzel zonnecel kan verder worden verhoogd door enerzijds nieuwe biokleurstoffen (bio-dye) te ontwikkelen en anderzijds door het aanbrengen van een micro/nanostructuur voor een betere transmissie van het licht naar de actieve laag.

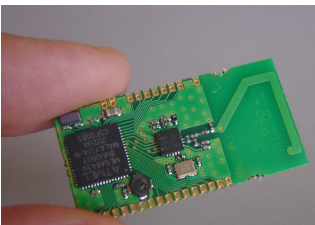
Momenteel wordt binnen de leeropdracht gekeken naar samenwerking met de Plant Sciences Groep betreffende de verhoging van de efficiency van zonnecellen door het aanbrengen van een micro/nanostructuur aan het zonnecel oppervlak.

❖ MEEDENKENDE LEEFOMGEVING EN NANOTECHNOLOGIE

De mens is behept met vijf zintuigen, waarmee hij kan horen, zien, tasten, proeven en ruiken. Sommige kunstenaars zoals de musicus, de kunstschilder, de beeldhouwer en de meesterkok weten ze soms voortreffelijk met aandacht te ontwikkelen en te gebruiken, om hiermee weer zintuigen van anderen te prikkelen. Onze zintuigen zijn in eerste instantie feitelijk organen, die bedoeld zijn om de prikkels uit de buitenwereld in gewaarwordingen om te zetten, waardoor wij kennis van die wereld kunnen verkrijgen. Welnu de moderne tijd heeft de mens ook een aantal extra middelen gegeven, waardoor wij snel kennis van de naaste omgeving om ons heen kunnen verkrijgen, zoals internet voor informatie, de mobiele telefoon voor direct overleg, en de Tomtom om ons naar onze bestemming te leiden [28]. Deze middelen zijn ook wel te zien als verlengde zin/werktuigen, waarmee wij in verbinding staan, en die ons op commando van dienst zijn.

Wellicht heeft U het begrip 'Ambient Intelligence' wel eens gehoord. Hieronder kunnen we een omgeving verstaan die letterlijk met ons meedenkt en desgewenst kan anticiperen op onze soms deels onuitgesproken behoeften. De moderne auto creëert een dergelijke omgeving, waarbij de ruitenwissers worden ingeschakeld wanneer er neerslag op de ruiten wordt geregistreerd. En bij hevige neerslag gaan automatisch zelfs de ramen dicht, mochten ze openstaan. Dit hoeven we dus niet zelf meer te activeren, het wordt voor ons gedaan.

Feitelijk vormt deze meedenkende omgeving een soort van tweede autonoom zenuwstelsel, die zaken regelt waar we zelf niet altijd meer bewust bij hoeven na te denken.



Figuur 13 Configuratie van een autonome wireless sensor node, courtesy CHESS BV, Haarlem.

Wat kan de nanotechnologie hier betekenen:

- Nanoelektronica
- Sensor node netwerken

➤ NANOELEKTRONICA

Wellicht herinnert U zich nog het debat in de negentiger jaren van de vorige eeuw of een machine de wereldkampioen schaken zou kunnen verslaan. Het waren de jaren van Bobby Fischer, Karpov en Kasparov. Uiteindelijk durfde Kasparov in 1996 de uitdaging aan, hij won en verloor van de IBM computer *Deep Blue*. In 1997 bij een tweede match onder normale matchcondities verloor hij vaker dan hij won. Goed zult U zeggen een machine is geen mens, maar de machine bleek toch in staat om door stug door te rekenen een grootmeester met gevoel, strategie en inzicht en wat al dies niet meer zij? in het stof te laten bijten. *Deep Blue* had een reken capaciteit van enkele Mbytes en was een klein fortuin waard. Vandaag de dag koop je voor 1000 euro een PC met een processorcapaciteit van meer dan 1000 Mbytes. Simultaanschaken tegen 100 grootmeesters zou geen probleem hoeven te zijn, evenmin als het winnen daarvan. Goed zegt U het gaat maar om schaken, de mens kan nog zoveel meer. Inderdaad de mens bezit ongeveer 1 Petabit (10^{15}) aan hersencellen. Echter de voortgang in de nanoelectronica maakt dat een rekenprocessor van 1 Petabit anno 2030 te koop zal zijn voor 1000 euro, en zie dan de geboorte van uw (bionano) e-partner.



Figuur 14 Anno 2030 zullen robots uitgerust zijn met ca. 1 Peta (10^{15}) processorbits. De mens bezit eveneens ca. 1 Peta aan hersencellen.

U kunt hiermee schaken, maar ook 'go' spelen, U kunt haar upgraden met meer geheugen, U kunt haar aan en uit zetten, en voor een goed gesprek of een weddenschap hoeft U niet meer naar het café, sterker nog U legt het waarschijnlijk altijd tegen haar af. Menig man zal zich de vraag dienen te stellen of hij zo'n (meedenkende) partner wel naar het beloofde land zou willen meenemen.

➤ SENSOR NODE NETWERKEN

In het beloofde land zal een verborgen infrastructuur zijn aangelegd met een veelvoud aan sensoren, die uw voorgenomen acties zoveel mogelijk

gaan ondersteunen. De sensoren zullen onderling met elkaar kunnen communiceren via draadloze netwerken. Ze zullen zo klein mogelijk worden uitgevoerd om niet op te vallen en om batterij vermogen te besparen. Door de onderlinge communicatie zijn ze in staat gezamenlijk beslissingen te nemen, risico's en kansen tegen elkaar af te wegen, elkaar ook te activeren om bepaalde sensoren meer gedetailleerd informatie te laten geven, of om een sensor input signaal te valideren. Bij twijfel aan een bepaalde sensor kan deze door het verbonden netwerk worden gedeactiveerd. We zagen al eerder dat sensoren op basis van nanodraadjes zeer gevoelig zijn. Dat is niet het enige, het nanodraadje is zeer klein, en een nanodraadje gebruikt in sluimertoestand niet veel meer dan enkele nanowatts aan energie, en bij activatie niet veel meer dan enkele microwatts. Binnen de leeropdracht lopen een aantal initiatieven met nanodraad sensor netwerken. Zo is er een project gestart om met behulp van nanodraadjes minieme waterstof concentraties te meten over een groot gebied rondom het waterstof tankstation van de toekomst. De sensoren kunnen onderling met elkaar communiceren middels een draadloos netwerk van nanodraadsensoren. Het project heeft als titel "nanodraadloos", ik hoop dat U het nog begrijpt. Een tweede project met nanodraadjes netwerken behelst het meten van koolzuurgas in kassen. Een verdubbeling van de natuurlijke koolzuurconcentratie (35 ppm) kan leiden tot een meeropbrengst van het geteelde gewas met 20-30%.



Figuur 15 De kassenteelt zal een grotere opbrengst kunnen realiseren door het toepassen van smart wireless sensornode netwerk systemen.

De metingen kunnen niet alleen gebruikt worden voor het regelen van de koolzuur concentratie maar ook van het open en dicht gaan van ramen en daken op verschillende plaatsen in de kas evenals het aan of uitzetten van de kunstmatige verlichting. Het vinden van de optimale settings voor al deze parameters zal de teler niet meer zelf hoeven te doen. Het sensor

24 Nanotechnologie

netwerk zal door aangelegde zelflerende eigenschappen dit grotendeels zelf kunnen doen.

❖ RISICO'S EN NANOTECHNOLOGIE

In het boek Exodus wordt verhaald over tien plagen die neerdalen op Egypte, van een kikkerplaag tot de dood van alle eerstgeborenen. Kan nanotechnologie een elfde plaag [29] te weeg brengen?. Een voorbeeld van een nanoplaag is genoemd door Eric Drexler [30] in zijn boek 'Engines of Creations'. Nanobots zijn moleculaire robotjes die zichzelf makkelijk kunnen vermenigvuldigen. Doordat ze in principe alle materie als grondstof kunnen gebruiken is het een kwestie van tijd totdat de rest van de wereld uitsterft. Nanobots lijken in dit opzicht een beetje op uit de natuur voortgekomen virussen [31], die dood en verderf kunnen zaaien.



Figuur 16 Nanobots zijn door de mens bedachte [32] zelfreplicerende vernietigingsmachientjes.

Een tweede voorbeeld van een nanoplaag komt voort uit de zeer kleine omvang van de nanodeeltjes. Nanodeeltjes zijn zo klein dat ze zonder moeite door de celwand in een cel kunnen komen waardoor ze ook deze kunnen beschadigen en/of beïnvloeden. Sommige vrezen dat de ontwikkelingen op het terrein van de nanowetenschap en nanotechnologie zo snel zullen verlopen, dat toxicologisch onderzoek naar schadelijke effecten op de gezondheid en het milieu erg achter kunnen gaan lopen op deze ontwikkelingen. Voorts is het belangrijk het onderscheid te maken tussen gevaar en risico. Risico is altijd het product van gevaar en eventuele blootstelling aan dit gevaar. Zolang de blootstelling gering is zal navenant het risico geringer zijn. De overheid heeft de verantwoordelijkheid hier scherp op te letten en hiervoor dwingende wetgeving te maken. Een belangrijke taak is ook weggelegd voor de bestuurders van de academische en industriële nanoonderzoekscentra om een adequaat gedeelte van het onderzoeksbudget voor studies naar mogelijk schadelijke effecten en dito risico's beschikbaar te stellen.



Figuur 17 Nieuwe technologie scheidt zowel kansen als bedreigingen.

➤ **DANKWOORD**

De leeropdracht Microsysteem en Nano Technologie voor Agro, Voeding en Gezondheid is een fascinerende onderneming.

Prof. dr. E. Sudhölter, beste Ernst, jij hebt het initiatief genomen voor het instellen van deze leerstoel en ik wil jouw op de eerste plaats bedanken voor het vertrouwen dat jij in mij hebt gesteld en voor de inspanning die je hebt opgebracht om de benoemingsprocedure volgens het volledige protocol te laten doorlopen. Ik hoop dat we in de nabije toekomst, jij vanuit Delft, een vruchtbare Delfts-Wageningse samenwerking kunnen opzetten.

Leden en ex-leden van het College van Bestuur van de Wageningen Universiteit, ik dank U voor mijn benoeming.

Prof. dr. M. Cohen Stuart, beste Martien, ik kijk uit naar de samenwerking op het bionano vlak en hoop veel van je te kunnen leren evenals van collega prof. dr. Willem Norde.

Prof. dr. R. Boom, beste Remko, jij bent een van de eerste pioniers op het gebied van toepassingen van Microsysteem Technologie in de Proceskunde. Ik heb respect voor je inzet, kennis, kunde en innoverend vermogen.

Prof. dr. E. van der Linden, beste Erik, we kennen elkaar nog uit de vakgroep Fysische Chemie uit Leiden. Ik hoop dat we elkaar hier in Wageningen nog beter gaan leren kennen. Ik zie er naar uit om te bezien of we gezamenlijk een cursus "*Nanotechnology is Cooking*" kunnen starten.

Prof. dr. H. Zuilhof, beste Han, jij bent een excellente wetenschapper en zeer vertrouwd met samenwerking met de industrie. Ik kijk uit naar een plezierige samenwerking met jou en de gehele leerstoel Organische Chemie onder jouw leiding.

Dr. F. Kampers, beste Frans, jij geniet een uitstekende reputatie op het gebied van bionanotechnologie. Ik weet bijna zeker dat het Centrum voor Bionanotechnologie onder jouw bezielende leiding een gezonde toekomst tegemoet gaat.

Zonder reclame te maken wil ik hierbij al mijn industriële relaties en vrienden danken voor het vertrouwen dat jullie mij hebben geschonken en voor hetgeen jullie zelf hebben bijgedragen aan een goede samenwerking.

Mijn ouders wil ik danken dat ze me altijd hebben vrijgelaten mijn eigen keuze te mogen vervolgen.

Niet in de laatste plaats mijn gezin. Armgard door jouw onvoorwaardelijke liefde en voorwaardelijke steun kon ik het werk aan. Christiaan en Maurits, aan jullie is de toekomst. Kijk om jullie heen en kijk als het kan en mag ook verder.

Op de laatste plaats wil ik mijn collega Wietze Nijdam bedanken. We hebben de afgelopen twaalf jaar samen een wereldreis in de micro en nanotechnologie mogen meemaken. Je hebt vele noten op je zang, ik ben benieuwd waar jouw muziek nog meer zal gaan klinken [33].

Ik ben ook benieuwd, of we daadwerkelijk het nieuwe beloofde land binnen zullen gaan, ik kan en zal het U niet beloven. Wel heeft U hopelijk een aantal nieuwe aspecten van melk en zuivelproducten leren kennen. De melk vloeide rijkelijk, net zoals in het Beloofde Land. En wat betreft de honing, sluit ik me graag aan bij de belofte van de regering, de honing, dat is het zoet: het zoet houdt U tegood, dat komt later.

Geachte aanwezigen, ik dank U voor uw aandacht.

➤ CURRICULUM VITAE



Prof. Dr. Cees J.M. van Rijn studeerde natuurkunde van de vaste stof aan de Vrije Universiteit van Amsterdam. In 1989 promoveerde hij op kernspin relaxatiegedrag van geladen macromoleculen aan de Universiteit van Leiden. Daarna was hij werkzaam bij Philips Eindhoven op het gebied van halfgeleidertechnologie en was onder meer betrokken bij het 'Megachip' project. Vanaf 1994 is hij als ondernemer werkzaam aan de universiteit van Twente. Hij heeft inmiddels vier small-tech (micro/nano) bedrijven opgericht op het gebied van membraanfiltratie (www.aquamarijn.nl), emulsificatie (www.nanomi.com), drug delivery (www.medspray.com) en nanowire sensing (www.nanosens.nl). Hij is clusterleider Microchannel technologie van het nationale MicroNed programma, en is sinds 2003 ook verbonden aan de TUDelft. Hij heeft onder meer bijgedragen aan wetenschappelijke artikelen gepubliceerd in *Journal of Micro Electro Mechanical Systems*, *Nanotechnology* en *Nanoletters*. In 2004 heeft hij een boek gepubliceerd 'Nano and Micro Engineered Membrane Technology', uitgegeven door Elsevier Amsterdam. Het boek behandelt een breed palet op het gebied van micro and nano filtratie, gas scheiding, biosensoren, photonics, katalyse, microbiologie, controlled drug delivery, nanopatterning, micro contact printing, atomisatie, en emulsificatietechnieken. Prof. van Rijn is sinds 2004 strategisch business en science adviseur van het *Laboratory for NanoTechnology* (LNT) van *Vietnam National University* te Ho Chi Minh City.

➤ REFERENTIES

1. Het Oude Testament, Numeri 14: 8.
2. Het Oude Testament, Jozua 1-12.
3. Soms wordt ook 100 nanometer als bovengrens genomen.
4. 29 December 1959, Annual Meeting American Physical Society, California Institute of Technology. De subtitel van de lezing is "An Invitation to Enter a New Field of Physics". Voor volledige lezing: www.zyvex.com/nanotech/feynman.html.
5. Een micel is een aggregatie van oppervlakte actieve stoffen gedispergeerd in een colloïdale oplossing.
6. C. Holt and P. Timmins, Modeling milk, the structure of calcium phosphate nanoclusters. www.ill.fr/fileadmin/users_files/Annual_Report/AR-97/page/08biolo.htm.
7. Colossus (1943) en Eniac (1946).
8. De prijs van het MST product hangt evenredig samen met het benodigde silicium oppervlak, typische MST producten zijn de airbag sensor, en de DLP beamer chip.
9. Ten tijde van het Megachip project, 1985-1990.
10. Wetmatigheid van Moore, voorspelt dat iedere achttien maanden het aantal schakelingen op een computerchip zal verdubbelen.
11. Vitamine B en C tegelijkertijd innemen is niet verstandig, tenzij de werkzame stoffen via een verschillend triggered release mechanisme vrijkomen.
12. M.R. Yeomans, Effects of palatability and learned satiety on breakfast intake in humans, *Physiology and Behaviour*, 86,487-499 (2005).
13. C. de Graaf, Effects of snacks on energy intake, *Appetite*, 47, 18-23 (2006).
14. Een belangrijke bijdrage is de reductie van de babysterfte.
15. Vooroorlogse generatie.
16. T.H. Jukes, The prevention and conquest of scurvy, beri-beri and pellagra, *Preventive Medicine* 877-883 (1989).

17. A. de Swaan, De mens is de mens een zorg : opstellen 1971-1981.
18. www.nanosens.nl.
19. F.Patolsky, C.M. Lieber et al., *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 101, 14017-14022 (2004).
20. Ca. 10^{78} - 10^{81} atomen in universum. Met ca. 250 genen zijn ca 250! (faculteit) combinaties te maken.
21. Nutriënten met een medische werking worden nutraceuticals genoemd, zie en.wikipedia.org/wiki/Nutraceutical.
22. www.medspray.com.
23. Gedurende het bierbrouwen wordt aanvankelijk het moutbeslag gekookt en hierdoor vrijgemaakt van ziektekiemen.
24. www.forestinfo.org/products/eco-links/water.htm.
25. "Nano and Micro Engineered Membrane Technology", C.J.M. van Rijn, Elsevier Amsterdam (2004), ISBN 0444 514899.
26. Deze hoeveelheid wordt geconsumeerd door ca. 1 miljard mensen in de geïndustrialiseerde wereld.
27. Ontdekker van de buckminsterfullerenen ook wel Buckyballs genoemd bestaande uit een constellatie van 60 koolstofatomen.
28. Navigatie apparaat, oorspronkelijk werden rooksignalen of trommel (tom-tom) geluiden gebruikt als medium.
29. "De elfde plaag", Wilbur Smith, ISBN 9022546574
30. "Engines of Creation", K. Eric Drexler, (1986) ISBN 0385199732. Foreword by Marvin Minsky of MIT. Minsky states, "Engines of Creation begins with the insight that what we can do depends on what we can build. This leads to a careful analysis of possible ways to stack atoms."
31. Er is een theorie dat de dinosauriërs zo'n 65 miljoen jaar getroffen werden door een supervirus, waarna ze massaal uitsterfden.
32. Minder fraai voorbeeld van Intelligent Design door de mens.
33. Op het treinstation in Eindhoven is een gevelsteen met een citaat van Adriaan Roland Holst: "Wie zich zijn eigen weg baant door de wereld, hoort in het leven eens zijn eigen lied".