

TECHNOLOGIES FOR THE FUTURE: LOOKING A DECADE AHEAD

Executive summary

Verkenningstudie uitgevoerd door Incentim,
onder leiding van Prof. dr. ir. K. Debackere, K.U.Leuven



i N C E N T i M

In opdracht van – en samenwerking met - Agoria Vlaanderen



Auteurs

Bart Van Looy
Koenraad Debackere
Petra Andries
Edwin Zimmermann
Julie Callaert
Arnold Verbeek

Projectleiding Agoria Vlaanderen

An Van de Vel
Wilson De Pril

VOORWOORD

Toekomstgericht denken en permanent vernieuwen, zowel in grote ondernemingen als in KMO's betekent **innoveren** – innoveren van producten, processen en managementaanpak. Heel wat studies geven aan dat er een duidelijk verband bestaat tussen de capaciteit tot innoveren binnen een onderneming – regio – land en de mate waarin economische groei wordt gerealiseerd. Innovatie is dus een van de meest kritische succesfactoren om in de toekomst competitief te blijven.

Innovatie vormt daarom – in al haar facetten – sinds vele jaren een rode draad doorheen onze activiteiten. We ontwikkelen heel wat initiatieven in dit domein, zowel gericht naar de overheid als naar onze ondernemingen.

Met voorliggend project willen we **een beeld krijgen van de technologisch evoluties** waarmee de ondernemingen uit de Agoria-sectoren binnen een termijn van 5-10 jaar zullen geconfronteerd worden. We hebben Incentim de opdracht gegeven van deze evoluties voor ons in kaart te brengen. Incentim is de onderzoeksdienst van de K.U. Leuven rond Innovatiemanagement, Wetenschaps- en Technologiebeleid en (High-Tech) Entrepreneurship en staat onder leiding van Prof.dr.ir. Koen Debackere.

Voor onze lidbedrijven die aan de spits staan in hun domein zal de studie normaal gezien een bevestiging brengen van hun eigen inschatting. Daarnaast zullen de conclusies voor aanverwante domeinen en de mogelijke kruisbestuivingen voor hen interessante nieuwe informatie opleveren. Voor de leden die niet onmiddellijk zelf met dergelijke toekomstverkenningen bezig zijn, zal de studie ongetwijfeld heel wat nieuwe inzichten brengen.

Binnen onze organisatie zullen we de resultaten **op verschillende manieren gebruiken**. Zo zullen zij de basis vormen voor verdere gerichte acties van Agoria Vlaanderen naar het beleid en naar de leden toe, ondermeer rond horizontale – technologie-onderbouwde - samenwerkingsverbanden. Ook de verschillende sectoren van de technologische industrie zullen hun sectorwerking verder kunnen versterken op basis van de bevindingen van dit onderzoek.

Tot slot zullen de tendensen die uit de studie naar voren komen, ook voor het WTCM en voor initiatieven zoals Flanders' DRIVE en het Samenwerkingsverband Machinebouw Vlaanderen heel wat toegevoegde waarde hebben.

We zijn echter van mening dat dergelijk onderzoekswerk verder moet **verdergezet en uitgebreid** worden. Toekomstverkenning vraagt immers regelmatige herhaling en is van groot belang voor gans Vlaanderen. Het lijkt ons dan ook aangewezen dat de Vlaamse overheid dit op een recurrente manier zou opnemen. Zij hoeft dit niet alleen te doen, maar zou zich kunnen aansluiten bij internationale initiatieven ter zake. Verder zou zij er ook voor moeten zorgen dat de informatie uit bv. Europese onderzoeken beter doorstroomt naar onze regio. Enkel zo zullen Vlaanderen en de Vlaamse ondernemingen zich optimaal kunnen inschakelen in de toekomstige evoluties.

Toekomstverkenning kan niet zonder de inbreng van heel wat mensen. Naast de onderzoekers van Incentim, die dit project gedreven en met kennis van zaken hebben aangepakt, hebben ook heel wat experts uit onze lidbedrijven, het WTCM en verschillende Vlaamse en buitenlandse universiteiten, instituten en organisaties hun steentje bijgedragen. Ik wil hen hiervoor **van harte danken**. Zonder hen was deze studie er niet geweest. Mijn bijzondere waardering en dank gaan ook naar An Van de Vel, adjunct-directeur en Geert Vanhaverbeke, adviseur Agoria Vlaanderen, voor hun niet aflatende inspanningen en kennis van zaken op het innovatiedomein.

Ik hoop dat onze leden en sectoren deze studie actief zullen ter hand nemen en er meer in de diepte mee aan de slag zullen gaan. Wij zullen dit in elk geval doen. Enkel als dit onderzoek aanleiding geeft tot een gamma van gezamenlijke activiteiten, nieuwe onderzoeksprojecten, samenwerkingsverbanden, ... en **finaal tot succesvolle innovaties** zullen wij geslaagd zijn in ons opzet.

Ik wens u in elk geval een vruchtbare lectuur !

Wilson De Pril
Directeur generaal

26 november 2001

INHOUDSTAFEL

INLEIDING: OBJECTIEVEN EN OPZET VAN DE STUDIE	5
DEEL 1: TECHNOLOGIEËN IN BEWEGING	11
Technologische ontwikkelingen: een overzicht	12
Implicaties van de technologische ontwikkelingen voor de leden van Agoria Vlaanderen	15
Kruisverbanden en kruisbestuiving: belang en relevantie van netwerkvorming	29
DEEL 2: EEN SELECTIE VAN TECHNOLOGISCHE ONTWIKKELINGEN NADER BEKEKEN	33
Informatie- en communicatietechnologie	
Life Sciences	33
Energie	38
Milieutechnologie	41
Materialen en aanverwante technologieën	44
Transport	46
Nanotechnologie	49
	53
BIJLAGE 1: KENMERKEN VAN EEN AANDACHTSPUNTEN INZAKE HET OPZETTEN VAN VERKENNINGSSTUDIES	57
BIJLAGE 2: PATENTEN	
	63
BIJLAGE 3: OVERZICHT VAN DE PERSONEN DIE EEN BIJDRAGE LEVERDEN TOT DE STUDIE	65
BIJLAGE 4: BRONMATERIAAL	
	69

INLEIDING: OBJECTIEVEN EN OPZET VAN DE STUDIE

OBJECTIEVEN VAN DE STUDIE

De laatste jaren is innovatie binnen Agoria Vlaanderen een strategisch aandachtspunt. Binnen dit kader heeft Agoria Vlaanderen in 2001 een technologieverkenningstudie opgezet, in samenwerking met INCENTIM, een onderzoeksdienst verbonden aan de Katholieke Universiteit Leuven. De doelstelling van deze studie bestaat erin om een beter inzicht te krijgen in de veelheid aan nieuwe ontwikkelingen, innovaties, die mogelijkwijze kunnen optreden in de loop van de komende jaren. Het gaat in deze studie echter niet enkel om technologie-gedreven evoluties; ook evoluties in bedrijfsmodellen, managementpraktijk en relevante maatschappelijke trends komen aan de orde.

Het creëren van dergelijk inzicht werd niet opgevat als een vrijblijvende inventarisatie-oefening. De relatie tussen de gedetecteerde ontwikkelingen enerzijds en de activiteiten van de bedrijfsorganisaties die deel uitmaken van Agoria Vlaanderen anderzijds, vormde een cruciaal aandachtspunt. Het uitvergroten van dergelijke relaties laat immers toe de relevantie van nieuwe ontwikkelingen beter in te schatten. Met name voor kleine en middelgrote ondernemingen, die vaak niet over de mogelijkheden beschikken om op eigen kracht systematisch dergelijke verkenningstudies uit te voeren, wordt op die manier toegevoegde waarde gecreëerd. Daarnaast wordt ook gestreefd naar het inzichtelijk maken van de impact die nieuwe technologische ontwikkelingen kunnen hebben over de grenzen van sectoren heen. Dergelijke aanpak laat bovendien toe om domeinen te onderkennen waarbinnen samenwerkingsverbanden inzake innovatie tussen verschillende sectoren zinvol kunnen zijn. Het inspireren tot dergelijke samenwerking tussen bedrijven en, waar relevant, kenniscentra is tenslotte ook een wezenlijke ambitie geweest bij het opstarten van dit project.

OPZET VAN DE STUDIE

In een eerste fase werd gekeken naar de samenhang tussen de verschillende sectoren aanwezig binnen Agoria Vlaanderen enerzijds en de voor deze sectoren relevante technologiedomeinen anderzijds. Het expliciteren van een dergelijke samenhang laat toe om in een volgende fase de verschillende geïdentificeerde ontwikkelingen te relateren aan de diverse sectoren.

Inzake het in kaart brengen van nieuwe technologische ontwikkelingen werd in eerste instantie een inventaris gemaakt van recent uitgevoerde verkenningstudies. Immers, Vlaanderen is een kleine regio met grote ambities. Dit betekent dat de schaal of de kritische massa om dergelijke verkenningstudies zelf uit te voeren vaak afwezig zal zijn, terwijl de neiging om voldoende "scope" of reikwijdte te realiseren meestal in sterke mate aanwezig zal zijn. Het gebrek aan schaalvoordelen en de behoefte aan "scope" betekent dat men op een intelligente manier moet omspringen met enerzijds het gebruik van de resultaten van soortgelijke reflectie-oefeningen in landen die wel over de schaal beschikken om ze ten gronde uit te voeren, terwijl anderzijds vanuit een niche benadering specifieke vraagstellingen en aanvullende studies wel "in huis" kunnen en moeten gebeuren. In die zin werd in deze studie dan ook gestreefd naar een dynamische complementariteit tussen wat reeds in het buitenland gebeurt en wat in de eigen regio aanvullend en verdiepend dient te gebeuren. Vandaar dat parallel een ruime groep experts (N=40), zowel actief bij de diverse Agoria leden als bij de

Vlaamse kenniscentra (Universiteiten, Onderzoekscentra), werd geraadpleegd ten einde een meer volledig beeld te bekomen van relevante (technologische) ontwikkelingen en hun relatief belang voor de komende decennia.

De geïdentificeerde ontwikkelingen werden vervolgens vertaald in een vragenlijst die werd verspreid onder alle Agoria leden. Via deze vragenlijst wordt een inzicht verkregen met betrekking tot de verwachtingen en de timing van de geïdentificeerde ontwikkelingen. Ook de mogelijke impact op maatschappij, sector en onderneming, evenals de mate van vertrouwen waarmee men deze ontwikkelingen tegemoet ziet werden in kaart gebracht.

In totaal participeerden aan deze survey 65 organisaties met hun respectievelijke experts. Wanneer ook de expertise van de stuurgroepleden in rekening wordt gebracht, stelt men vast dat 120 experts een bijdrage hebben geleverd bij het tot stand brengen van deze studie. De namen van deze experts bevinden zich in Bijlage 3.

OPBOUW RAPPORT

Dit rapport bestaat uit twee delen. In het eerste deel vindt u de grote lijnen van het uitgevoerde onderzoek waarbij de verwachte ontwikkelingen kernachtig in beeld worden gebracht en de samenhang met de Agoria Vlaanderen sectoren duidelijk wordt gemaakt. Aansluitend komen de bevindingen van de vragenlijst aan bod, waarbij zowel wordt ingegaan op de verwachte timing als op het belang van de diverse ontwikkelingen voor de verschillende sectoren. Ook de mate waarin bedrijven zich gewapend voelen om met deze verwachte ontwikkelingen om te gaan, vormt een aandachtspunt. Tenslotte wordt kort stilgestaan bij de relevantie van – en de aandachtspunten inzake – samenwerking rond de ontwikkeling van nieuwe technologieën.

In een tweede deel wordt een meer gedetailleerd overzicht van een aantal verwachte technologische ontwikkelingen en hun mogelijke implicaties gepresenteerd. Voor het uitwerken van dit eerste – samenvattend - overzicht is gebruik gemaakt van de diverse expertrapporten en van de interviews met de experts. Het dient hier opgemerkt dat deze publicatie is opgevat als voorloper van een ruimer rapport waarin de bevindingen van het verrichte onderzoek in meer detail worden toegelicht. In die zin is exhaustiviteit in deze publicatie dan ook geen doelstelling. Het volledige eindrapport zal naar het jaareinde toe beschikbaar zijn. In een uitgebreide eerste bijlage tenslotte worden de belangrijkste methodologische aandachtspunten inzake het uitvoeren van verkenningsstudies aangehaald. De overwegingen die hier aan de orde worden gesteld hebben geleid tot de uiteindelijk gevolgde projectaanpak.

Alvorens het lezen aan te vatten, nog een korte toelichting rond het taalgebruik in dit rapport. De tekst is geschreven in het Nederlands. De overgrote meerderheid van bronmateriaal, alsook de werkdocumenten gebruikt in dit project (o.m. de bevraging) zijn echter opgesteld in het Engels. Dit hoeft niet te verwonderen gezien de dominante rol die Engels als taal speelt binnen de internationale wetenschappelijke en technologie gemeenschappen. Vandaar dat een aantal tabellen die u in dit rapport kan vinden ook in het Engels zijn opgesteld.

DANKWOORD

Een oprecht woord van dank mag bij aanvang niet ontbreken. Allereerst is het duidelijk dat de toegevoegde waarde van dergelijke studie recht evenredig is met de betrokkenheid van een verscheidenheid aan experts om inzage te verschaffen in hun kennis en inzichten. De bereidheid om mee te werken en het enthousiasme van de gecontacteerde experts was bij momenten dermate groot, dat langs de kant van het onderzoeksteam fenomenen van 'information overload' dreigden de kop op te steken. Dat dit laatste niet gebeurde, was dan weer te danken aan de tegelijk kritische en constructieve rol vervuld door de leden van de stuurgroep. Zoals de lijst achteraan het rapport duidelijk maakt, ontbreekt hier de plaats om iedereen te vermelden. Onze oprechte dank is er echter niet minder om. Tenslotte willen we verschillende medewerkers binnen de Agoria Vlaanderen organisatie niet onvermeld laten. De vlotte samenwerking met de mensen van Agoria Vlaanderen in het algemeen en An Van de Vel (projectcoördinatie), Jos Pinte, Patrick Van Den Bossche en Patrick Slaets in het bijzonder, maakten het uitwerken van deze studie niet enkel een stuk aangenamer, maar ze betekende evenzeer een wezenlijke bijdrage tot haar realisatie.

Bart Van Looy
Koenraad Debackere
Petra Andries
Edwin Zimmermann
Julie Callaert
Arnold Verbeek

Leuven
November 2001

DEEL 1. TECHNOLOGIEËN IN BEWEGING

‘Een verwittigd man is er twee waard’ (Vlaams spreekwoord).

“Dit is een verbijsterende uitvinding, maar wie zou ooit zo'n ding willen gebruiken?” (Rutherford Hayes, president van de VS na bij wijze van proef een van de eerste telefoongesprekken te hebben gevoerd, 1876).

“Ik kan de relativiteitstheorie net zo min aanvaarden als het bestaan van atomen en andere dogma's” (Ernst Mach, hoogleraar fysica, Universiteit Wenen, 1913).

“Als de televisie al een markt veroverd, zal ze die binnen een half jaar weer verliezen. de mensen zullen er gauw genoeg van krijgen om elk avond naar een houten kastje te kijken” (Darryl Zanuck, 20th Century Fox Studios, 1946).

“The work was fun, but no one was taking it seriously. Everyone was looking at interactive television, which was going to be pushed at first by a single killer app: movies on demand. The future of the world was going to be determined by AT&T and TCI and Time Warner. Every household was going to be hooked up. The internet? It was thought of as a ploy – a low-bandwidth ploy. It was nerds and scientists and typing. All that crap. That's what everyone thought– Microsoft and everybody else. I just thought, ‘I may as well work on this now and then when I get out of college I can go work for Silicon Graphics or Time Warner, or TCI’” (Marc Andreessen, augustus 2000, mede-oprichter van Netscape, terugkijkend op de periode voor de oprichting van Netscape (1994) toen hij de voorloper van Netscape's browser, Mosaic, aan het programmeren was).

De toekomst voorspellen is en blijft een hachelijke onderneming, zeker als het gaat om wetenschappelijke en technologische ontwikkelingen. Niettegenstaande met zekerheid voorspellen per definitie een onmogelijke opgave inhoudt, is het uitwerken van toekomstgerichte verkenningsstudies een zinvolle en – durven we stellen – voor ondernemingen een essentiële en levensnoodzakelijke opgave. Inderdaad, een grondig inzicht in mogelijke nieuwe technologische ontwikkelingen en hun implicaties voor de eigen technologie/product/markt combinaties laat toe om geïnformeerde en gefundeerde keuzes te maken met betrekking tot de bedrijfsstrategie in het algemeen en de vormgeving van de R&D strategie in het bijzonder. Keuzes die overigens ingebed dienen te worden in een iteratief proces van continue monitoring en bijsturing.

Immers, niettegenstaande de soms spectaculaire manier waarop de opkomst en diffusie van nieuwe technologie wordt geportretteerd, brengt een nader toezicht in regel een lang(zaam) wordingsproces aan de oppervlakte. Zo publiceerde Claude Shannon zijn baanbrekende ideeën – die nu nog steeds de grondslag vormen voor de telecommunicatietechnologie – rond communicatie en media reeds in de jaren '40. De principes die aan de grondslag liggen van relationele databanken werden – door wetenschappers en ingenieurs van IBM – reeds uitgewerkt in de jaren '60. Basisbouwstenen van het internet werden uitgewerkt en ontwikkeld in de jaren '50 en '60. Voorbeelden die duidelijk maken dat de vertaling van nieuwe kennis en inzichten in producten en de creatie van markten niet uit de lucht komt te vallen. Voortbouwend op het adagio *“een goed verstaander heeft genoeg aan een half woord”*, dient het belang en de relevantie van verkenningsstudies dan ook nauwelijks nog onderstreept.

Bij de aanvang van deze studie stonden drie vragen centraal:

- Welke nieuwe technologische trends en ontwikkelingen zullen het komende decennium optreden?
- Hoe zullen deze technologische ontwikkelingen de kernactiviteiten van de verschillende sectoren van Agoria Vlaanderen beïnvloeden?
- Wanneer en met welke impact zullen deze ontwikkelingen zich manifesteren op de markt?

Deze drie vragen worden dan ook systematisch en samenvattend aan de orde gesteld in het eerste deel van dit rapport.

TECHNOLOGISCHE ONTWIKKELINGEN: EEN OVERZICHT.

Ten einde een zicht te krijgen op de veelheid aan technologische ontwikkelingen die zich voordoen, werd een dubbel spoor bewandeld. Zoals in de inleiding gesteld, werd een systematische analyse en synthese gemaakt van recent uitgevoerde verkenningstudies in de ons omringende landen, alsook in Japan en de Verenigde Staten. Deze analyse werd gecompliceerd met een raadpleging van veertig experts, de meerderheid (n=30) werkzaam in bedrijven die lid zijn van Agoria Vlaanderen. Daarnaast werden ook een aantal experts actief in kenniscentra (universiteiten, onderzoekscentra) betrokken bij deze fase van de studie. Een overzicht van betrokken experts wordt gegeven in bijlage.

Het spreekt voor zich dat een dergelijke informatieronde resulteert in een schier onoverzichtelijke lijst van thema's en aandachtspunten. Deze werden geordend binnen een aantal technologiedomeinen. De keuze van deze technologiefamilies is op zich de resultante van een analyse van de relatie tussen de betreffende technologiedomeinen enerzijds en de bedrijfssectoren anderzijds. Deze clustering resulteerde in de volgende 11 domeinen.

TABEL 1: TECHNOLOGIEDOMEINEN AGORIA VLAANDEREN

<ul style="list-style-type: none">■ Materialen■ Bewerking en behandeling van materialen■ Energie■ Halfgeleiders en technologieën inzake het opslaan van data■ Datatransmissie■ Datacaptatie en data-analyse■ Software■ Man/Machine interface■ Instrumentatie – Mechanica/Mechatronica■ Design & Ontwikkelingsmethodologie – Productieprocesstechnologie■ Bedrijfsmodellen

Hoewel iedere indeling een zeker arbitrair karakter vertoont, is in de praktijk gebleken dat deze groepering relevant en hanteerbaar was binnen het kader van deze studie.

Opvallend is de aanwezigheid van een aantal technologiedomeinen die kunnen bestempeld worden als "soft technologies". Bij de aanvang van het project was het immers expliciet de bedoeling tevens aandacht te besteden aan ontwikkelingen binnen het domein van management en bedrijfsvoering. Deze laatste vinden we bijvoorbeeld terug in de categorieën "*Design & Ontwikkelingsmethodologie – Productieprocesstechnologie*" en "*Bedrijfsmodellen*".

Het dient opgemerkt dat ontwikkelingen in deze domeinen samenhangen met – en geïnspireerd worden door – een aantal evoluties op maatschappelijk vlak. Met name de aandacht voor – ecologische – duurzaamheid vertaalt zich in toenemende mate in bedrijfsvoeringprocessen die uitgaan van milieubelasting als een te optimaliseren uitkomstvariabele. Op zich een belangrijke vaststelling. Maar hiermee lopen we reeds vooruit op de bevindingen inzake ontwikkelingen per technologiedomein.

Alvorens deze stap te zetten, dient opgemerkt dat een aantal van de hier geïnventariseerde ontwikkelingen stelen op meerdere technologiedomeinen. Voorbeelden van dergelijke "hybride" ontwikkelingen zijn o.m. "*ubiquitous computing*", waarmee wordt verwezen naar de alomtegenwoordigheid van datatransmissie-netwerken die een flexibele koppeling van een veelheid van intelligente machines toelaat. Ook de notie "*ambient intelligence*" impliceert de ontwikkeling van micro- en nano-systemen (NEMS/MEMS), de aanwezigheid van datatransmissiesystemen en een centrale rol voor software. Met andere woorden, elke indeling of classificatie gebruikt om orde te brengen in de veelheid aan informatie heeft de neiging om (architectonische) innovaties gestoeld op nieuwe *combinaties* van deeltechnologieën wat naar de achtergrond te duwen. Hiervoor willen we de lezer met aandrang waarschuwen. Zoals diverse studies hebben aangetoond, impliceert innovatie in regel het tot stand brengen van nieuwe Technologie/Product/Markt combinaties die in regel een veelheid aan technologieën omvatten.

Verder dient opgemerkt dat een aantal vermelde ontwikkelingen vandaag reeds actueel worden. Het desalniettemin opnemen van deze ontwikkelingen spruit voort uit het feit dat hun belang in de nabije toekomst zal toenemen en aanleiding geven tot een uitwaaiende variëteit aan toepassingen.. Het gaat hierbij om bekende fenomenen zoals servitatie en outsourcing, maar evenzeer om optische kabelnetwerken inzake datatransmissie, of nog de toename van bandbreedte voor draadloze communicatie.

Ten slotte dient opgemerkt dat ook buiten de hier besproken deeldomeinen technologische ontwikkelingen aan de gang zijn die op termijn kunnen leiden tot nieuwe combinaties met deze deeldomeinen. We denken bijvoorbeeld aan de convergentie tussen technologische evoluties en biotechnologische evoluties in de brede sector van de biomedische toepassingen. Tabel 2 geeft een gecondenseerd overzicht van de verschillende geïdentificeerde ontwikkelingen, geordend volgens de verschillende technologiedomeinen.

TABEL 2: TECHNOLOGISCHE ONTWIKKELINGEN: EEN OVERZICHT

Materials	Introduction of new materials based on manipulation of atomic structure, glassy metals, super conductive cables (ceramics), biodegradable plastics, self-assembly processes on nano-scale, ionic liquids to dissolve substances, nanoparticles enriched polymers, smart material, biologically based plastics, superconductive materials, AFM technologies.
Treatment/Handling of materials	Integrated machinery, in situ integrated processes for treatment and recycling of waste, waste as primary source for metals and other materials, non-destructive testing for ceramics, production of cubic boron nitride tools using vapour deposition coating, separation and membrane technologies, hypercritical liquids as solvent in industrial processes.
Semiconductors & Storage Technologies	Miniaturisation, ubiquitous computing (widespread use of small scale appliances), quantum based coprocessors, carbon transistors, molecular & holographic storage devices, frozen light applications, quantum computing, molecular and biological computing, blue laser technologies for storage devices, Extreme Ultraviolet Lithography, nanolasers for computing, data storage & printing, plastic electronics, single electron devices, VLSI, supercomputing, organic electronics, system-on-a-chip.
Data Transmission Technologies	Extension of information networks, optical fibres at home, wireless broadband access, high speed fibre networks, graceful degradation techniques, digital rights management systems, centimetre precision location of persons/objects, dielectric mirrors and coaxial cables, smart optical switches, multicasting over IP networks, dynamic (infrared, wired (USB/IEEE1394) and wireless (Bluetooth, HomeRf, 802.11b)) protocols, photonics, ubiquitous computing (every time/everywhere connectivity). network inter-operability, powerline data transfer, compression algorithms, dynamic routing and automatic balancing, ad hoc network configuration tools, UMTS – Service/content development, smart antennas, UDSL, PAN, ambient intelligence.
Data capture & analysis	Remote monitoring and steering devices, virtual ID's, semantic web, data mining algorithms, automatic monitoring, groupware and decision support systems, visual data pattern recognition algorithms, expert systems.
Software	Object Oriented and component based techniques evolve in the direction of component/system life cycle independence, HW/SW co-design, re-use and integration of elements, component re-use standards, automated testing & design, agents based developments, configuration management tools, increasing importance of middleware, night vision systems, machine language/HdS, standardisation policies.
Man/Machine Interface technologies	Foldable and flat displays, speech and gesture recognition and understanding, electronic paper and books, neural implants that allow direct brain control of machines, biometric devices (voice/iris/fingerprint recognition) for user identification, multi-user aware space, profile and role-base UI, PDA's.
Instrumentation – Mechanics/Mechatronica	Increased intelligence, (bio-)sensors, MEMs, power MEMs, NEMs, system-in-a-package, smart dust, automated guided transport systems, information network integration, linear engines, robotics, combined emission and engine management, anti-collision devices, smart cards, remote monitoring, diagnosis and repair.
Energy	Environmental friendly energy sources, intelligent power grids, power electronics, fuel cells, photovoltaic cells, wind turbines, Light Emitting Diodes (LEDS), wireless energy transmission, nanotubules used in batteries, regenerative braking devices, diffusion of micro turbines, hybrid engines, biomass as fuel source, re-use of nuclear waste, magnetism for train transport, ICE.
Design Development Technologies/ Manufacturing Processes	Outsourcing, virtual enterprises/collaborative relationships, servitisation, Integrated/Closed Loop production principles, Life cycle management/recycling/impact assessment methodologies, 'vertical information' integration, modular design, fast prototyping/fast manufacturing, CAD/CAE, system modelling and system dynamics approaches, insourcing, EAI/B2B (Enterprise Application Integration), holonic manufacturing systems; open standards.
Business Models	Risk and profit sharing business models, ASP, models, open source models, mass customisation, segmentation and niche strategies.

IMPLICATIES VAN DE TECHNOLOGISCHE ONTWIKKELINGEN VOOR DE LEDEN VAN AGORIA VLAANDEREN

Het inschatten van de mogelijke invloed van deze ontwikkelingen voor de activiteiten van de diverse sectoren binnen Agoria Vlaanderen kan slechts gebeuren via een systematisch inzicht in de samenhang tussen de technologiedomeinen en de verschillende economische sectoren. Teneinde hier een gefundeerd beeld te kunnen schetsen, werden diverse paden bewandeld. Allereerst werd beroep gedaan op onderzoek dat een relatie poogt te leggen tussen technologieclassificaties en sectorindelingen. Inzake technologieclassificatie verwijzen we naar de IPC-indeling die gebruikt wordt om patenten te ordenen (International Patent Classification). Wat betreft sectorindelingen, zijn de klassieke NACE en ISIC classificatieschema's aan de orde.

Onderzoek hieromtrent werd verricht door Verspaegen en collega's aan het MERIT onderzoekscentrum (Universiteit Maastricht). Hun baanbrekend werk einde jaren '80 vormde dan ook een eerste bouwsteen voor het uitwerken van het beoogde 'linkage scheme'. Daarnaast werd gebruik gemaakt van een recente concordantietabel uitgewerkt door het Fraunhofer Instituut (D) waarbij de relaties tussen sectoren en technologiedomeinen zoals ontwikkeld door Verspaegen en collega's werden geactualiseerd. Waar deze twee studies een startpunt vormden voor het ontwikkelen van de relaties tussen technologiedomeinen en sectoren, werd al snel duidelijk dat actualisering en aansluiting bij de unieke combinatie van sectoren, kenmerkend voor de Agoria organisatie, bijkomende analyses impliceerde. Vandaar dat voor de verschillende deelsectoren een gedetailleerde analyse werd uitgevoerd van hun onderliggende activiteiten en de hiermee samenhangende technologiedomeinen. Deze analyse leidde tot het aflijnen van een aantal quasi-homogene technologiefamilies (zie tabel 1), en resulteerde bovendien in het volgende schema (tabel 3) dat de relaties tussen de technologiedomeinen en de sectoren vertegenwoordigd binnen Agoria Vlaanderen weergeeft.

Deze tabel dient als volgt te worden geïnterpreteerd. De verwachte impact van de verschillende technologiedomeinen op waardecreatie binnen de sectoren, werd gekwalificeerd van laag tot hoog. Deze kwalificatie werd bekomen door het combineren van kwantitatieve gegevens (relatief aandeel van patenten in de respectievelijke technologiedomeinen dat op rekening komt van de desbetreffende sectoren), met expertopinions inzake de actuele relevantie en het belang van de verschillende technologiedomeinen inzake waardecreatie binnen de verschillende sectoren. Zo maakt Tabel 3 bijvoorbeeld inzichtelijk dat inzake transport (sector), materialen en de bewerking ervan, evenals energie en instrumentatie cruciale technologiedomeinen zijn waarop de waardecreatie binnen deze sector zijn gestoeld. Tevens blijkt uit deze tabel dat de sectoren Mechanical & Mechatronical Engineering, Electrical Engineering & Electronics en Telecommunication Equipment & Information Technologies een zeer grote commonaliteit vertonen voor wat betreft potentieel beïnvloedende, onderliggende technologiedomeinen. Hier ligt mogelijk een indicatie voor het ontstaan van interessante, waarde-creërende samenwerkingsverbanden.

TABEL 3: SAMENHANG TECHNOLOGIEDOMEINEN & SECTOREN

Sectors	Transport	Metals & Materials	Plastics	Metal Products	Mechanical & Mechatronical Engineering	Electrical Engineering & Electronics	Telecommunication Equipment & Information Technologies
Technology domains							
Materials	High	High	High	Medium/High	Medium	High	Medium/High
Treatment/Handling of materials	Medium/High	Medium/High	High	High	High	Low/Medium	Low/Medium
Semiconductors & Storage Technologies	Low/Medium	Low	Low	Low	Low/Medium	High	High
Data Transmission Technologies	Low/Medium	Low	Low	Low	Medium	Medium/High	High
Data capture & analysis	Low/Medium	Low	Low	Low	Medium	Medium	High
Software	Low/Medium	Low	Low	Low	High	High	High
Man/Machine Interface technologies	Low/Medium	Low	Low	Low	High	Medium/High	High
Instrumentation – Mechanics/Mechatronica	High	Medium/High	High	High	High	Medium	Medium
Energy	Medium/High	Medium/High	Medium	Medium	Medium	Medium/High	Medium/High
Design & Development Technologies - Manufacturing Processes	Medium/High	Medium	Medium/High	Medium/High	Medium/ High	Medium/High	Medium/High

Expert-validatie

Het spreekt voor zich dat de verwachte impact van de technologische ontwikkelingen zoals in kaart gebracht in tabel 2, ook direct kan bevestigd worden. In de enquête verricht in het kader van dit onderzoek werd dan ook expliciet de vraag gesteld naar het belang, de verwachte timing¹ en impact van de diverse technologische ontwikkelingen. De vragenlijst bestond uit twee delen. Naast een korte lijst van negen geaggregeerde ontwikkelingen ('major trends'), reflecteren 64 items een meer gedetailleerd inzoomen op de verscheidenheid van de technologische ontwikkelingen. In dit samenvattend rapport wordt voornamelijk stilgestaan bij de resultaten van de negen geaggregeerde trends. Enkel inzake verwachte timing van de ontwikkelingen wordt reeds een tip van de meer gedetailleerde sluier opgelicht. Een volledige analyse van alle bevestigde ontwikkelingen kan worden gevonden in het eindrapport.

In totaal werden vragenlijsten ingevuld door 65 ondernemingen. De volgende tabel geeft een overzicht van de samenstelling van deze steekproef qua sectoren². In bijlage kan een exhaustieve lijst van de deelnemers gevonden worden.

TABEL 4: SAMENSTELLING STEEKPROEF

	Aantal respondenten
Metalen & Materialen	6
Metaalproducten	16
Plastics	5
Mechanica & Mechatronica	19
Electronica	2
CT	10
Transport	9
Totaal	65

Bevindingen

De overgrote meerderheid van de respondenten verwacht belangrijke evoluties het komende decennium. Zoals tabel 5 duidelijk maakt, verwacht slechts 5 tot 11% van de respondenten geen noemenswaardige ontwikkelingen met betrekking tot de geïdentificeerde geaggregeerde trends.

¹ Inzake het in kaart brengen van het belang en timing zou men ook kunnen werken met de evolutie van patentaanvragen doorheen de tijd; een dergelijke exhaustieve analyse in het kader van dit rapport uitwerken was niet mogelijk. In bijlage 2 kan dienaangaande wel een voorbeeldanalyse gevonden worden.

² De aandachtige lezer heeft opgemerkt dat het totaal in tabel 4 niet samenvalt met de optelsom van de diverse sectoren. Dit is een gevolg van het aanduiden van meerder sectoren door een – beperkt aantal – respondenten.

Inzake timing van de diverse ontwikkelingen observeert men meer spreiding. Evoluties die voor de deur staan, of reeds in volle ontwikkeling zijn, betreffen:

- servitatisatie, het in toenemende mate verkopen van producten onder de vorm van geïntegreerde diensten;
- de verdere uitbouw van breedbandnetwerkinfrastructuur voor datatransmissie waarbij ook de draadloze capaciteit evolueert naar een veelvoud van de huidige situatie;
- het herdenken van samenwerkingsrelaties tussen bedrijven in de richting van outsourcing en intensieve samenwerking;
- een steeds toenemende mate van intelligentie in de directe leef- en werkomgeving zoals die reeds ten dele kan gevonden worden in voertuigen en machines;
- het introduceren van 'closed loop' principes gericht op effectieve beheersing van mogelijke milieupact.

In de periode 2006-2010 verwacht men doorbraken op het vlak van "ubiquitous computing" en de diffusie van milieuvriendelijke energiebronnen. Dit laatste gaat, na 2010, gepaard met de ontwikkeling van een intelligenter, gedistribueerd elektriciteitsnetwerk.

Tenslotte verwacht een grote meerderheid van respondenten het komende decennium de introductie en de verspreiding van nieuwe materialen die onder meer tot stand komen via de industriële toepassing van nanotechnologische inzichten en principes.

TABEL 5: VOORKOMEN EN TIMING VAN EEN SELECTIE VAN GEÏDENTIFICEERDE ONTWIKKELINGEN

	Major developments to be expected			
	None	2001 - 2005	2006 - 2010	after 2010
Introduction of new materials based on nanotechnology	10%	39%	47%	5%
Outsourcing/virtual companies	11%	68%	15%	6%
Environmental friendly energy sources	7%	20%	38%	35%
Power electronics	15%	14%	34%	37%
Extension of information networks	5%	71%	20%	3%
Servitisation	10%	78%	12%	0%
Ubiquitous computing	5%	23%	50%	22%
Closed loop manufacturing principles	11%	42%	39%	8%
Increased machine and vehicle intelligence	2%	46%	44%	8%

Het spreekt voor zich dat de geschetste ontwikkelingen zoals weergegeven in Tabel 2, meer omvatten dan de negen geaggregeerde tendensen die hier worden aangehaald. In het eindrapport wordt dan ook een meer exhaustief overzicht geboden van de verscheidenheid aan technologische ontwikkelingen. Tabel 6 bevat reeds een overzicht qua verwachte timing.

	2006-2010	2011-2015	2016-2020
Materials	Introduction of new materials based on Nanotechnology.	Production of metals by manipulating atomic structure reaches industrial level.	Glassy metals characterized by amorphous structure replace crystalline metals.
		Superconductive ceramic cables replace copper for electricity transmission.	
		25% market share for biodegradable plastics.	
Treatment/Handling of materials	Processes like casting, forging, coating are integrated in one machine/process.		
	Bacterial cells are used for mining processes and metal recycling.		
	All (production) companies have in situ facilities for treatment of waste.	Ionic liquids to dissolve substances are used on an industrial scale.	
		Principles of self-assembly on the nano level result in industrial applications.	
Energy	Electric power grids are characterized by intelligent control and manipulation layers.	Fuel cells are present in 25% of cars.	
	Wireless electronic recharging of small devices.	25% of energy supply is provided by photovoltaic cells.	
	Linear motors replace more than 50% of pneumatic/hydraulic systems in linear motion machinery.	Wind turbines account for 15% of total worldwide electricity production..	
	Widespread use of low-cost lithium-polymer batteries in consumer and automotive applications..	Fuel cells are used in the majority of handheld devices.	
	LEDs replace incandescent bulbs.		
		Nanotubes replace lithium in battery charges.	
	The majority of combustion engines use energy storage devices that allow for regenerative braking.		
Semiconductors & Storage Technologies	25% of peripherals use quantum-based coprocessors.	Holographic storage technologies replace magnet(o-opt)ic ones	Molecular electronic devices for data storage reach industrial scale.
	Carbon transistors replace 25% of silicon circuitry.	High-speed super-conducting processors combined with high-density memory technologies result in 1000-fold performance increase.	
	Molecular electronic devices for data storage reach industrial scale.	Frozen light finds applications in data storage, optical communication and quantum info processing.	

	2006-2010	2011-2015
Data Transmission technologies	20Mbps bandwidth for wireless applications.	Smart dust technologies find commercial applications for tracing objects/persons.
		The majority of connections to high bandwidth networks is wireless.
		Centimeter precision location of persons/objects based on PDA/Intelligent clothing is used in market applications.
		Dielectric mirrors/coaxial cables increase network capacity by a factor 1000.
		Smart optical switches allow for an fully optical internet.
	>500 Mbps fibre networks connect homes and businesses.	
Data capture & analysis Software	The semantic web is used for automating complicated processes and transactions.	Centimetre precision location of persons/objects based on PDA/Intelligent clothing will be used in market applications.
	Graceful degradation techniques allow multimedia applications to run on a variety of platforms.	
	Content of information networks is embedded in 'Digital Rights Management Systems'.	
	B-to-C and B-to-B electronic transactions are done by means of universal virtual ID's in the industrialized world.	
Man / Machine Interface technologies	Foldable displays are used in handheld devices like PDA's.	Ordinary conversation with machines becomes a routine.
	Man-machine interfaces are standardized.	Speech dominates the use of keyboards to interact with electronic devices.
	Electronic ink technology in high-resolution active matrix displays.	
	Secure transactions on the wireless internet take place via biometric network appliances.	
	Portable electronic books and newspapers are available on the market.	
Instrumentation – Mechanics/ Mechatronica	Micro-sensors (MST/MEMS) are used for real time process control in the majority of machinery.	"Smart dust" technologies find commercial applications in tracing objects/persons.
		Devices for remote monitoring and adapting energy use are found in 25% of houses.
	Preventive machine maintenance will partly be done by connection to information networks.	Robots undertake the majority of home and hospital tasks.
		Automated vehicle guidance systems will be commonplace for car traffic.
		GSM -R control of railroad infrastructure allows for doubling capacity of the existing infrastructure.
Design Development Technologies/ Manufacturing Processes	'Closed loop' production approaches dominate in the industrialized world.	
	The majority of production companies use "closed loop" control systems for rapid prototyping, simulation and on-line process control. Information systems like ERP packages allow for full vertical integration of information.	Automated vehicle guidance systems will be commonplace for car traffic.
		GSM -R control of railroad infrastructure allows for doubling capacity of the existing infrastructure.
Business Models	Over 50% of investment goods will be sold as service packages.	
	Over 80% of manufacturing process will be outsourced.	
	Risk and profit sharing models account for 25% of business transactions.	
	Mass customization production strategies are applied for >90% of production goods.	
	The dominant model for software products is open source.	

Op zich is het uiteraard belangrijk om weten welke ontwikkelingen zich aandienen. Even essentieel is echter om een zicht te krijgen op de mogelijke impact die deze ontwikkelingen hebben op de verschillende sectoren van Agoria Vlaanderen. Tabel 7 vat de betreffende bevindingen samen.

TABEL 7: IMPACT VAN GEÏDENTIFICEERDE ONTWIKKELINGEN

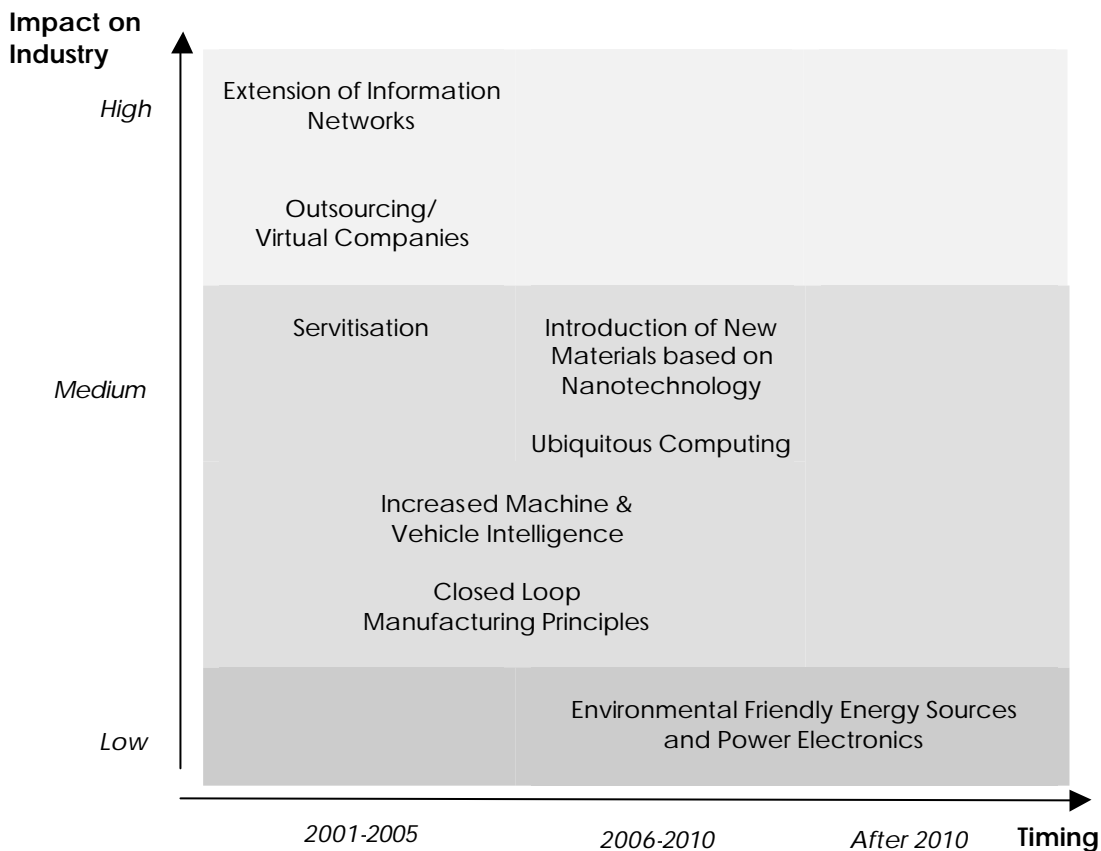
	Impact on society			Impact on your industry			Impact on your company		
	low	medium	high	low	medium	high	low	medium	high
Service digitalisation	27%	59%	14%	15%	44%	42%	20%	33%	46%
Increased machine and vehicle intelligence	11%	56%	33%	11%	52%	36%	22%	42%	36%
Outsourcing/virtual companies	20%	49%	31%	23%	38%	39%	24%	37%	39%
Extension of information networks	7%	40%	53%	20%	37%	43%	24%	38%	38%
Closed loop manufacturing principles	26%	48%	26%	19%	47%	34%	36%	36%	29%
Ubiquitous computing	10%	32%	58%	25%	46%	29%	36%	43%	21%
Introduction of new materials based on nanotechnology	20%	52%	28%	30%	59%	11%	47%	39%	14%
Environmental friendly energy sources	13%	41%	46%	44%	39%	16%	58%	25%	17%
Power electronics	30%	47%	23%	69%	28%	4%	69%	24%	6%

De impact van de meerderheid van de ontwikkelingen op zowel de industrietaak in haar geheel, als de eigen bedrijfsactiviteit in het bijzonder, wordt in regel beschouwd als aanzienlijk tot hoog. Slechts met betrekking tot de ontwikkelingen inzake energiebronnen en energiedistributie, beschouwt een meerderheid van respondenten de invloed op de eigen organisatie eerder beperkt. Ook inzake nieuwe materialen, gebaseerd op nanotechnologie, is het slechts een beperkte groep die de mogelijke invloed als significant beschouwt.

Figuur 1 maakt de samenhang tussen impact op de industrietaak enerzijds en verwachte timing anderzijds, duidelijk.

Naast een inschatting van de impact werd in de vragenlijst ook gepeild naar het vertrouwen waarmee men deze verwachte ontwikkelingen tegemoet treedt. In eerste instantie werd gevraagd in welke mate men zich sterk voelt om de gedetecteerde ontwikkelingen te integreren met de actuele bedrijfsactiviteiten. In tweede instantie werd gepeild naar een indicatie van de mate waarin men zichzelf pro-actief een bijdrage ziet leveren tot de geschetste ontwikkelingen.

FIGUUR 1: SAMENHANG IMPACT OP DE INDUSTRIETAK – TIMING (MAJOR TRENDS (N = 63))



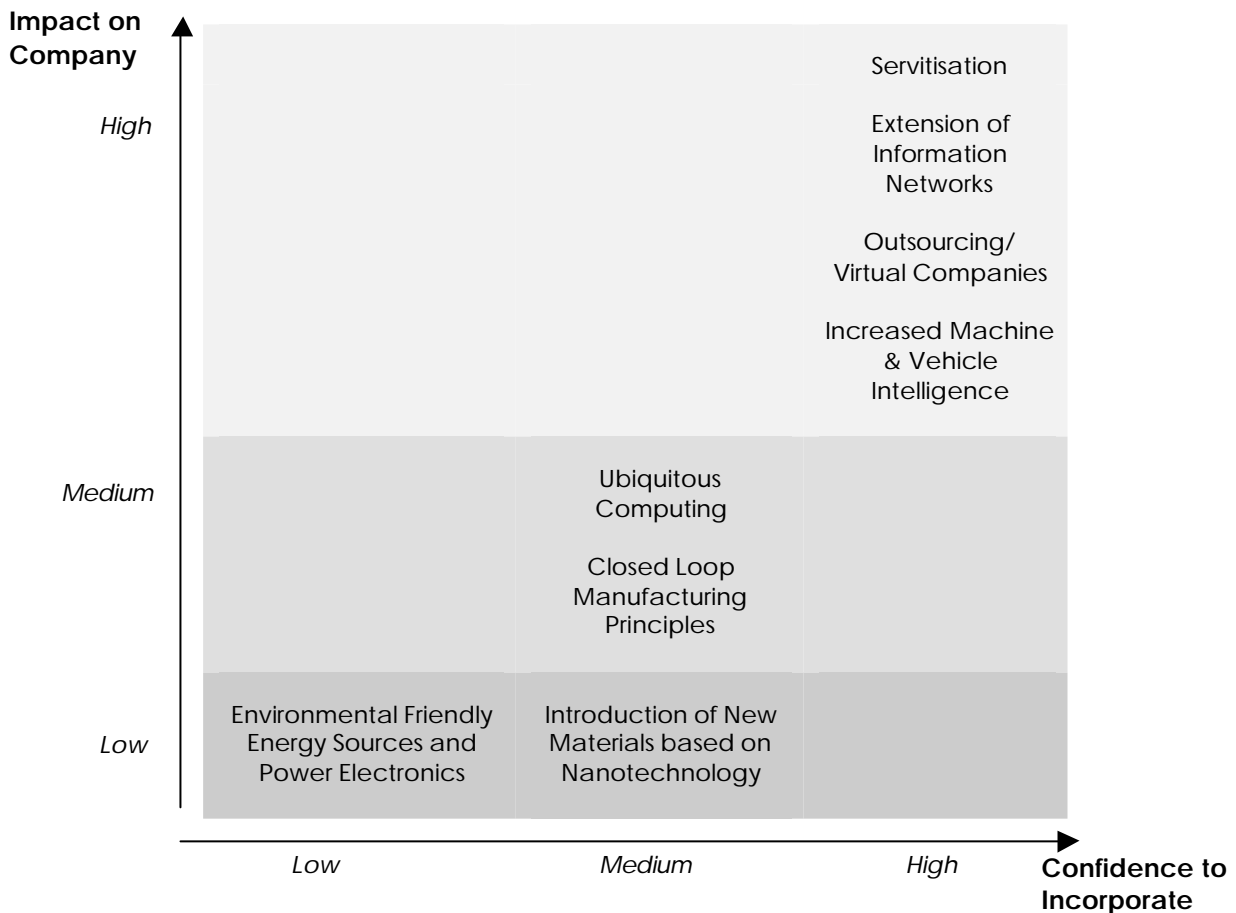
Figuur 2 brengt het beeld inzake integratie van nieuwe ontwikkelingen, waarbij meteen ook de relatie met het belang voor de organisatie wordt weergegeven. Het vertrouwen om met nieuwe ontwikkelingen om te gaan is groot op gebied van:

- servitatie;
- verdere uitbouw van datatransmissie-infrastructuur;
- nieuwe vormen van inter-organisationale samenwerking in de richting van 'virtual companies';
- toenemende mate van intelligentie in machines en voertuigen.

Een meer bescheiden positie wordt ingenomen ten aanzien van de ontwikkelingen op het gebied van energie, de impact hiervan is echter ook laag. Middenposities worden ingenomen als het gaat om verwachte ontwikkelingen in de volgende domeinen:

- nieuwe materialen;
- ubiquitous computing; en
- "closed loop manufacturing" principes.

FIGUUR 2: SAMENHANG INTEGRATIE NIEUWE ONTWIKKELINGEN – BELANG VOOR DE ONDERNEMING (MAJOR TRENDS (N = 63))



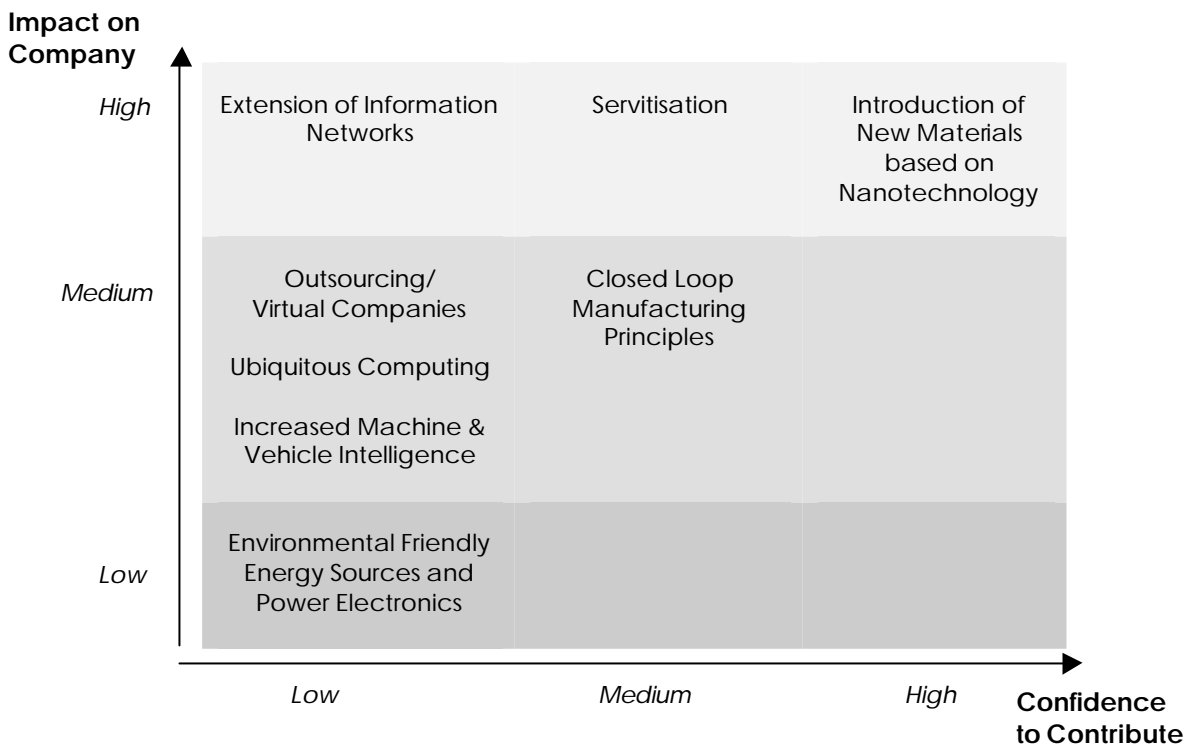
Inzake het pro-actief kunnen bijdragen tot de diverse ontwikkelingen is het beeld meer bescheiden. Wanneer men de totale steekproef in ogenschouw neemt, tekenen er zich geen ontwikkelingen af waarvoor een meerderheid van bedrijven zich een pro-actieve rol toebedeelt. In dit verband is het overigens zinvoller om de resultaten op sectorniveau te bekijken. De relevantie van de diverse ontwikkelingen varieert immers per sector. Bij een meerderheid van bedrijven heeft een specifieke trend telkens slechts een beperkte impact. Bijgevolg zijn in deze bedrijven ook vaak weinig of geen competenties gericht op die specifieke trend aanwezig. Slechts een minderheid van de bedrijven ligt in de vuurlijn van de impact van bepaalde verwachte ontwikkelingen. Het optellen van de resultaten voor deze twee groepen van bedrijven levert dan ook een misleidend beeld op.

Vandaar de volgende figuren (figuren 3-8), die per sector een inzicht verschaffen in de samenhang tussen de verwachte impact van de ontwikkelingen en het vertrouwen dat men heeft inzake het leveren van een pro-actieve bijdrage. Noteer dat enkel die sectoren werden weerhouden waar een minimum aantal respondenten antwoordde op de vragenlijst (n>=5). Noteer ook dat in sommige sectoren het totaal aantal leden beperkt is.

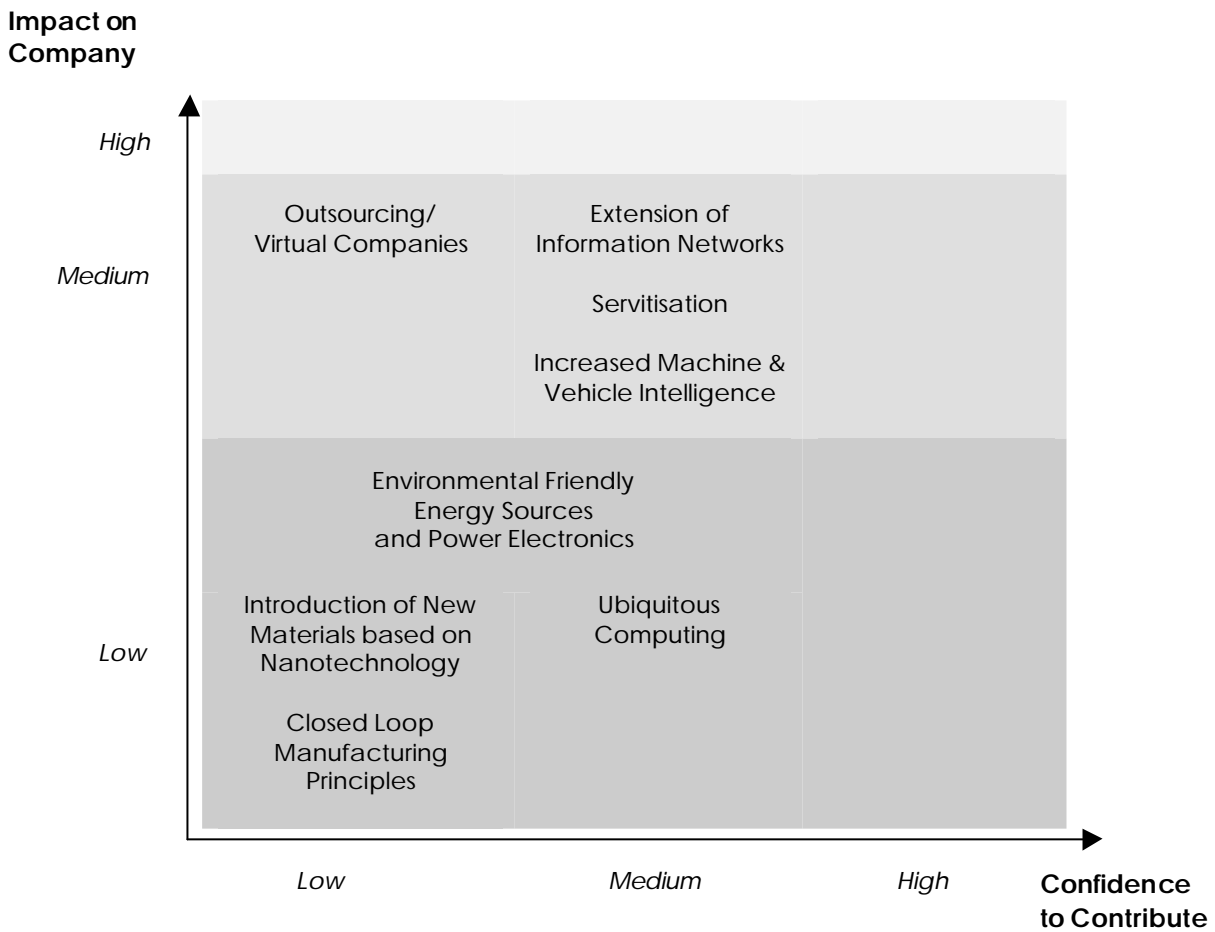
Deze grafieken vatten een brede waaier aan vaststellingen samen. Binnen de sector *Metalen en Materialen* voelt men zich, bij wijze van voorbeeld, duidelijk gewapend om een bijdrage te leveren op het domein van nanotechnologie. Dit is veel minder

het geval voor de sector *Metaalproducten* en *Plastics* alsook voor de sector *Informatie- en Communicatietechnologie*. Nochtans worden ook hier inzake nanotechnologie belangrijke applicatiedomeinen geprojecteerd zoals duidelijker zal worden in het tweede deel van dit rapport. Het inbouwen van intelligentie vormt een belangrijk aandachtspunt voor de sectoren van transport en ICT. Ambiënte intelligentie en de mens-machine interface worden duidelijk aandachtspunten voor de toekomst, die kruisverbanden oproepen tussen verschillende sectoren zoals transport, machinebouw en ICT. Ook technologische evoluties zoals 'ubiquitous computing' en 'energievriendelijke technieken' vinden we terug over verschillende sectoren heen, al is hier het vertrouwen in een eigen, pro-actieve bijdrage duidelijk minder groot.

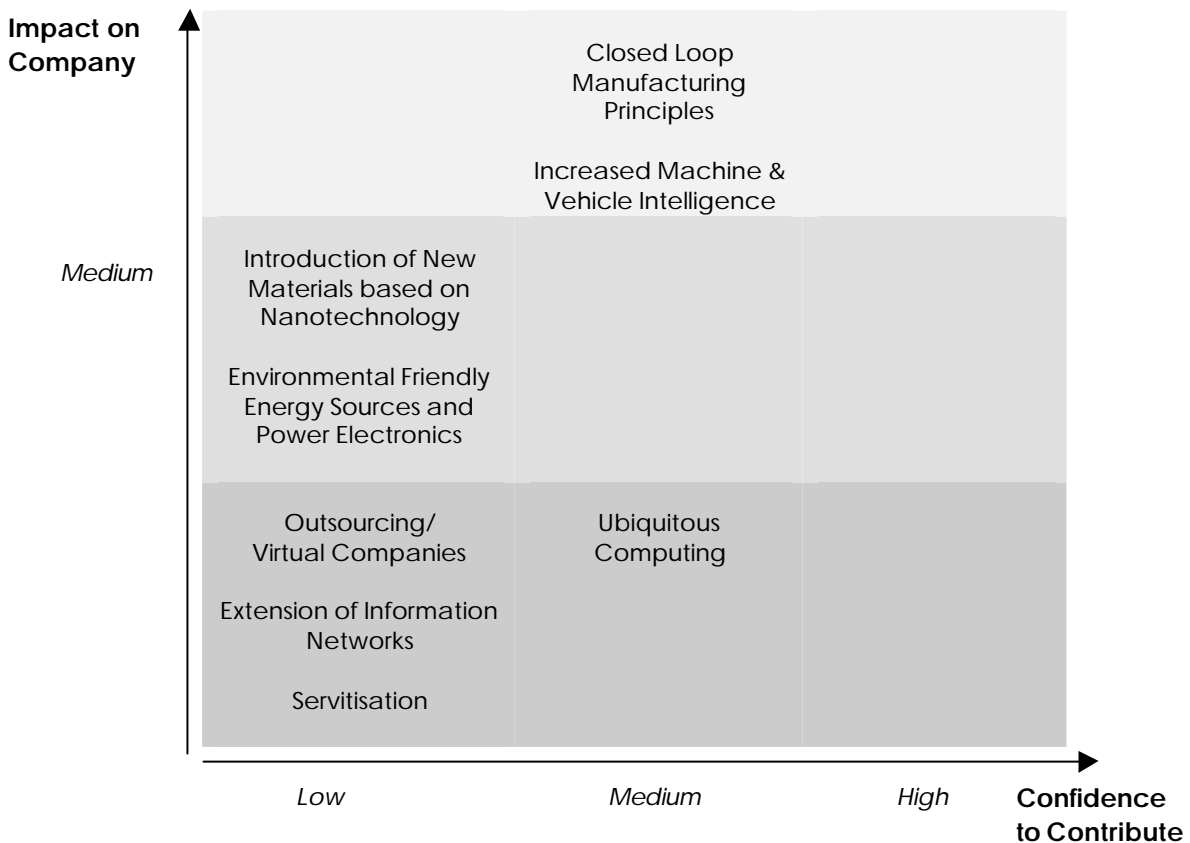
FIGUUR 3: METALEN & MATERIALEN (n=6)



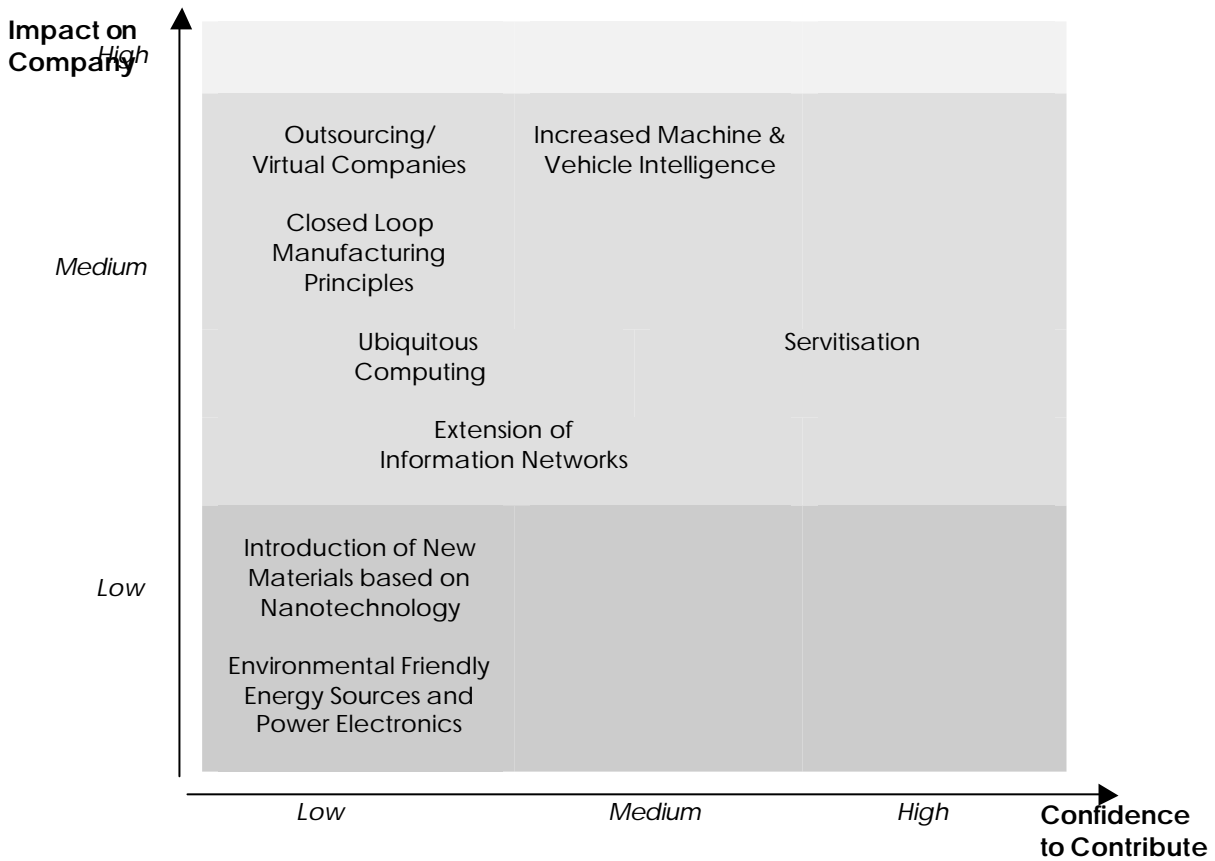
FIGUUR 4: METAAL PRODUCTEN (n = 16)



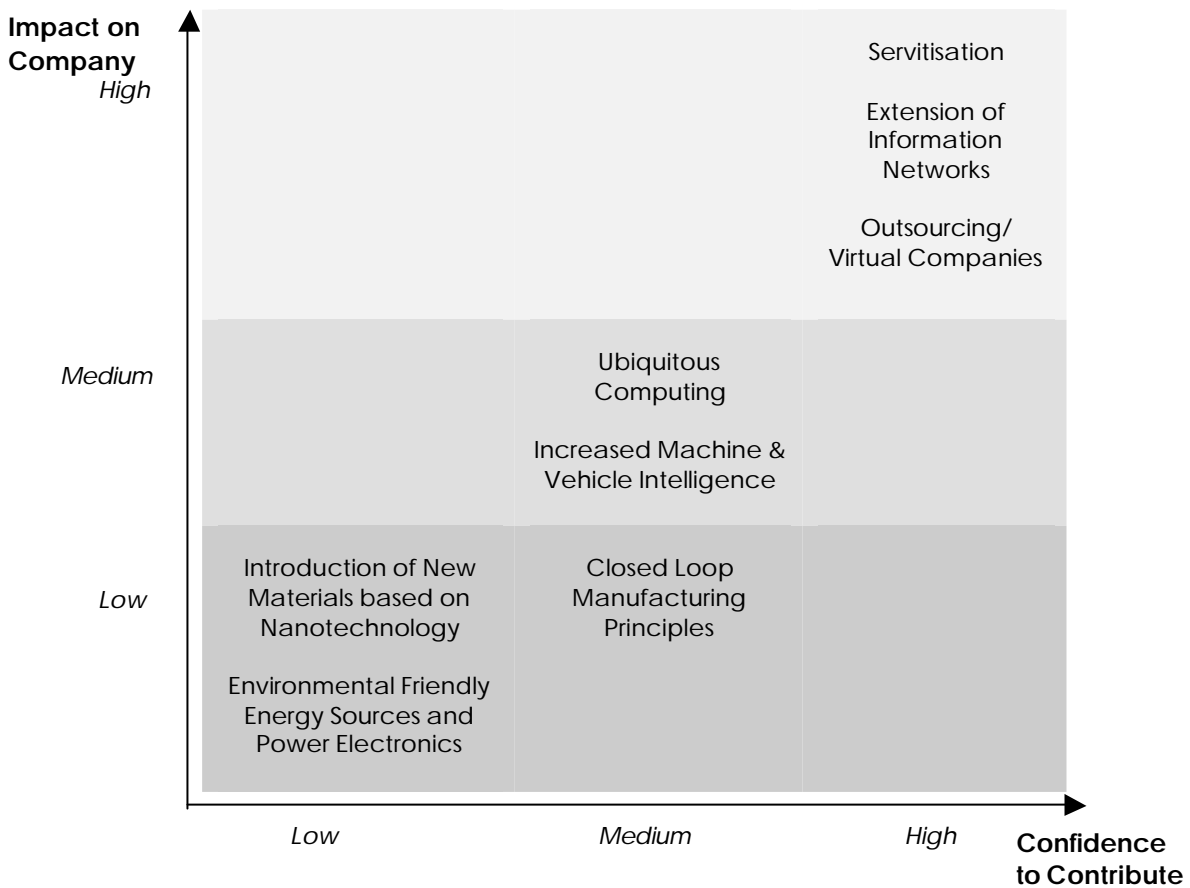
FIGUUR 5: PLASTICS (n = 5)



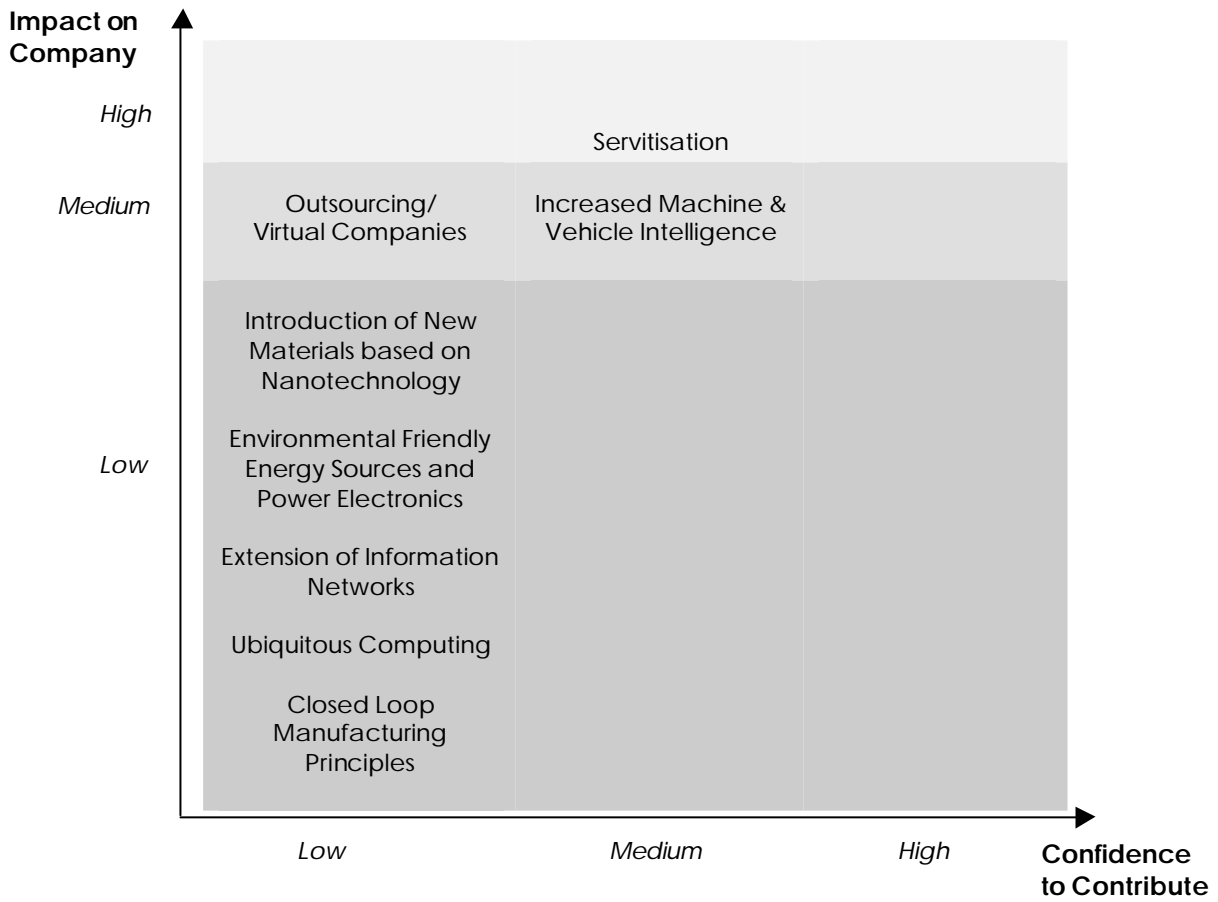
FIGUUR 6: MECHANICA & MECHATRONICA (n = 19)



FIGUUR 7: ICT (n = 10)



FIGUUR 8: TRANSPORT (n = 9)



KRUISVERBANDEN EN KRUISBESTUIVING: BELANG EN RELEVANTIE VAN NETWERKVORMING

Netwerkvorming en samenwerkingsverbanden zijn essentieel bij de opbouw van een competitief voordeel door ondernemingen en regio's. Centraal hierbij is de hypothese dat verticale, horizontale en laterale "verbanden" tussen niet-markt actoren en ondernemingen (en deze hoeven zich uiteraard niet te beperken tot een bepaalde bedrijfsector) een determinerende en positieve invloed kunnen uitoefenen op de competitieve positie van ondernemingen, dankzij het proces van interactief leren en kennisoverdracht dat erdoor ontstaat. Het onderzoek hier gerapporteerd legt het belang van deze kruisverbanden duidelijk bloot. Technologische evoluties en convergenties op vlak van mechatronica, telematica en de inbouw van intelligentie bevestigen de noodzaak tot samenwerkingsverbanden zoals belichaamd in Flanders Drive. Ook de technologische convergenties die als onderbouw dienen voor sectoren zoals machinebouw nopen tot kruisverbanden en samenwerking. Evolutie en convergentie op vlak van software-ontwikkeling vormen dan weer een voorbeeld van een generiek technologieplatform waarond verschillende applicatie-sectoren zich kunnen terugvinden.

Het zijn de patronen van kenniscreatie en -diffusie die via deze verbanden tot stand komen die aan de basis liggen van de economische performantie die met netwerkvorming wordt nagestreefd. En dit precies omwille van het feit dat kennis, naast arbeid en kapitaal, een significante productiefactor is (geworden). Meer bepaald liggen kenniscreatie en -diffusie aan de basis van de door Schumpeter beschreven golven van "economische groei" en "creatieve destructie." Ze realiseren de productverbeteringen en -vernieuwingen die endogene ondernemingsgroei mogelijk maken, of, ingeval van hun ontstentenis, ondernemingen van hun verworven competitieve posities verdringen door nieuwe leiders.

De basisgedachte blijft dan ook dat ondernemingen die ingebed zijn in een netwerkverband (cfr. Flanders Drive of het Vlaams Softwareplatform) een hogere kans tot kennisabsorptie en innovatief gedrag zullen vertonen dan ondernemingen die geen deel uitmaken van netwerkverbanden. Deze gedachte heeft in veel kringen, zowel vanwege beleidsvoerders en managers als vanwege onderzoekers, ruime belangstelling gekregen. Het is dan ook niet te verwonderen dat het aantal studiedagen, onderzoeksrapporten en symposia dat aan dit onderwerp wordt besteed, gestadig gestegen is gedurende de laatste jaren.

De overgrote meerderheid van dit onderzoek heeft aangetoond dat deze netwerkverbanden vaak gepaard gaan met de aanwezigheid van kennisintensieve coöperaties en oversijpelings-effecten, die op hun beurt innovatief gedrag, en daardoor economische competitiviteit, beïnvloeden. Echter, er blijft nog een existentiële vraag bestaan. Immers, volstaat het dan netwerkverbanden in het economisch weefsel op te sporen, met andere woorden, is het een vraag naar identificatie a posteriori? Of moet men zich vanuit beleidsoptiek tevens oriënteren op het wordingsproces, met andere woorden de vraag naar de definitie en de creatie van netwerkverbanden a priori? Is netwerking dus een "zijns-" of een "wordings"-proces? Dit is een dualiteit die vanuit beleidstandpunt niet kan en niet mag worden geminimaliseerd.

Immers, indien we er zouden van uitgaan dat netwerken “bestaan,” dan kan het beleid zich ertoe beperken deze verbanden te identificeren en op basis van klassieke instrumenten (zoals een SWOT-benadering) de sterktes, de zwaktes, de opportuniteiten en de bedreigingen van het geïdentificeerde netwerk in kaart te brengen. Op basis van deze identificatie en analyse kan dan beslist worden of het voor het beleid een prioriteit is om in het betreffende netwerk additioneel te investeren en, indien het antwoord op deze vraag positief is, hoe die investering er zou kunnen uitzien. Wat hier in een aantal regels als een logisch beslissingsproces wordt beschreven, is echter naar implementatie toe niet steeds rechtlijnig en eenvoudig. Herdefinities, iteraties en consensus-ontwikkeling zijn immers essentiële ingrediënten van dit allocatieproces.

Echter, wanneer we ervan uitgaan dat netwerking niet enkel een identificatie is van wat bestaat of aanwezig is, maar tevens een proces van netwerkvorming kan betekenen, dan wordt het keuzep proces vanuit beleidstandpunt meer complex. Immers, op dat ogenblik betekent het steunen en stimuleren van netwerkverbanden niet enkel een proces van operationele identificatie en middelenallocatie, maar wordt het in wezen een strategisch proces, waarbij de overheid “netwerken-in-wording” niet zozeer identificeert a posteriori, doch ze met inbreng van de betrokken actoren mede-definieert en legitimeert a priori. Met andere woorden, indien netwerkverbanden niet enkel een kwestie zijn van “zijn” maar ook van “worden,” dan kan het beleid terzake zich niet beperken tot identificatie, maar dient het zich ook te wagen aan definitie, sturing en ultiem, het maken van keuzes. Dit is een strategisch vraagstuk van eerste orde. De implicatie is duidelijk: zo men netwerkverbanden als mechanisme in het innovatiebeleid wil hanteren, dan moet men ze ook op een meer pro-actieve wijze durven implementeren. Opnieuw vormt een initiatief zoals Flanders Drive een mooie illustratie van de complexiteit van de genese van technologische kruisverbanden.

Het is evident dat naarmate men netwerking meer als een vormgevend instrument wil hanteren, waarbij op actieve wijze wordt overgegaan tot het “definiëren,” en niet louter “identificeren,” van verbanden in het economisch weefsel, automatisch de vraag naar marktfalen versus marktverstoring zal optreden. Met andere woorden, in welke mate corrigeert het beleid door een actieve tussenkomst in de creatie van netwerkverbanden een falen van de markt, dan wel in welke mate gaat het beleid hierdoor juist als stoorzender optreden? Dit is zeker geen eenvoudige vraag, en ze verdient dan ook vanuit beleidstandpunt de nodige aandacht. En, daar het optreden in de richting van een meer pro-actief, vormend netwerkbeleid ondubbelzinnig met het voorbereiden van de toekomst te maken heeft, kan dit beleid evenmin voorbijgaan aan het belang van toekomstverkenning onderzoek, zowel op technologisch vlak als op socio-economisch en maatschappelijk vlak. Vandaar het verband met het onderzoek uitgevoerd en gerapporteerd in deze studie.

Bovendien ligt dit pro-actief optreden naar netwerkverbanden toe aan de basis van een dynamisch proces dat uiteindelijk ook de evolutie van het innovatievermogen van een regio zal medebepalen. En ook hier zijn er uiteraard een aantal caveats. Eens een bestaand “netwerk” als dusdanig erkend en gesteund is, ontstaan er tussen de verschillende netwerk-actoren zelfversterkende fenomenen. Bijvoorbeeld, zo kan een netwerk van actoren zich steeds verder inbedden in een bepaald technologisch paradigma. Dit paradigma vertaalt zich naar een dominante logica van product- en proceskennis die bij de ondernemingen en de kennisinstellingen in het netwerk met de tijd meer en meer ingeburgerd raakt. Deze dynamiek kan leiden tot het ontstaan van het “Not-Invented-Here” syndroom op niveau van het netwerk. Analyses van (regionale) agglomeratie-effecten in specifieke sectoren hebben de aanwezigheid en de gevaren van dergelijke dynamiek reeds aangetoond.

Als gevolg hiervan kunnen "te" sterke (kennis)banden tussen netwerk-actoren ertoe leiden dat het bestaande netwerk zich op termijn gaat afschermen voor "nieuwe, ontlukende" technologieën die de kennisbasis waarop het competitief voordeel van het netwerk gebaseerd is, vernietigen. Met andere woorden, eens een netwerk een dominant model van kennisvoorraden en kennisverbanden heeft ontwikkeld, dan kan dit dominant model weliswaar leiden tot een verhoging van de (tijdelijke) efficiënte werking van de netwerk-actoren, ten nadele van de meer lange-termijn innovativiteit en het openstaan voor nieuwe technologieën bij diezelfde actoren. Binnen een netwerk kan aldus een proces ontstaan dat zelf-versterkend is, doch niet meer zelf-regulerend.

Wil men de mogelijk negatieve effecten van deze dominante logica beheersen, dan zal de technologieportfolio van het netwerk een voldoende evenwicht moeten behouden tussen routinematige technologie activiteiten (die vaak proces- en incrementeel ontwikkelingsgeoriënteerd zijn) en niet-routinematige technologie activiteiten (die vaak product- en meer fundamenteel onderzoeksgeoriënteerd zijn). Ook in dit proces van verjonging en dynamisering spelen verkenningstudies zoals deze, een essentiële rol.

DEEL 2: EEN SELECTIE VAN TECHNOLOGISCHE ONTWIKKELINGEN NADER BEKEKEN

INLEIDING.

In de volgende pagina's wordt uitvoeriger aandacht besteed aan een aantal ontwikkelingen die in het eerste deel van dit rapport samenvattend werden weergegeven (zie tabel 2). Hieromtrent werden tal van bronnen geraadpleegd, ook de inbreng van de verschillende experts was onontbeerlijk. In het hierna volgende overzicht komen ontwikkelingen aan bod die zich situeren in de volgende domeinen: Informatie- en communicatietechnologie; Life Sciences, Energie, Milieu- en milieuvriendelijke productietechnologie, Materialen en Transport en tenslotte Nanotechnologie. Een belangrijke leidraad bij het uitwerken van dit overzicht, werd gevonden in een recente studie van het Institute for Prospective Technological Studies (Sevilla), een onderzoekscentrum van de Europese Commissie. In het 'Futures - Technology Map' rapport worden de bevindingen van een twaalfstal nationale verkenningsoefeningen samengebracht en georganiseerd. De resultaten van deze studie werden hier verrijkt en aangevuld met complementaire rapporten en expertopinions, waarvan een overzicht kan gevonden worden in bijlage.

INFORMATIE-EN COMMUNICATIETECHNOLOGIE

Het belang van informatie- en communicatietechnologie onderstrepen is een open deur intrappen; de alomtegenwoordige aanwezigheid van ICT resulteert heden ten dage in een aandeel van 10% in het BNP in de meeste Westers landen. ICT betreft een brede en bij momenten heterogene set van gerelateerde technologieën waarvan een aanzienlijk aantal een zeer dynamisch ontwikkelingspatroon vertonen³.

Binnen het Futures rapport worden inzake ICT twee grote hoofdontwikkelingen onderkend. Enerzijds betreft het een evolutie in de richting van 'ubiquitous computing', op zich de resultante van een toename van informatie-applicaties in combinatie met een toenemende mate van inter-operabiliteit. Anderzijds wordt een set van technologische ontwikkelingen geïdentificeerd onder de noemer 'knowledge management'.

³ In tabel 9 worden deze verschillende technologieën inzichtelijker gemaakt, deze tabel werd opgemaakt o.m. aan de hand van de recent verschenen ITEA Roadmap m.b.t. Software Intensive Systems.

Ubiquitous Computing

De evolutie inzake 'ubiquitous computing' wordt hier gedefinieerd als de situatie waarbij computer(-en communicatie) apparatuur dermate goedkoop, geïntegreerd en gebruiksvriendelijk zal zijn, dat toepassingen zullen doordringen in een quasi oneindige waaier van applicaties en dagdagelijkse activiteiten.

Micro-electronica is in dit verband een van de bouwstenen; er bestaat een grote eensgezindheid omtrent de dominante rol van de bestaande silicium georiënteerde producten en productietechnologieën, zeker voor de periode tot 2010 - 2015. Evoluties hier betreffen verdere miniaturisatie (tot .01 micron), een blijvend belang van VLSI design, en de doorgedreven automatisering van de productie. De weg naar 'ubiquitous computing' wordt echter gekenmerkt door technologische uitdagingen. De exponentiële miniaturisatie-trend zou kunnen vertragen eens de limieten van fotolithografie bereikt zijn. Vandaar dat ook wordt gewezen op een toenemend belang van nieuwe technologieën, waarbij 'molecular computing' alsook 'single electron devices' op de agenda worden geplaatst. Tabel 8 vat de ingrediënten samen met betrekking tot deze nieuwe ontwikkelingen samen. Commercialisatie wordt hier echter slechts verwacht na 2010⁴.

Naast miniaturisatie van de halfgeleiders zijn verscheidene complementaire technologieën onontbeerlijk om te komen tot snellere, lichtere, en meer performante apparatuur. Als cruciaal worden mens-machine interface systemen naar voor geschoven, waarin spraaktechnologie een belangrijke rol speelt. Ook nieuwe materialen - voor toepassingen als "flat displays" en intelligente stoffen, elektronisch papier e.d. - zijn in volle ontwikkeling. Inzake batterijen worden verbeteringen verwacht die tegemoet komen aan duurzaamheid en hanteerbaarheid (gewicht). Een van de belangrijke technologische uitdagingen in dit domein heeft betrekking op het elimineren/vervangen van zware metalen.

Een cruciale complementaire ontwikkeling die 'ubiquitous computing' mede onderbouwt, betreft vanzelfsprekend een toename inzake interconnectiviteit en dus communicatie. Het betreft daarbij zowel draadloze datatransmissie als communicatie via vaste lijnen. Cruciaal in dit verband is de ontwikkeling van een infrastructuur die breedband connectiviteit overal en altijd toelaat. In het Futures rapport wordt erop gewezen dat het ontwikkelen van dergelijke infrastructuur voor een aantal componenten niet langer een kwestie is van technologie- dan wel van marktontwikkeling. Tegen 2007/2008 wordt verwacht dat vaste telefoonlijnen een capaciteit zullen bereiken van 34 Mbps; een aantal bronnen verwachten - via kabelnetwerken - zelfs een capaciteit van 150 Mbps. Daarnaast wordt een verdere massale verspreiding verwacht van mobiele netwerken, die zowel gebruik maken van satellieten als van zendmasten. De limieten inzake bandbreedte zijn hier echter meer stringent. Niettegenstaande de huidige commerciële en technische complicaties inzake UMTS (2Mbps), verwacht men een toename van de draadloze capaciteit tot 10 Mbps tegen 2006. De beschikbaarheid van bandbreedte alleen, is echter geen voldoende voorwaarde om te komen tot 'ubiquitous computing'.

⁴ Scientific American, en ook MIT Technology Review (2000 - 2001)

TABEL 8: NIEUWE ONTWIKKELINGEN IN HET DOMEIN VAN COMPUTING TECHNOLOGIES

Quantum Computing	Molecular Computing	Biological Computing
<p><u>Q</u>ubits replace ordinary bits: an ordinary bit gives either 0 or 1, a quantum qubit gives both 0 and 1, representing both simultaneously (conventional bits are represented by an electron that spins either clockwise or counterclockwise, but an atomic nucleus can do both at the same time). Allows to process different inputs simultaneously; parallel processing. Functional implications: Factoring large numbers in a time that does not grow exponentially, as does in the case of a conventional computer.</p> <p>Issues: Creating an environment which sustains coherence: Qubits are sensitive to environmental influences (magnetic field change, photon interference,...) and lose easily their and-and properties. Working on the level of nuclear isotopes establishes a relationship with NMR technology, making construction feasible. Scaling (now prototypes of 3 – 8 Qubits).</p> <p>Applications: Cryptography: breaking 'unbreakable' codes because of lower factoring time (National Security, Defense). Searching, especially algorithmic searching, intelligence-gathering. Simulating quantum-mechanical systems efficiently.</p>	<p>Electronic memories and a logic element made up of molecules each functioning as an individual switch. (links chemistry with information technology). Integration of silicon and molecular devices will allow to reduce the number of transistors. Easy and potentially cheap to make (silicon wafer with metal electrodes in beaker with chemical ingredients will result in the formation of molecules on the electrodes). Future? Circuits made of small numbers of molecules.</p> <p>Applications: Core advantage: potential to pack more circuitry onto a microchip than silicon does. Nanotech: carbon (silicon) nanotubes - Function as a transistor. Smart software that overcomes the statistical fluctuations of molecular behavior is needed/under development. Molecular memories having a million times the storage density of nowadays chips (first prototype of a simple molecular computer: 2010 – billion transistor molecular computer - decades away): holding the data when the device is turned off. Biochips bridging the gap between biology and computing: through MEMS/Smart medicine applications whereby tiny sensors and actuators are being used.</p>	<p>Not as such a replacement for computing as we know today, instead it should be seen as process control at chemical level (links information & biotechnology). Genetic one bit-switch or 'flip-flop': building blocks are two genes that are mutually antagonistic (0 and 1), when one is active ('expressed') the other is turned off and vice versa.</p> <p>Applications: Could lead to: Genetic applets (e.g. to influence insulin synthesis based on glucose levels measured). Detection of toxins, food contamination Gene therapy (e.g. hemophilia, anemia) Program a cell to do things s.a. injecting insuline when needed. Analyze injuries and healing the damage Wake up bacteria at the time there are needed. Biochip: registering toxins and prevent contamination. Genetic switches: use cells as chemical factories to produce proteins (to make drugs, nutrients, vitamins,...). Space exploration: autonomous, intelligent spacecraft and planetary explorers, with the potential to self-organize and self-repair 2010 onwards.</p>

Naadloze interconnectiviteit is in dit verband even belangrijk. De ontwikkelingen die samenhangen met de introductie van het 'Next Generation Internet' – waarbij real-time stem en beeld transmissie diensten via internet betrouwbaar kunnen geleverd worden - kunnen hier vanaf 2002 als katalysator optreden. Vlotte inter-operabiliteit tussen de verschillende communicatienetwerken wordt verwacht vanaf 2006. Een inschatting die mogelijk te optimistisch is gezien de horden die nog dienen genomen te worden inzake afspraken rond eigendomsrechten en standaarden. Inzake interconnectiviteit dient ook het toenemend belang van middleware onderstreept te worden. Het betreft hier 'smart software' die toelaat verschillende systemen en platformen met elkaar te verbinden. Dit brengt ons meteen bij een aantal ontwikkelingen inzake Knowledge Management.

Knowledge Management Tools

Onder deze term wordt een familie van software technologieën verstaan waarbij het zowel gaat om software programmering, dataverwerking als om artificiële intelligentie. Gevreesd wordt dat de toename in hardware ontwikkelingen niet zal gevolgd worden door een toename in de performantie van software. De laatste vijftig jaar werden gekenmerkt door een toename van hardware performantie die niet werd gevolgd door performantietoenames op het vlak van software. De cruciale rol van nieuwe software ontwikkelingsmethoden wordt dan ook sterk benadrukt; formele modellering, object oriëntatie en herbruikbare componenten worden in dit verband een centrale rol toebedeeld. Aansluitend wordt gewezen op het toenemend belang van data captatie, data mining en data warehousing. Een toenemende verspreiding van intelligentie (ubiquitous computing) brengt quasi automatisch de nood mee om op grote schaal aan databeheer en data-analyse te doen. Noden en applicaties situeren zich in de domeinen van gedistribueerde netwerken, persoonlijke identificatie en authenticatie, beveiliging en monitoring. De grootste investeerders op dit ogenblik in dergelijke technologie zijn veiligheidsdiensten (zoals de CIA) en financiële instellingen (o.m. kredietkaartbedrijven). Daarnaast ontstaat hieromtrent al maar meer vraag vanuit medische, en meer bepaald bio-technologische, hoek waarbij de ontdekkingen inzake aard en werking van het menselijk genoom aanleiding geven tot steeds toenemende noden inzake databeheer en patroonherkenning. Het beheren van globale databanken wordt gezien als een van de cruciale factoren met betrekking tot de vraag naar supercomputing capaciteit enerzijds en software inzake databeheer anderzijds.

Inzake artificiële intelligentie worden tegen 2010 verwachtingen gekoesterd met betrekking tot de verdere ontwikkeling van 'smart software agents', i.e. software die kan geprogrammeerd op dusdanige wijze dat het expliciteren van consumentenpreferenties aanleiding kan geven tot automatisch zoek-en databeheergedrag. Dergelijke software agents zouden ook een antwoord moeten bieden m.b.t. het reduceren van de complexiteit die samenhangt met het steeds toenemende informatie-aanbod. Daarnaast zullen stem, taal en patroonherkenningsystemen winnen aan belang. Daar waar inzake stemsynthese reeds heel wat werk is verricht, verwacht men tegen 2006 een quasi natuurlijke gelijkenis tussen menselijke en computerstemmen. Qua automatische vertalingen rekent men erop in 2010 gebruik te kunnen maken van draagbare vertalingsapparaten ('Babel Fish') die een overgroot deel van normale conversaties aankan.

Binnen het domein van de artificiële intelligentie wordt steeds opnieuw het belang van contextgevoelige systemen onderlijnt. Een aantal van de rapporten die aan de grondslag liggen van het Futures rapport situeren het opduiken van dergelijk systemen, die dus zowel betekenis kunnen plaatsen binnen de context van gebruik, en tevens over interactiecapaciteiten beschikken die zich uitstrekken over taal/spraak, zicht en beweging heen, in de periode 2015-2020. Het dient evenwel opgemerkt dat de historiek van de verwachtingen die rond AI gekoesterd werden hierbij niet erg bemoedigend is. Reeds in de jaren '70 en '80 werden hieromtrent verwachtingen geformuleerd - richting 2000 - die heden ten dage niet zijn ingelost. Mogelijks meer realistisch, is de wijdverspreide introductie van 'development software agents' die een ondersteunende rol spelen in de vorm van groupware en/of expertsystemen. Dergelijke systemen zullen in staat zijn te leren omtrent het gedrag van gebruikers en hierop adequaat inspelen. Ook inzake sociale conventies worden dergelijke geautomatiseerde leerprocessen mogelijk geacht. Niet enkel deze technologieën spelen mogelijk een cruciale rol inzake het omgaan met de zich manifesterende polarisatie tussen 'information/knowledge haves and have nots', van even groot belang is het verder ontwikkelen van meer intuïtieve en dus gebruiksvriendelijkere interfaces die het gebruik van informatietechnologie een vanzelfsprekend karakter zouden moeten bezorgen. Waar er unanimititeit bestaat over het belang van dergelijke ontwikkelingen inzake interface technologieën, blijft men uiterst vaag en onduidelijk over te volgen en/of te verwachten ontwikkelingspaden.

Afsluitend inzake ICT, brengt Tabel 9 een aantal ontwikkelingen op een overzichtelijke manier samen.

LIFE SCIENCES

Tal van ontwikkelingen worden verwacht binnen het domein van Life Sciences, met name ontwikkelingen inzake biotechnologie spelen hier een grote rol. Hoewel dergelijke ontwikkelingen voor Agoria Vlaanderen op het eerste zicht een 'ver van mijn bed' karakter vertonen, impliceren een aantal ontwikkelingen echter ook raakvlakken met de activiteiten van een aantal Agoria Sectoren. Vandaar dat deze ontwikkelingen hier toch kort aan de orde worden gesteld.

Binnen Life Sciences en biotechnologie worden belangrijke evoluties verwacht die zullen resulteren in bijdragen op het vlak van een verbetering van de menselijke gezondheid, voedselproductie alsook milieuvriendelijke technologieën. Inzake geneeskunde worden doorbraken verwacht betreffende cardiovasculaire aandoeningen, kanker, alsook virale infecties zoals hepatitis B en HIV. Daarenboven wordt verhoopt dat verder onderzoek naar de structuur en werking van het menselijk genoom aanleiding geeft tot therapieën inzake Alzheimer en Parkinson. In dit verband creëert de toenemende vergrijzing van de bevolking een belangrijke 'pull' factor. Met betrekking tot landbouw en voedselproductie verwacht men evenzeer dat een toename inzake de kennis van genetica en moleculaire biologie steeds meer zal leiden tot genetische interventies in gewassen, micro-organismen en dieren. Dit moet toelaten om gewassen te creëren die beter aansluiten bij noden van consumenten en industrie, waarbij ziekeresistentie, productiviteit alsook tolerantie tegenover extreme omgevingsfactoren prioriteiten zijn. Daarnaast wordt een belangrijke rol toebedeeld aan biotechnologie in het kader van het creëren van voedselingredienten en additiva die een positieve invloed uitoefenen op versheid en smaak; het verhogen van de productiviteit binnen de veeteelt alsook het gaan produceren van geneesmiddelen -of componenten ervan - via planten dan wel melkproductie. Tenslotte worden ook bijdragen verwacht op het vlak van voedselveiligheid door het ontwikkelen van betere detectie- en analysetechnieken inzake schadelijke stoffen of micro-organismen.

TABEL 9: NIEUWE ONTWIKKELINGEN IN HET ICT-DOMEIN

Content Related Evolutions	Infrastructure Services	Man/Machine Interaction	System Engineering
<p>Content Capture, Creation & Authoring: Synchronization (MultiMedia). Generic Structuring of data/middleware across platforms. Digital Sensory systems (incl. Location Positioning).</p> <p>Content Representation Graceful degradation techniques (M-Peg4, M-Peg21). Distributed Database technology that can operate in embedded contexts. Asymmetrical Compression Technologies.</p> <p>Data & Content Management Data Mining and Indexing. Access technologies including watermarking/finger-printing. Introduction of Unique Virtual Identity enabling Personalized Ambient Intelligence. Unified Information Access (device independent).</p> <p>Security: Bio-authentication (finger-prints, voice, iris, face, DNA) Unbundling of order and payment systems (WWW/GSM-UMTS).</p>	<p>Network Transport & Protocols Quality of Service (QoS) for Streaming Content: Guaranteed Bandwidth, Latency, Multicasting over IP Networks (within the context of embedded systems new SW technologies are needed) Distributed File Systems. Heterogeneous Network inter-operability - Voice over IP - Dynamic Protocols (Infrared, Wired (USB/IEEE 1394, powerline), Wireless (Bluetooth, HomeRF, 802.11b).</p> <p>Bandwidth Wired Network: From 1-2 Mbps to 500 Mbps (Fibre at home) - By 2004 wireless will be the dominant access connection (also for Internet) - Bandwidth for in-building wireless access will increase to 50 Mbps in 2/3 years - Bandwidth for Wireless access Outside: 2 Mbps 2001/8 Mbps 2008 (4G), 20 Mbps (2010). Tax Issue on Bits (2010 - 'Intangible VAT'): Boost for Compression Technology, Reduction of Bandwidth Demands, Enables QoS, however Intelligent Data Filtering technologies needed.</p> <p>Network Management Basic Network management: Dynamic Routing and Automatic balancing of network load. Ad Hoc Network Configurations that can maintain themselves , select C/S and distribute computation tasks. Mobile networks imply moving nodes (Basic research needed). Business Models: Shift from connection based payments to service based payments .</p> <p>Resource management: From static to dynamic allocation - Small lightweight devices with long battery life - Integration of different energy sources (Solar/Fuel Cells) - Display size.</p>	<p>Multi-Modal User Interfaces Voice command UI. Text to speech. Gesture recognition. Eye Movement. Multi-User aware Space. Profile and role-based UI.</p> <p>Inter-operability of UI: Uniform and flexible Multi Modal Interface devices. User/Context Adaptation - Issues of standardization.</p> <p>Displays Foldable Displays. Automatic transformation of information to cope with low resolution displays.</p>	<p>System Engineering HW/SW co-design. Re-use and integration of elements - Component Reuse Standards. Verification methodologies. Automated testing and design.</p> <p>Software Engineering Object Orientation and Component based techniques evolve further in the direction of independence between component and system life cycles. Increasing importance of system families (Cooperation) in which products are embedded (Competition) Configuration management tools. Agents based development (self-organizing - from 2005 onwards).</p>

Het 'verbouwen' van nieuwe materialen.

De nieuwe inzichten inzake biotechnologie hebben mogelijk vergaande gevolgen voor de productie en het gebruik van materialen en metalen. Moderne biotechnologie brengt steeds meer mogelijkheden met zich mee om te komen tot de creatie van plantaardige 'productiecellen'. Hierbij worden planten genetisch gemodificeerd op dusdanig wijze dat zij specifieke moleculen gaan produceren. Dergelijke productie via planten betreft de aanmaak van nieuwe of organisme-vreemde proteïnen, chemische polymeersynthese, medisch biomateriaal en andere nieuwe materialen die de resultante zijn van de modificatie van de genetische structuur. Tabel 10 geeft dienaangaande een aantal belangrijke, verwachte, ontwikkelingen weer.

TABEL 10: VERWACHTE ONTWIKKELINGEN INZAKE BIOMATERIALEN

Ontwikkeling	Timing
Biopolymeren als bio- compatibele materialen	2000-2005
Wijdverspreid gebruik van bio-degradable verpakkingsmateriaal	2005
Biomaterialen bereiken een marktaandeel van 10% binnen de sector van bulkchemie	2005-2015
Biopolymeren vinden medische applicaties	2008
Biogemodificeerde gewassen beslaan 20% van de productie	2009
Biomaterialen vertegenwoordigen 20% van de chemische grondstoffen	2010
Nieuwe vezelgewassen op basis van biotechnologie	2010
Bioplastics vertegenwoordigen 10% van de wereldwijde productie (plastics)	2013

Betreffende het gebruik van dergelijke materialen zijn er een aantal faciliterende maatschappelijke tendensen. Het gebruik van milieuvriendelijke, biologisch afbreekbare, materialen enerzijds en een toenemend belang van hernieuwbare energiebronnen anderzijds. Zo verrichten automobielconstructeurs onderzoek naar het gebruik van nieuwe biocomponenten en materialen en naar het ontwikkelen van 'biofuel' voor motoren. Applicaties inzake textiel hebben betrekking op de ontwikkeling van nieuwe vezels; ook binnen de geneeskunde worden nieuwe materialen ontwikkeld die toepassingen vinden inzake tissue engineering. De belangrijkste bijdrage van het gebruiken van plantaardige biomaterialen en bio-energie wordt echter verwacht op het vlak van het terugdringen van CO² emissie; de neutrale bijdrage die dienaangaande van bioenergie wordt verwacht, zal o.m. in het kader van het Kyoto-protocol aanzetten tot wijdverspreide applicaties.

ENERGIE

Inzake energie worden een aantal technologische evoluties verwacht de komende decennia; toch stelt het Futures rapport dat de huidige situatie, waarbij de meerderheid van de energieproductie afkomstig is van niet-hernieuwbare energiebronnen, zich de komende jaren zal bestendigen. Hernieuwbare energiebronnen, zoals zonne-wind en water-energie, winnen weliswaar aan belang, maar of hun marktaandeel ook significant zal toenemen, blijft een onbeantwoorde vraag. De groei van de vraag naar energie, alsook beperkingen die opgelegd worden vanuit beleids- en/of milieuoverwegingen spelen naast technologische ontwikkelingen evenzeer een rol.

Op dit ogenblik verdubbelt de vraag naar energie wereldwijd iedere 33 jaar. Dit neemt niet weg dat in sommige regio's de groei veel hoger ligt (Azië, sommige delen van Latijns Amerika). Inzake energiebeleid blijft het verzekeren van voldoende aanbod een richtinggevend uitgangspunt; daarnaast winnen ecologische overwegingen meer en meer aan belang. Waar een aantal problemen uit het nabije verleden – o.m. zure regen te wijten aan een te veel aan uitstoot van SO_x en NO_x – zijn teruggedrongen door een combinatie van regelgeving en technologieverbetering, baart de mogelijke impact van energieverbruik op klimaatwijzigingen en de ozonlaag momenteel meer kopzorgen. Er ontstaat een toenemende mate van consensus dat men dient te streven naar een mondiaal evenwicht tussen belasting inzake milieu enerzijds en kostprijs van de energie anderzijds. In dit verband is het duidelijk dat indien men er naar streeft om het Kyoto-verdrag effectief te realiseren, een andere energietechnologiemix dient gerealiseerd te worden. Deze wordt slechts mogelijk door het realiseren van technologieverbeteringen op het vlak van bestaande technologieën (efficiëntieverbeteringen op het vlak van windenergie), de maturatie van technologieën in ontwikkeling (bv. zonne-energie) alsook de ontwikkeling van nieuwe technologie (het opvangen en afzonderen van koolstofdioxide).

Tabel 11 brengt ook hier weer een samenvattend overzicht van een aantal belangrijke ontwikkelingen die in de volgende pagina's besproken worden.

TABEL 11: NIEUWE ONTWIKKELINGEN IN HET DOMEIN VAN ENERGIE

Distributed Networks – Power Electronics	Photovoltaic	Fuel Cells	Micro Turbines
<p>Electric-power processor: filter and manipulate the alternating current and even swapping electricity between high-power transmission cables in order to direct electricity over long distances.</p> <p>This new level of control over the transmission grid will allow distributed energy networks.</p> <p>‘Thyristor’ (1950): turning the flow of electronics through an integrated circuit on or off - ‘gate turn-off thyristor’ (1980) employs its own circuit of transistors to electronically open and close the thyristor.</p> <p>1995: First high-power transmission processor installed: to coordinate the thyristors: by smoothing out the flow, electronics eliminated the need for new power lines.</p> <p>Application Domains: Smart Power Grids for local and national area’s – could improve efficiency of existing network by 30/40% in 2010. Issues: Small and cheaper silicon switches – Deregulation</p>	<p>Semi-conducting layers of silicon doped with phosphorus and boron, excite electrons and initiate a current. Excess energy is fed into the grid or stored. No emissions, no noise. Widely used for communication satellites, but at this moment too costly to compete with traditional resources; (7.000 – 9.000 USD/Kilowatt). Crystalline silicon is being used, but might be in short supply. Several thin-film technologies (implying new materials) under development, but still efficiency problems.</p> <p>Nuclear Energy</p> <p>Nuclear fission regains credibility (emission problems, international treaties like Kyoto; nuclear energy probable essential to meet increasing energy demand) Safer/more efficient Installations – Pebble Bed Modular Reactor might become dominant design. Nuclear fusion: Research ongoing, however no industrial use expected before 2020.</p>	<p>Hydrogen from natural gas and oxygen from the air react to generate pollution-free noiseless energy.</p> <p>Most promising kind of fuel cell is considered the proton exchange membrane (PEM) which uses an Electro-chemically-active platinum catalyst. Platinum use has been reduced by 30 times already. Still the cost per kilowatt is estimated at 2000 USD (combustion engine: 30USD/kilowatt).</p> <p>Also: fuel cell penetration (for cars) will imply the development of a refueling/storage system. Either one uses filling station logic or one produces the conversion of natural gas to hydrogen ‘locally’. Neither scenario has been put in practice; also storing hydrogen requires a lot of space + very combustible.</p> <p>Killer application might not be vehicles but handheld devices.</p> <p>When: estimates range from 2005 to 2050.</p> <p>Plug Power (together with GE) wants to launch thousands of residential units in 2002.</p> <p>Japanese utilities are subsidizing the development of residential fuel cells.</p>	<p>The first products of this wave of technology development are clean, quiet and dependable microturbines, developed in the 1960s to provide electric power for air conditioning and circulation systems on aircraft. Descended toward the consumer market in the early 1990s: Turbine-powered hybrid electric cars. (See also Toyota/Honda)</p> <p>Fuel (natural gas, propane, diesel, gasoline, kerosene) and rapidly expanding combustion gases push the turbine blades to spin a rotor and generate electricity.</p> <p>Exhaust from the microturbines contains only about three parts per million of smog-forming nitrogen oxides — +/- a hundred times less than diesel generators — and virtually no soot. And the microturbine is ready to go the distance without burning out, based on air bearings that float the turbine on a turbulent film of air just two micrometers thick.</p> <p>Cost: 700 – 1500 USD/kilowatt – Could drop to 400 USD when volume increases (100.000 ex.)</p>

Nucleaire energie.

Opvallend is de ruimte die binnen het Futures rapport wordt ingeruimd voor kernenergie; de combinatie van een toenemende vraag naar energie en stringente normen inzake emissie, maken van kernenergie de komende decennia mogelijk een attractieve bron van energie. In die zin stelt het Futures rapport dan ook dat in de periode 2002-2006 kernenergie haar geloofwaardigheid ten dele zal terugwinnen.

Op het einde van het vorige decennium waren wereldwijd 434 nucleaire reactoren actief, verspreid over 32 landen. Samen leveren zij iets meer dan 16,2% van de wereldwijde energieproductie (cijfers van '98). Een vijftiental landen hebben in de nabije toekomst plannen voor de bouw van in totaal 36 nieuwe productie-eenheden. Inzake technologische ontwikkelingen is het opvallend dat inzake kernsplijting geen significante nieuwe ontwikkelingen worden verwacht. De aandacht gaat veeleer naar het ontwikkelen van standaardinstallaties met een modulair karakter die niet enkel een meer efficiënte exploitatie toelaten maar evenzeer resulteren in een verhoogde mate van veiligheid. Erg hoog op de nucleaire agenda staat onderzoek en ontwikkeling m.b.t. de behandeling, opslag en recyclage van radioactief materiaal. Tegen 2010 hoopt men hieromtrent significante verbeteringen te realiseren. Op het vlak van kernfusie worden nog steeds inspanningen geleverd gericht op het aantonen van de technische haalbaarheid ervan voor het opwekken van elektrische energie. Omtrent tijdstip van realisatie wordt echter discretie aan de dag gelegd.

Kool, olie en gas.

Inzake het gebruik van kolen, gaat alle aandacht naar het verbeteren van de conversie-efficiëntie alsook naar het reduceren van de milieubelasting die verbranding impliceert. De commerciële haalbaarheid van een aantal van deze nieuwe technologieën, zoals wervelbedverbranding onder druk alsook geïntegreerde koolvergassing via gecombineerde cycli, werd reeds aangetoond. Emissiewaarden van deze nieuwe technologieën situeren zich rond de helft van de huidige conventionele krachtcentrales en voldoen ook aan een aantal normen die door de EU zijn uitgevaardigd. Dat deze energiebron niet op sterven na dood is, wordt aangetoond door een recente Amerikaanse beslissing om de komende tien jaar één derde van de huidige capaciteit qua krachtcentrales te vervangen door koolcentrales gebaseerd op deze technologieën.

Inzake olie en gas vindt men analoge accenten wat betreft het reduceren van de omgevingsimpact van verbranding. Daarnaast wordt ook actief gestreefd naar een diversificatie van energiebronnen, of nog brandstofflexibiliteit. Een beloftevolle toekomst wordt voorspeld voor Micro (Gas) Turbines die zich situeren in een vermogensbereik variërend van 10 tot 500 MW. Dergelijke turbines vereisen aanzienlijke minder kapitaalsinvesteringen, zijn uiterst efficiënt, impliceren een beperkte constructieperiode en scoren erg goed qua emissie.

Herbruikbare Energie

Inzake hernieuwbare energiebronnen (wind, zonne-energie, geothermische energie,...) worden aanzienlijke inspanningen geleverd inzake de ontwikkeling van efficiëntie verhogende technologieën. Het gebruik van waterstof in brandstofcellen wordt door velen als een belangrijke nieuwe ontwikkeling gezien die zich al vanaf 2005 massaal zou kunnen manifesteren (marktaandeel van 1%). Aangezien het bij deze technologieën vaak gaat om beperktere volumes qua vermogen, roept dergelijke ontwikkeling ook vragen op inzake de uitbouw en het beheer van het energienetwerk. Men voorspelt dan ook een geleidelijke evolutie waarbij het bestaande centralistisch netwerk (enkele producenten en veel consumenten) gradueel vervangen wordt door meer gedistribueerde netwerken waarin alsmaar meer actoren zowel consument als producent van energie worden. Op deze ontwikkelingen wordt in een volgende sectie in meer detail ingegaan. Het is evenwel nu al duidelijk dat maatschappelijk en politiek gezien een verdere ontwikkeling en verspreiding van milieuvriendelijke energiebronnen hoog op de agenda staat. Zo streeft de Europese Gemeenschap naar een verdubbeling van het marktaandeel (momenteel 6%) van deze technologieën tegen het jaar 2010. Een en ander neemt anderzijds niet weg dat men verwacht dat de dominante bronnen van energie in 2020 nog steeds de bestaande zullen zijn (olie, gas en kernenergie) zoals tabel 12 duidelijk maakt.

TABEL 12: VERWACHTE VRAAG NAAR ENERGIE (2020)

	Renewables	Nuclear	Gas	Oil	Solids	Total
EU – 15	105	150	500	620	200	1575
Centraal en Oost Europa	12	13	110	115	140	390
US	110	180	700	900	660	2550
Japan	25	75	80	270	115	570

(Bron: World Energy Outlook – Eenheden: Mtoe)

MILIEUTECHNOLOGIE

Deze vlag dekt een heterogene familie van technologieontwikkelingen. Eigenlijk kan men stellen, dat het hier geen technologiedomein 'an sich betreft. Het realiseren en het ontwikkelen van milieuvriendelijke productietechnologieën impliceert een samenspel tussen een verscheidenheid aan technologie –(en wetenschaps) disciplines. In die zin zijn een aantal ontwikkelingen aan de orde gesteld binnen het domein van energie of nog materialen, evenzeer cruciaal. Kortom, de term milieutechnologie vertrekt niet zozeer van een technologiedomein, maar wordt gedefinieerd door een probleemdomein, namelijk de toenemende nood aan milieuprotectie. Oplossingen dienaangaande reflecteren dan ook een heterogeen spectrum van technologiedomeinen. En op zich betreft het hier een eerste belangrijke vaststelling; het ontwikkelen en implementeren van meer duurzame productieprincipes vraagt een multidisciplinaire aanpak die zich uitstrekt over sector – en technologiegrenzen.

Inzake milieuvriendelijkere productiebenaderingen kunnen twee grote benaderingen onderkend worden. Enerzijds kan men vertrekken vanuit een visie waarbij nieuwe technologie wordt gekoppeld aan bestaande productietechnologieën; deze zijn er dan op gericht om een aantal milieucorrecties uit te voeren. Voorbeelden hier betreffen recyclage of nog het gebruik van filters om de uitstoot van schadelijke emissies te beperken. Anderzijds kan men ook werken op het niveau van het basisproductieproces zelf, en hier een aantal wijzigingen aanbrengen zodoende dat milieuvriendelijke processen ontstaan. In de praktijk ziet men een toenemend belang van beide benaderingen, en dit voor quasi alle sectoren. Het toenemende maatschappelijk belang dat wordt gehecht aan milieuaspecten en gezondheid, en de hiermee samenhangende nationale en internationale regulerende initiatieven liggen hieraan ten grondslag.

Een eerste belangrijke ontwikkeling binnen dit domein betreft de introductie van verticaal geïntegreerde benaderingen van productiesystemen. Dergelijke 'life cycle approaches' vertrekken expliciet van de volledige waardeketting, inclusief de extractie en bewerking van grondstoffen, het productieproces zelf, distributie, gebruik en tenslotte het behandelen van de 'restproducten' of afval. Een dergelijke geïntegreerde analyse van de productlevenscyclus wordt ondernomen om energie—en/of materiaal inefficiënties op te sporen en resulteert dan ook in verbeteringen via materiaalkeuze, een herdenken van de productieketen, het introduceren van nieuwe ontwerp-en productietechnologie dan wel het aanwenden van andere energiebronnen. Gerelateerde benaderingen en methodes betreffen eco-design, 'pollution prevention' (P2), 'design for environment' (DfE), 'design for recycling' (DfR) alsook de notie 'Extended product life', waarmee wordt verwezen naar een toename van energie-en materiaalefficiëntie door middel van een verlenging van de levenscyclus van producten (of hun componenten) al dan niet via upgrading.

Naast ontwikkelingen met betrekking tot energie alsook materialen, is het belangrijk te wijzen op de mogelijke rol die meet-en regeltechnieken kunnen spelen. Zo is er het energiebesparend effect dat de introductie van intelligentie in voorwerpen met zich kan meebrengen: 'smart windows' reguleren elektrische verlichting, elektronica optimaliseert het energieverbruik binnen motoren en toestellen (reductie van stand-by mode). Op een ander niveau, wordt het toenemend gebruik van ICT ook gezien als een manier om verschillende economische activiteiten los te koppelen van het gebruik van fysieke producten en ook transport: telework, videoconferenties, maar ook de 'paperless' office duiken op als elementen die een rol kunnen spelen in het verbreken van de lineaire relatie tussen economische groei enerzijds en druk op het milieu anderzijds. De mate waarin deze fenomenen zich zullen doorzetten – en effectief zullen leiden tot een reductie van de milieubelasting – blijft echter een moeilijk te becijferen gegeven.

Belangrijk om te vermelden is dat de toenemende zorg om ecologische duurzaamheid zich ook meer en meer begint te vertalen in nieuwe vormen van regionale samenwerking tussen bedrijven. Naast het bundelen van verschillende technologiedomeinen en disciplines in het kader van het ontwerp van producten en geïntegreerde productieprocessen, is samenwerking evenzeer relevant met het oog op het gebruik van kapitaalintensieve infrastructuur, en hergebruik, des-assemblage en recyclage van producten en hun componenten. Inzake recyclage verwacht men bovendien dat tegen 2010 producenten van duurzame consumentenartikelen zullen verplicht worden om producten terug te nemen op het einde van hun levenscyclus. Dergelijke regulering geeft nu reeds aanleiding tot het opzetten van recyclagenetwerken. Dat deze niet beperkt blijven tot duurzame consumentenproducten moge duidelijk wezen; zo streeft men in de UK naar een wijdverspreid systeem van recyclage voor bouwmaterialen tegen 2005-2009.

MATERIALEN EN AANVERWANTE TECHNOLOGIEËN

Inzake specifieke ontwikkelingen op het vlak van materialen kan worden aangegeven dat een verdere afname van het relatief belang van metalen mag verwacht worden; keramische materialen, polymeren en composietmaterialen winnen meer en meer marktaandeel en dit ten koste van metalen⁵. Daarnaast wordt uitdrukkelijk gestipuleerd dat de evoluties inzake materialen essentieel zijn om een aantal ontwikkelingen te realiseren binnen andere industriële sectoren. Het betreft hier zowel de transportsector, ICT, maar evenzeer mechanica en mechatronica of nog constructie zoals tabel 13 duidelijk maakt. Deze tabel geeft een beeld van het belang van Advanced Materials in verschillende industriële sectoren.

TABEL 13: BELANG VAN ADVANCED MATERIALS

Sector	Volume
Transport	24%
Elektronica	20%
Mechanica en Mechatronica	18%
Constructie	15%
Verpakking	8%
Biomedisch	5%
Anderen	10%

Een recente studie van Eyre & Mathews illustreert duidelijk deze verwevenheid tussen bepaalde sectoren en de rol van materialen. Hun analyse betreffende de energiesector kan gevonden worden in tabel 14. Vergelijkbare fenomenen kunnen waargenomen worden in quasi alle andere sectoren zoals bijvoorbeeld ook het domein van ICT (zie o.m. het recent verschenen artikel van Chaudhari 'Information Technology: A Play of Materials, MRS Bulletin).

Marktvraag betreffende metalen en metaalcomposieten wordt gesitueerd in het domein van de ontwikkeling van lichtere en stevigere frames, het ontwikkelen van metalen die hittebestendige applicaties mogelijk maken (ruimte-en luchtvaart), legeringen die de performantie en duurzaamheid van motoren verhogen en slijtagebestendig zijn. Ook hoog op de onderzoeksagenda van R&D labs staan metalen die kunnen gebruikt worden in geavanceerde sensoren, low power electronica toepassingen, vermogenstransmissie, energie-opslag en magneten, inclusief Maglev ('magnetic levitation') - applicaties voor treinen.

Inzake keramische materialen worden evoluties verwacht die toelaten om de interconnectie/datarates voor multi-IC's te verhogen. Daarnaast vormen ook hier het ontwikkelen van hardere en slijtagebestendige materialen aandachtspunten. 'Cubic boron nitride' (cBN) wordt in dat verband een grote toekomst voorspeld, waarbij dit materiaal als deklaag optreedt voor bestaande materialen. Andere domeinen waar het belang van keramische materialen zal toenemen betreffen catalysatoren voor de chemische en petrochemische procesindustrie; materialen die in extreme omstandigheden duurzaamheid vertonen (ruimtevaartapplicaties, energie, transport).

Een andere belangrijke ontwikkeling, mogelijk minder relevant voor Agoria Vlaanderen, betreft het ontwikkelen van bio-compatibele materialen die toepassingen vinden in weefsel (re-) generatie en ook gebruikt worden bij implanten, sensoren en electrodes. Op nanoschaal (zie infra) kunnen dergelijke materialen ook leiden tot de ontwikkeling van 'smart materials'.

⁵ Bron: Futures Project - Technology Map – p.42, Evolution of different categories of materials for the next century, gebaseerd op het werk van Ashby M., Cambridge University.

TABEL 14: "REQUIREMENTS FOR INNOVATIVE TECHNOLOGY AND MATERIALS IN ENERGY USE" (EYRE & MATTHEWS, 2001)

Primary Energy	Fossil Fuels:		Renewables:		Nuclear Power:
Technology Requirements	Carbon dioxide removal	Reforming and pyrolysis for hydrogen production	Gas turbines	Large structures for generation	High-temperature gas-cooled reactors
	Carbon storage	Direct hydrogen production	High-efficiency internal-combustion engines	Drilling and rock fracture technologies	Plutonium and actinide waste-burning reactors and hybrid systems
	Carbon fixation	Hydrogen storage and transport	Flywheel storage Fuel cells Batteries		Tokamak fusion reactors Inertial confinement systems
Materials Requirements	Specialized membranes		Low-cost, low-energy civil engineering materials		Radiation-resistant materials
	Polymer electrolytes, catalysts, and electrodes		Light, cheap, efficient insulating materials		Low activation materials
	Advanced photovoltaic materials		Light, strong, composite structures		Corrosion-resistant and stress-corrosion cracking-resistant materials
	Optical-spectrum-tailored plastics and coatings		Very-high-temperature alloys, ceramics, and composites		Mechanical and plasma erosion-resistant materials
	Carbon nanotubes				
	Metal hybrid slurries				
	High-temperature superconductors				

TRANSPORT

Qua transport tekenen zich een aantal ontwikkelingen af op het vlak van aandrijving (motoren), het integreren van informatie en communicatietechnologie, het gebruik van materialen en tenslotte op het vlak van productietechnologie.

Inzake motoren en aandrijving van voertuigen verwacht men een toename van de energie-efficiëntie van klassieke motoren ten belope van 30% tegen 2008. Daarnaast projecteert men de verdere ontwikkeling en diffusie van motoren die gebruik maken van gas, methanol en biofuel (2010). Van hybride voertuigen die het gebruik van bestaande energiebronnen (benzine, diesel) combineren met elektrische aandrijving verwacht men zelfs aanzienlijke marktaandelen bereiken voor 2005. Op middellange termijn (na 2020) zal elektriciteit de verbrandingsmotoren vervangen. Inzake het gebruik van fuel cells als energiebron voor voertuigen blijft men voorzichtig. Betekenisvolle marktaandelen worden slechts verwacht na 2015.

Ook met betrekking tot telematica voor voertuigen wordt de komende decennia een gestage vooruitgang verwacht. In eerste instantie gaat het nog om 'geïsoleerde' applicaties zoals sensoren die toelaten aanrakingen met objecten en andere voertuigen te vermijden. Ook het elektronisch monitoren en aansturen van de motor met het oog op emissie en energie-efficiëntie staan hoog op de agenda. Aanzienlijke marktdiffusie van dergelijke applicaties wordt voorzien tegen 2005. Gaandeweg verwacht men een vergaande integratie met informatie-en communicatienetwerken die ook zullen toelaten regulerend op te treden ('Guided Vehicles Navigation'). Essentiële elementen in dergelijke architectuur zijn navigatiesystemen en global positioning technologieën die een automatisch locatie van het voertuig toelaten. Het uitbouwen van een infrastructuur op de grond die dergelijke netwerkvorming mogelijk maakt wordt echter gezien als een van de belangrijkste vertragende elementen. Niet alleen zijn de kosten van dergelijke infrastructuur aanzienlijk, ook de maatschappelijke aanvaarding is een aandachtspunt. Specifieke toepassingen (zoals tolheffing) in bepaalde regio's worden de komende jaren wel verwacht.

Inzake materialen – zowel metalen, polymeren als composietmaterialen – blijft er een toenemende vraag naar lichtere, en tegelijkertijd stevigere, materialen. Het gebruik van dergelijke materialen heeft een positief effect op het brandstofverbruik. Andere aandachtspunten hebben betrekking op recyclage-overwegingen, en productieflexibiliteit. Men verwacht dat deze tendensen zullen resulteren in een toenemend gebruik van aluminium en composietmaterialen, en dit ten koste van staal.

De automobielsector is steeds een voorloper geweest op het vlak van het ontwikkelen van nieuwe benaderingen inzake ontwerp-en productiemethodologie alsook productieorganisatie. Deze vaststelling geldt ook voor het komende decennium. Het betreft hier fenomenen zoals rapid modelling en prototyping; het gebruiken van virtual reality omgevingen in het kader van simulatie, design for recycling en het verder ontwikkelen van platformbenaderingen waarbij modulariteit een cruciale rol speelt. Met betrekking tot de organisatie van het productieproces verwacht men het komende decennium een verdere ontwikkeling en uitbouw van virtual manufacturing, vergaande automatisering en 'lean production' principes. Cruciale aandachtspunten in dit verband zijn de organisatie van de 'supply chain' en de samenwerking met netwerken van leveranciers.

DE EUROPESE COMPETITIEVE POSITIE MET BETREKKING TOT DEZE TECHNOLOGIEDOMEINEN.

In de Futures studie werd ook een inschatting gemaakt van de relatieve competitieve positie van Europa ten aanzien van de Verenigde Staten enerzijds en Japan anderzijds. Tabel 15 geeft een weergave van de globale appreciatie zoals naar voor komt in de diverse verkenningstudies. De leidende rol van de Verenigde Staten dient nauwelijks onderstreept. De Europese Unie situeert zich eerder op het niveau van Japan.

Tabel 15: RELATIEVE POSITIE EUROPA

	EU	US	Japan
ICT	++	++++	+++
Life Sciences	++	++++	++
Energie	+++	+++	+++
Milieu	+++	+++	+++
Materialen	++	++++	+++
Transport	+++	++	+++

Een verdere verfijning van deze analyse resulteert in een SWOT analyse die een aantal sterke en zwakke domeinen identificeert die in tabel 16 kunnen gevonden worden.

TABEL 16: SWOT ANALYSE EUROPA

Relatief Zwakke Positie	Relatief Sterke Positie
Beeld en visualisatietechnologie	Software ontwikkeling
Chip/IC productie	Mobiele Communicatie
Artificiële Intelligentie	Ontwikkeling van sensoren en actuatoren
Biotechnologie toegepast op landbouw	Consumenten elektronica
Photovoltaïcs/Zonnecellen	Digitale TV
Ontwikkeling van batterijen	Ontwikkeling van geneesmiddelen
Ontwikkeling van keramische materialen	Hybride energieproductie
	Afvalbehandeling en recyclage
	Telematica voor transportapplicaties

Waar voorgaande tabellen mogelijk een eerder geruststellend beeld geven van de Europese positie, mag men niet uit het oog verliezen dat, globaal gesproken, de Verenigde Staten in de overgrote meerderheid van de technologiedomeinen een leidende rol inneemt. Dit is zeker het geval in een aantal ICT domeinen. Patentstudies tonen bovendien aan dat de kloof voor een aantal technologiedomein niet enkel groot is, doch zij vertoont bovendien de laatste jaren de neiging verder toe te nemen (Debackere, Zimmermann et al. 2000).

NANOTECHNOLOGY

"My budget supports a major new national nanotechnology initiative, worth \$500 million... The ability to manipulate matter at the atomic and molecular level. Imagine the possibilities: materials with ten times the strength of steel and only a fraction of the weight – shrinking all the information housed at the library of congress into a device the size of a sugar cube – detecting cancerous tumors when they are only a few cells in size..."

Some of our research goals may take 20 years or more to achieve, but that is precisely why there is an important role for the federal government."

William J. Clinton, President of the USA, January 21, 2000.

Tal van studies en expertopinionen wijzen nanotechnologie aan als een van de meest beloftevolle technologiedomeinen bij de start van de eenentwintigste eeuw. Dergelijke karakterisering hangt ongetwijfeld samen met de veelheid aan domeinen waarop nanotechnologie mogelijk een impact kan hebben. Deze betreffen niet enkel het aanmaken en bewerken van materialen; toepassingen situeren zich evenzeer in het domein van ICT (nano-electronica en computertechnologie), geneeskunde, lucht- en ruimtevaart, milieutechnologie en energie, alsook landbouw en biotechnologie. Daarnaast speelt het feit dat de Amerikaanse overheid van nanotechnologie een topprioriteit heeft gemaakt ongetwijfeld een rol inzake visibiliteit.

De ontwikkeling van domeinen zoals nanowetenschap en nano-engineering – waarbij men ingrijpt op het niveau van moleculen en atomen om te komen tot de creatie van grotere structuren gekenmerkt door een andere moleculaire structuur dan die we heden ten dage kennen – impliceert een vergaande kennis, begrip en controle over de bouwstenen van materie. In die zin kan men stellen dat nanotechnologie meer impliceert dan de logische volgende stap in het miniaturisatieproces. Wanneer men de fysieke kenmerken en het gedrag van geïsoleerde moleculen gaat vergelijken met materiaal op een schaalgrootte van 1 tot 100 nanometers (100 tot 10.000 maal kleiner dan de diameter van menselijk haar) stelt men vast dat andere inzichten en wetmatigheden aan de orde zijn. In die zin kan men stellen dat nanotechnologie zich bezighoudt met het creëren van inzichten en kennis betreffende materialen en systemen waarvan de structuur en componenten nieuwe, verbeterde, karakteristiekeken vertonen – op het vlak van fysieke, chemische en biologische kenmerken - en dit dankzij het ingrijpen op atomair en moleculair niveau.

De fundamentele – of tenminste, het potentieel – van nanotechnologie, werden al in jaren '50 gelegd. De befaamde lezing van Richard Feynman (1959) 'There is plenty of room at the bottom' projecteerde reeds tal van mogelijke ontdekkingen en applicatiedomeinen, eens men in staat zou zijn om materialen en 'machines' te creëren in ordergroottes van atomen en moleculen. Het duurde echter tot de jaren '80 en '90 vooraleer instrumenten beschikbaar waren om op dit niveau aan de slag te gaan. Dankzij dergelijke instrumenten werd steeds meer duidelijk dat op dergelijke, nano-schaal andere wetmatigheden aan het werk zijn. Traditionele modellen en theorieën inzake kenmerken van materialen impliceren assumpties die gebaseerd zijn op de aanwezigheid van 'critical scale lengths' en deze zijn in regel groter dan 100 nanometer. Wanneer ten minste een van de dimensies van een welbepaalde materiaalstructuur kleiner is dan deze kritische lengte, manifesteren zich vaak kenmerken en gedrag die niet langer te verklaren zijn aan de hand van de gekende inzichten die op microschaal spelen. De mogelijke invloed die ontwikkelingen inzake nanotechnologie kunnen hebben is aanzienlijk. Op dit ogenblik ontstaat er meer en meer eensgezindheid dat volgende toepassingsdomeinen op – relatief korte – termijn het meest beïnvloed zullen worden door de komst van nanotechnologie.

Materialen

Fundamentele veranderingen worden verwacht met betrekking tot de aanmaak en productie van materialen. Men verwacht het ontstaan van nieuwe lichtere, sterkere en zelfs programmeerbare materialen, het reduceren van kosten over de levenscyclus door het optimaliseren van slijtageprocessen, alsook het ontstaan van nieuwe, specifieke productietechnologie die zich op dit nano-niveau situeert. Applicaties situeren zich in het aanmaken van metalen, keramische materialen en polymeren; het optimaliseren van printprocessen door het inbrengen van nano-partikels die optimale eigenschappen vertonen inzake kleurpigmenten; het versterken van carbides, het aanmaken van deklagen voor snijtuigen, elektronische, chemische en structurele applicaties; nieuwe standaarden voor metingen op nanoschaal en tenslotte het kunnen aanmaken van complexe chips op nanoschaal. Ook batterijen ter grootte van een creditkaart behoren tot de verwachte applicaties.

Nano-electronica computertechnologie

Deze laatste ontwikkeling brengt ons bij een tweede belangrijk toepassingsdomein, namelijk nano-electronica en computer technologie. Zoals genoegzaam bekend, ontwikkelt de SIA (Semiconductor Industry Association) continu een roadmap die de ontwikkelingen inzake halfgeleiders en hun applicaties weergeeft. Het betreft ontwikkelingen en verbeteringen inzake miniaturisatie, snelheid en reductie van energieverbruik. De huidige roadmap projecteert ontwikkelingen tot 2010, waarbij men een schaal van 0,1 micron (100 nm) bereikt. Dat het einde van deze roadmap zich daar situeert mag niet verwonderen. Op kleinere schaal tast men momenteel nog in het duister rond een aantal aspecten inzake principes, fabricagemethoden en manieren om deelelementen te integreren in grotere systemen. Gegeven dat het makkelijk 10 tot 15 jaar kan duren vooraleer nieuwe wetenschappelijke inzichten vertaald worden in nieuwe technologie, wordt vandaag dan ook intensief geïnvesteerd in technologie terzake, onder meer ook door een aantal grote bedrijven actief in de computerindustrie. Applicaties die verwacht worden in de toekomst betreffen microprocessors opgebouwd uit nano-elementen (met een aanzienlijke verhoging van de processingcapaciteit, men spreekt hier van een effectiviteitsverhoging in de orde grootte van duizend en zelfs miljoenen). Het gebruik van nanotechnologie in telecommunicatienetwerken kan resulteren in een optimaler gebruik van het optische spectrum (dit zou moeten leiden tot een vertienvoudiging van de capaciteit van bandbreedte). Het ontwikkelen van nieuwe opslagtechnologie die toelaat te gaan tot multi-terabit niveaus is een andere mogelijke applicatie-evolutie; en tenslotte het ontwikkelen van geïntegreerde nano-sensor systemen die moeten toelaten grote hoeveelheden data te verzamelen, verwerken en doorsturen met een minimaal gewicht, afmetingen en energieverbruik.

Ook op het vlak van *energie en milieuvriendelijke produktietechnologie* tekenen zich applicatiedomeinen af; nanosensoren en NEMS kunnen een rol spelen inzake het meten van emissies, het ontwikkelen van katalysatoren op nanoschaal kan resulteren in efficiëntieverhogende effecten; nano-partikels kunnen een rol gaan spelen in het verwijderen van schadelijke, milieubelastende deeltjes; polymeren versterkt met nanopartikels kan op termijn leiden tot het vervangen van metalen in de transportsector; het vervangen van koolstof in rubberen banden door nanopartikels afkomstig van klei en polymeren kan leiden tot milieuvriendelijkere en bestendige autobanden,...

Met betrekking tot *ruimte-en luchtvaart* ziet men mogelijke applicatiedomeinen. Deze worden ingegeven door de beperkingen die men momenteel kent inzake het lanceren van materiaal (gewicht) in de ruimte, en het energieverbruik dat hiermee samenhangt. Het ontwikkelen van nieuwe materialen gebaseerd op nanotechnologie biedt hier straks nieuwe mogelijkheden.

Andere toepassingsdomeinen betreffen geneeskunde, biotechnologie en landbouw; gezien het opzet van deze studie wordt hier in dit rapport niet verder op ingegaan. Tabel 17 vat een aantal van deze ontwikkelingen samen.

Nanotechnologie vandaag

Hoewel het voorgaande mogelijk een zeker futurologisch karakter heeft, mag men niet uit het oog verliezen dat vandaag de dag reeds een aantal toepassingen van nanotechnologie een betekenisvolle markt hebben gevonden. Colorimetrische sensoren zijn in staat om selectief te reageren op biologisch DNA; dit laat toe om testen te ontwikkelen die de aanwezigheid van tuberculose of miltvuur detecteren. De eerste producten (ontwikkeld door Northwestern University) zijn op dit ogenblik in commerciële ontwikkeling. Het creëren van nieuwe materialen door het wijzigen van de atomaire structuur ligt aan de basis van de creatie van Vitreloy™, een materiaal ($Zr_{41.2}Ti_{13.8}Cu_{12.5}Ni_{10.0}Be_{22.5}$) ontwikkeld door Howmet Corp (US.) Dit nieuwe materiaal is dubbel zo hard, flexibel en sterk als staal. Het materiaal wordt bekomen door het creëren van een amorfe (non-crystalline) atomaire structuur via snelle afkoelingsprocédés. Op dit ogenblik wordt dit materiaal gebruikt in golfclubs en defensieapplicaties (deze beide applicatiedomeinen zijn in het verleden reeds vaker een broedplaats gebleken voor materiaalontwikkeling).

Binnen de sector van informatietechnologie betreft de bekendste applicatie, het GMR effect (Giant Magneto Resistance) dat wordt gebruikt in leeskoppen van magnetische schijven. Wanneer bepaalde materialen wordt blootgesteld aan een magnetisch veld, wijzigt de elektrische weerstand. Dit effect is nuttig voor het detecteren van (verschillen) in magnetisatie zoals die gevonden worden op magnetische databits van computerschiven. In 1988 werd het GMR effect ontdekt in lagen van films (magnetische en niet-magnetische) op nanoschaal. In 1991 slaagden onderzoekers in Almaden (IBM) er in om aan te tonen dat het GMR effect kon gecreëerd worden in eenvoudig aan te maken prototypes en dat een specifieke GMR structuur kan gebruikt worden voor het waarnemen van magnetische velden. Dit resulteerde in de ontwikkeling van een commercieel product in 1997; heden ten dage worden dergelijke sensoren gebruikt in de leeskoppen van harde schijven. In de nabije toekomst (2005) verwacht men verdere applicaties in het domein van RAM geheugens (MRAM, magnetic Random Access Memory), waarbij de 'access time' zou gereduceerd worden tot 10 nanoseconden (momenteel nog milliseconden).

TABEL 17 : NIEUWE ONTWIKKELINGEN IN HET DOMEIN VAN DE NANO-TECHNOLOGIE

Materials	Medicine	Manufacturing	ICT Applications & Mechatronica
<p>Carbon nanotubes: a super thin pipe made of a rolled-up sheet of carbon atoms, having hardness, toughness, tensile strength, thermal and electrical conductivity, and super-conductivity (tensile strength 60 times greater than steel of the same weight)</p> <p>Nanotubes could replace carbon black in automobile tires. Could be used for adding strength to materials (e.g composite materials, automobile tires) - plastic engine parts in cars (heat resistance, stronger and more electrically conductive) Nanotubes can also serve as a lightweight shield against magnetic radiation.</p> <p>Carbon free nanotubes: straws at the nanoscale made from boron nitride. They have a higher tolerance to heat and are less likely to oxidize than carbon nanotubes.</p> <p>Carbon free nanotubes: might be used to reduce friction on bearings in heavy machinery</p>	<p>MEMS for DNA analysis and cancer screening. Quantum dot lasers for sorting cells/proteins and manipulating DNA (already on the market). Quantum dots, that light up when exposed to biological functions (heart attack,...). Super paramagnetic particles are used for contrast enhancement to create images of biological structures. Ultra-sensitive sensors to detect genetic alternations. HIV drugs based on fullerene (carbon atoms that easily bind with HIV infected cells)</p> <p>Nanoshells (silica & gold) that might allow to destruct cancer cells</p> <p>Impact on developments in the fields of:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tissue engineering • Genetic engineering • Personalized medicine <p>However, nano-machines circulating in bloodstream for 'cleaning' > 25 years.</p>	<p>Laser beam manipulation of microscopic particles could be used to drive motors, mixers, centrifuges in tiny automated technologies in the future.</p> <p>Nanotube can be used to reduce friction on bearings in heavy machinery.</p> <p>MEMS in airbags (already on the market).</p> <p>Viscosity-controlling agents in oil drilling bits and other applications</p>	<p>Blue-laser CD technology may soon see widespread application.</p> <p>Pervasive computing - Extreme Ultraviolet Lithography (EUV) to print miniature chips -will not be commercialized before 2005</p> <p>Carbon transistors will at first enhance and then replace silicon circuitry ± in 3 years:</p> <ul style="list-style-type: none"> • memory chip < 2 years • chip to replace flash memory < 5 years • flat-panel displays • small transistors <p>Nanolasers, built of nanowires, that emits UV light find applications in:</p> <ul style="list-style-type: none"> ⇒ data storage ⇒ laser printers ⇒ biochips ⇒ optical computing <p>Optical switches, optical filters (use of sub-wavelength optical devices) implying Mems/Nems devices.</p> <p>Tunable lasers (convert data packets from one wavelength to another - eight nanometers wide) - would overcome the delays related to the conversion of light into electrical signals.</p>
		<p>Applications for Energy</p>	
		<p>Nanotubes: mechanical bending is transformed into electrical power => could be placed in ocean like seaweed and generate electric power (years off)</p> <p>Power MEMS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - can drive microturbines & micro-generators - alternative for batteries (> several years) <p>Batteries: replace lithium with nanotubules, which have an extraordinary capacity to carry charge</p> <p><i>Better catalysts to cut air pollution from cars</i></p>	

TOT SLOT

De voorgaande studie maakt een aantal dingen duidelijk. In eerste instantie werd een breed inzicht verworven met betrekking tot een veelheid aan nieuwe technologische ontwikkelingen die relevant zijn voor de Agoria leden. De relatie die gelegd werd met de verschillende sectoren van Agoria Vlaanderen, laat onder meer toe om per sector te starten met de vertaling van de bevindingen naar specifieke, voor hun leden relevante, toepassingen. Agoria Vlaanderen, alsook en in belangrijke mate het WTCM, kunnen hier verder een ondersteunende en begeleidende rol spelen, ook en in het bijzonder naar de KMO-leden toe.

Daarenboven werd duidelijk een veelheid aan kruisverbanden tussen technologiedomeinen en Agoria sectoren zichtbaar gemaakt. Vanuit deze vaststelling kan deze studie dan ook een inzicht verschaffen bij het identificeren van opportuniteiten tot kruisbestuiving evenals de definitie van thema's waarop samenwerkingsverbanden en netwerkvorming kunnen worden uitgebouwd. In die zin vormt deze studie een bevestiging van en steun voor de relevantie van de door Agoria Vlaanderen en haar leden opgestarte samenwerkingsplatformen zoals Flanders Drive en Mechatronica.

Tenslotte toont deze studie ook aan dat voor wat betreft de uitvoering van verkenningsstudies op zich, de idee van netwerkvorming en samenwerking eveneens erg relevant is. In die zin wordt dan ook gepleit voor het nemen van initiatieven – mogelijk in samenspraak met de Vlaamse overheid – die toelaten meer systematisch aansluiting te vinden bij internationale netwerken en fora inzake technologieverkenning. Gezien de nood aan actualisering van dergelijke verkenningsoefeningen betreft het hier aandachtspunt voor de zeer nabije toekomst. Een aansluiting die bovendien faciliterend kan werken naar de uitbouw van internationale R&D samenwerking toe. Ook Agoria en haar leden kunnen in dit proces een centrale rol spelen. Nu blijken, uit onze analyses en contacten, Vlaamse ondernemingen, federaties en overheid vaak op een ad hoc en op een min of meer toevallige manier bij dergelijke projecten betrokken te worden. Dit zou veel meer systematisch en gepland kunnen gebeuren, met alle positieve spillover-effecten vanden.

BIJLAGE 1: KENMERKEN VAN EN AANDACHTSPUNTEN INZAKE HET OPZETTEN VAN VERKENNINGSTUDIES.

"Plans are nothing. Planning is everything" (D. Eisenhower)

Sinds jaar en dag betonen ondernemingen, beleidsmakers en onderzoeksinstellingen een oprechte interesse in het doorgronden van technologische ontwikkelingen en meer bepaald het ontwikkelingstraject dat technologieën volgen. De oorsprong van deze interesse is voor de hand liggend. Als men erin slaagt om dit ontwikkelingstraject tot op zekere hoogte te ontleden, kan deze kennis vervolgens gebruikt worden om toekomstige technologische ontwikkelingen te gaan "voorspellen". De reden waarom het zo interessant is om toekomstige ontwikkelingen te kunnen voorspellen is op haar beurt ook nogal voor de hand liggend. Immers, als een onderneming tijdig een technologische ontwikkeling kan identificeren en naar waarde weet te schatten, zal ze sneller hierop kunnen inspelen en zo een competitief voordeel weten te verwerven.

Deze interesse in het doorgronden en voorspellen van ontwikkelingstrajecten van (nieuwe) technologieën ligt aan de oorsprong van talrijke disciplines zoals technologievoorspelling ("*forecasting*"), technologieverkenning ("*foresight*") en "*technology assessment*". Maar waar ligt het verschil tussen deze benaderingen?

Allereerst, daar waar het bij "*technology assessment*" vooral gaat om het correct inschatten van de maatschappelijke implicaties die een bepaalde technologische ontwikkeling met zich mee zal brengen, ligt de focus bij de overige twee disciplines eerder op het tijdig onderkennen ('foresight') en voorspellen ('forecast') van dergelijke ontwikkelingen.

Bij technologievoorspelling wordt voornamelijk gebruik gemaakt van cijfermateriaal en kwantitatieve technieken om een beeld te krijgen van hoe een technologie zich in de nabije of verre toekomst zal ontwikkelen. Technologische groeicurven, waarvan de S-curve de meest gekende is, worden hier gebruikt worden voor het uitwerken van concrete technologievoorspellingen. De meest voor de hand liggende methode om dit te doen is de extrapolatie van historische trends. Op die manier vormt het verleden een gids voor de toekomst. Vooral in gevallen waar het groeiproces reeds een aanvang heeft genomen kunnen voorspellingen aangaande het toekomstige traject gemaakt worden door het verloop van een dergelijke technologische S-curve te anticiperen, gebruikmakend van de reeds beschikbare historische data omtrent de technologie in kwestie. In de startfase van technologieontwikkelingen zijn dergelijke kwantitatieve modellen echter minder relevant en wint technologieverkenning aan belang.

Bij technologieverkenning wordt de aandacht vooral toegespitst op het tijdig onderkennen van nieuwe ontwikkelingen waarvoor vaak nog geen kwantitatieve data voorhanden is. In dit geval wordt vooral beroep gedaan op de expertise en toekomstvisies van domeinexperten.

TECHNOLOGIEVERKENNING: VAN DE TOEKOMST VOORSPELLEN NAAR SAMEN DE TOEKOMST CREËREN

De doelstelling van technologieverkenning bestaat er dus in om nieuwe ontwikkelingen en trends – waarvoor vaak nog geen kwantitatieve data voorhanden is – te identificeren. Het gaat hierbij zowel om technologische ontwikkelingen als om marktgerelateerde trends. Vragen waar een technologieverkenning doorgaans een antwoord op tracht te formuleren zijn:

- welke technologische trends en ontwikkelingen dienen zich aan?
- wat zal de impact van de geïdentificeerde trends zijn op onze kernactiviteiten?
- wanneer zullen nieuwe technologische ontwikkelingen zich manifesteren in de markt?

Inzichten verkregen uit een dergelijke technologieverkenning kunnen van onschatbare waarde zijn voor ondernemingen of voor een economische sector in haar geheel. Meer in het bijzonder stelt een technologieverkenning een onderneming of sector tot het volgende:

- identificeren van nieuwe opportuniteiten;
- vastleggen van technologische vereisten en standaarden voor nieuwe producten, processen, materialen, enz.;
- identificeren van leemtes in beschikbare onderliggende technologieën;
- evalueren van verschillende mogelijkheden om een benodigde technologie te verwerven (gaande van in-house ontwikkeling tot acquisitie van een onderneming die deze technologie bezit);
- planning van de R&D portfolio van een onderneming (in welke domeinen gaan we onderzoek verrichten? welke zullen de kerncompetenties en -vaardigheden zijn die we in de toekomst nodig zullen hebben?);
- formuleren van de ondernemingsstrategie (beleid, strategische planning).

Technologieverkenning en haar populariteit in de jaren 80 kan voornamelijk toegeschreven worden aan het werk van Ben Martin en John Irvine. In hun werk *“Foresight in Science. Picking the Winners”* uit 1984 en *“Research Foresight”* uit 1989 wordt uitgelegd hoe landen (of regio's) dienen te komen tot de formulering van hun onderzoeksprioriteiten. De belangrijkste boodschap die in hun werk gecommuniceerd wordt is dat een overheid haar onderzoeksprioriteiten dient te stellen op basis van een zogenaamde “anticiperende rationale”. Verkenningstudies zouden moeten resulteren in een visie op de toekomst waarbij een overzicht wordt gegeven van de verschillende mogelijke markt- en technologische ontwikkelingen, gelinkt aan een inschatting van hun respectievelijke impact.

De uiteindelijke doelstelling van een technologieverkenning bestaat erin om, in de mate van het mogelijke, klaarheid te scheppen omtrent de toekomstige technologische ontwikkelingen en markttrends. We dienen echter wel op onze hoede te zijn! Het uitvoeren van een technologieverkenning zal ons NIET in de mogelijkheid stellen om “accurate” voorspellingen te doen omtrent toekomstige ontwikkelingen voor bijvoorbeeld de komende vijf tot tien jaar. Het “accuraat” uitvoeren van dergelijke voorspellingen is een illusie! Inderdaad, vermits het hier in se gaat om toekomstige en innovatieve ontwikkelingen maken begrippen als risico, onzekerheid en ambiguïteit een inherent deel uit van het verhaal. De toekomst, in het algemeen, of wetenschappelijke en technologische vooruitgang, in het bijzonder, dringen zich niet aan ons op volgens een vooraf bepaald patroon. Technologieën volgen geen op voorhand bepaald “endogeen” ontwikkelingstraject. Integendeel, ze worden mede door onszelf en door een veelheid van andere actoren medegecreëerd en geconstrueerd. Inderdaad, de ontwikkeling van een nieuwe technologie is inherent een sociaal verankerd proces en kan bijgevolg niet louter gezien worden als een functie van een groep technologische parameters.

Dit betekent concreet dat we de “voorspellingslogica” dienen los te laten en dat we aan technologieverkenning dienen te doen vanuit een logica van “reflectief observeren en analyseren”. De ambitie om accuraat en eenmalig te “voorspellen” hoe de toekomst eruit zal zien dient bijgevolg vervangen te worden door een iteratief proces met een “analyse–beslissing–actie–reflectie” logica. Vanuit een aantal, door nauwkeurige analyse ingegeven, assumpties wordt een bepaalde visie van de toekomst geprojecteerd. Op basis van deze gedeelde toekomstvisie worden vervolgens strategische beslissingen genomen omtrent het al dan niet opstarten van nieuwe R&D projecten, de zoektocht naar geschikte partners voor samenwerking, enzovoort. De volgende stap is een proces van continue reflectie en opvolging waarbij nieuwe technologische ontwikkelingen en markttrends op de voet gevolgd worden en er systematisch gecheckt wordt of eerder gemaakte assumpties al dan niet aan de werkelijkheid beantwoorden. Dit laatste impliceert dat mogelijk eerder genomen beslissingen en acties mogelijk dienen aangepast te worden afhankelijk van de relevantie van de initiële assumpties in het licht van de zich wijzigende omgevingsfactoren.

De uiteindelijke doelstelling van een technologieverkenning bestaat er bijgevolg in om “mogelijke” toekomstige ontwikkelingen in kaart te brengen – zonder dat 100% zekerheid omtrent de uitkomst van deze ontwikkelingen wordt geïmpliceerd – en zo de kwaliteit van beslissingen die dienaangaande genomen worden te verhogen door het expliciteren en verfijnen van veronderstellingen en assumpties die aan de beslissing ten grondslag liggen.

Het is van cruciaal belang om te zien dat de toegevoegde waarde van een technologieverkenning niet alleen ligt in de uitkomst van een dergelijke studie, maar vooral ook in het proces van de verkenning zelf. Irvine en Martin identificeren hieromtrent een vijftal dimensies. Het proces van een technologieverkenning leidt in het bijzonder tot:

- **COMMUNICATIE:** het samenbrengen van visies van experts, idealiter met een verschillende achtergrond (zoals R&D personeel, academische onderzoekers, beleidsmakers, enz.) op het gebied van een bepaalde (toepassing van een) technologie. Een technologieverkenning verschaft also een structuur waarin experts op een directe of indirecte wijze met elkaar kunnen communiceren.
- **CONCENTRATIE** op de toekomst: een technologieverkenning verplicht ondernemingen om zich op systematische wijze, en op zijn minst op periodieke basis, expliciet na te denken over de toekomst.
- **COÖRDINATIE:** het uitvoeren van een technologieverkenning opent voor ondernemingen de mogelijkheid om R&D activiteiten onderling te coördineren en op elkaar af te stemmen.
- **CONSENSUS GENEREREN:** de resultaten van een technologieverkenning creëren een zekere mate van onderlinge consensus omtrent welke de belangrijkste technologische ontwikkelingen en markttrends zijn die in de nabije tot verre toekomst de sector zullen beïnvloeden.
- **COMMITMENT:** het uitvoeren van een technologieverkenning genereert een gevoel van betrokkenheid en geëngageerdheid met betrekking tot de resultaten van de technologieverkenning. Mits voldoende “commitment” vanwege de betrokken partijen kunnen de toekomstvisies die tijdens dit proces gegenereerd werden uiteindelijk “self-fulfilling” worden. Idealiter kan dit resulteren in een opvatting dat de toekomst samen “gecreëerd” wordt. Immers, als iedereen in eenzelfde toekomstvisie gelooft en overeenkomstig hieraan ageert, wordt de waarschijnlijkheid dat deze toekomstvisie uiteindelijk zal bewaarheid worden vanzelfsprekend groter.

HOE TECHNOLOGIEVERKENNING OPZETTEN?

Vanuit bovenstaande optiek hebben in de afgelopen decennia voornamelijk overheden en sectorfederaties talrijke klein- en grootschalige technologieverkenningen opgezet of laten uitvoeren. Grosso modo kunnen hierbij twee grote benaderingen onderscheiden worden omtrent de wijze waarop technologieverkenningen worden opgezet. De eerste benadering bestaat uit het opzetten van permanente (sectoriële) expert panels, waarbij directe communicatie tussen de experten wordt gestimuleerd. De tweede benadering omvat het opzetten van een grootschalige bevraging, al dan niet in verschillende rondes, van experten binnen het technologiedomein in kwestie. Bij deze laatste benadering vindt de communicatie tussen de verschillende experten op een eerder indirecte manier plaats.

Expert panels

Het opzetten van permanente expert panels is de benadering die bijvoorbeeld gevolgd werd in het *UK Foresight Programme*, een continue technologieverkenningproces dat algemeen aanzien wordt als een toonaangevend voorbeeld. Het *UK Foresight Programme* werd opgestart in 1994, gevolgd door een publicatie van een eerste visie en beleidsaanbevelingen in 1995. Tijdens de volgende vier jaren werden deze visie en aanbevelingen verder ontwikkeld, verfijnd en geïmplementeerd. In 1999 werd een tweede verkenningronde opgestart met als voornaamste doel om de in het programma ontwikkelde toekomstvisie en aanbevelingen onder de aandacht te brengen in directiekamers van zowel kleine, middelgrote als grote ondernemingen.

Het *UK Foresight Programme* wordt beheerd door een Stuurgroep onder het voorzitterschap van het Office of Science and Technology (OST), dat op haar beurt is ondergebracht binnen het Department of Trade and Industry.

Expert panels vormen de kern van het *UK Foresight Programme*. In deze panels worden experten samengebracht uit het bedrijfsleven, de academische wereld, non-profit sector en de overheid met als taak om een gezamenlijke toekomstvisie te formuleren en overeenkomstig aanbevelingen te doen. De expert panels komen op periodieke basis samen en de resultaten van hun activiteiten worden gepubliceerd in rapporten en op een centrale *Foresight* website.

Een onderscheid kan gemaakt worden tussen twee types van expert panels:

- **Thematische panels**, die hun aandacht vooral toespitsen op een aantal brede sociale of economische kwesties die van invloed kunnen zijn op het maatschappelijk welzijn;
- **Sectoriële panels**, die gericht zijn op ontwikkelingen binnen specifieke economische sectoren of iets bredere activiteitsdomeinen.

In totaal leidde dit tot de oprichting van drie thematische en tien sectoriële expert panels (zie Tabel 18).

TABEL 18: EXPERT PANELS BINNEN HET UK FORESIGHT PROGRAMME

Thematic panels	Sector panels
■ Vergrijzing van de Bevolking	■ Bouw & Transport
■ Misdaadpreventie	■ Chemie
■ Productie & Bedrijfsprocessen	■ Defensie, Lucht- en Ruimtevaart
	■ Energie, Natuurlijke Grondstoffen & Milieu
	■ Financiële Diensten
	■ Voedselketen & Landbouw
	■ Humane Gezondheids- en Menswetenschappen
	■ Informatie, Communicatie & Media
	■ Materialen
	■ Detailhandel & Distributie

(Bron: <http://www.foresight.gov.uk/>)

Grootschalige bevraging van experts

Een tweede benadering voor het uitvoeren van een technologieverkenning bestaat uit het opzetten van een grootschalige bevraging van experts, al dan niet in verschillende rondes. Doorgaans wordt hierbij geopteerd voor een Delphi-bevraging, die toelaat om op een gestructureerde manier (expert) opinies te verzamelen en te analyseren. Dergelijke methode bestaat uit een iteratieve bevraging van respondenten gevolgd door een statistische analyse van hun antwoorden.

In het geval van een technologieverkenning wordt doorgaans geopteerd voor een grootschalige Delphi-studie met twee bevragingronden. In de eerste ronde wordt een groot aantal experts gevraagd om hun initiële bevindingen te geven met betrekking tot een aantal uitspraken omtrent mogelijke toekomstige technologische ontwikkelingen en markttrends. In het bijzonder wordt een respondent gevraagd om de waarschijnlijkheid aan te geven dat een geformuleerde uitspraak zal bewaarheid worden binnen een op voorhand aangegeven tijdsperiode. Doorgaans wordt de respondent ook gevraagd om zijn eigen niveau van expertise met betrekking tot elk van de uitspraken aan te geven.

Na verwerking van deze eerste-ronde resultaten worden dezelfde experts nogmaals aangeschreven in een tweede ronde. In deze tweede ronde wordt hen de mogelijkheid geboden om hun antwoorden uit de eerste ronde al dan niet bij te stellen in overeenkomst met de antwoorden die in de eerste ronde door alle experts werden gegeven. De (geaggregeerde) verzamelde antwoorden uit de eerste ronde worden met andere woorden terug gecommuniceerd naar de respondenten. Op deze wijze tracht men de spreiding van de verkregen antwoorden te reduceren, iets wat uiteindelijk zou moeten leiden tot een gedeelde, "convergente" toekomstvisie van de experts.

De Duitse Delphi'98 verkenning, "*Delphi '98 Studie zur Globalen Entwicklung von Wissenschaft und Technik*" genaamd, vormt een uitstekend voorbeeld van een verkenningsoefening uitgevoerd volgens de Delphi-benadering. Om en bij de 7000 experts werden voor deze gelegenheid betrokken in een Delphi-bevraging over twee rondes. Deze technologieverkenning werd opgestart in 1996, parallel aan de zesde Japanse *STA Technology Forecast Survey*. In totaal bestond de bevraging uit 1070 uitspraken opgedeeld in 12 verschillende thema's die aanleiding gaven tot het opstellen van 12 verschillende vragenlijsten (zie Tabel 19).

TABEL 19: THEMA'S VAN DE DUITSE DELPHI'98 STUDIE

De 12 thema's van de Duitse Delphi 98 Studie

- Informatietechnologie, Communicatie & Kennis
- Diensten & consumentenkwesies
- Productie, arbeidsorganisatie & management
- Nieuwe chemische producten & nieuwe materialen
- Gezondheid & menswetenschappen
- Voedselketen & landbouw
- Milieu
- Energiebevoorrading & natuurlijke grondstoffen
- Bouwen & wonen
- Mobiliteit & transport
- Ruimtevaartonderzoek en toepassingen
- Fundamenteel Onderzoek

(Bron: Delphi'98; OST(1998))

Zoals duidelijk werd in de inleiding is in deze studie geopteerd voor een gemengde aanpak. In eerste instantie werd er voor gekozen om de inzichten afkomstig uit recent uitgevoerde verkenningstudies te betrekken in deze studie. Deze werden vervolgens geconfronteerd en aangevuld met de opinies en ervaringen van experts werkzaam bij diverse Agoria leden en Vlaamse kenniscentra. In een volgende fase werd een selectie van de belangrijkste technologische ontwikkelingen vertaald in een vragenlijst die werd voorgelegd aan alle Agoria-leden. Deze bredere bevraging heeft o.m. als doel de relevantie en mogelijke impact van de veelheid aan ontwikkelingen voor de Agorialeden beter in kaart te brengen.

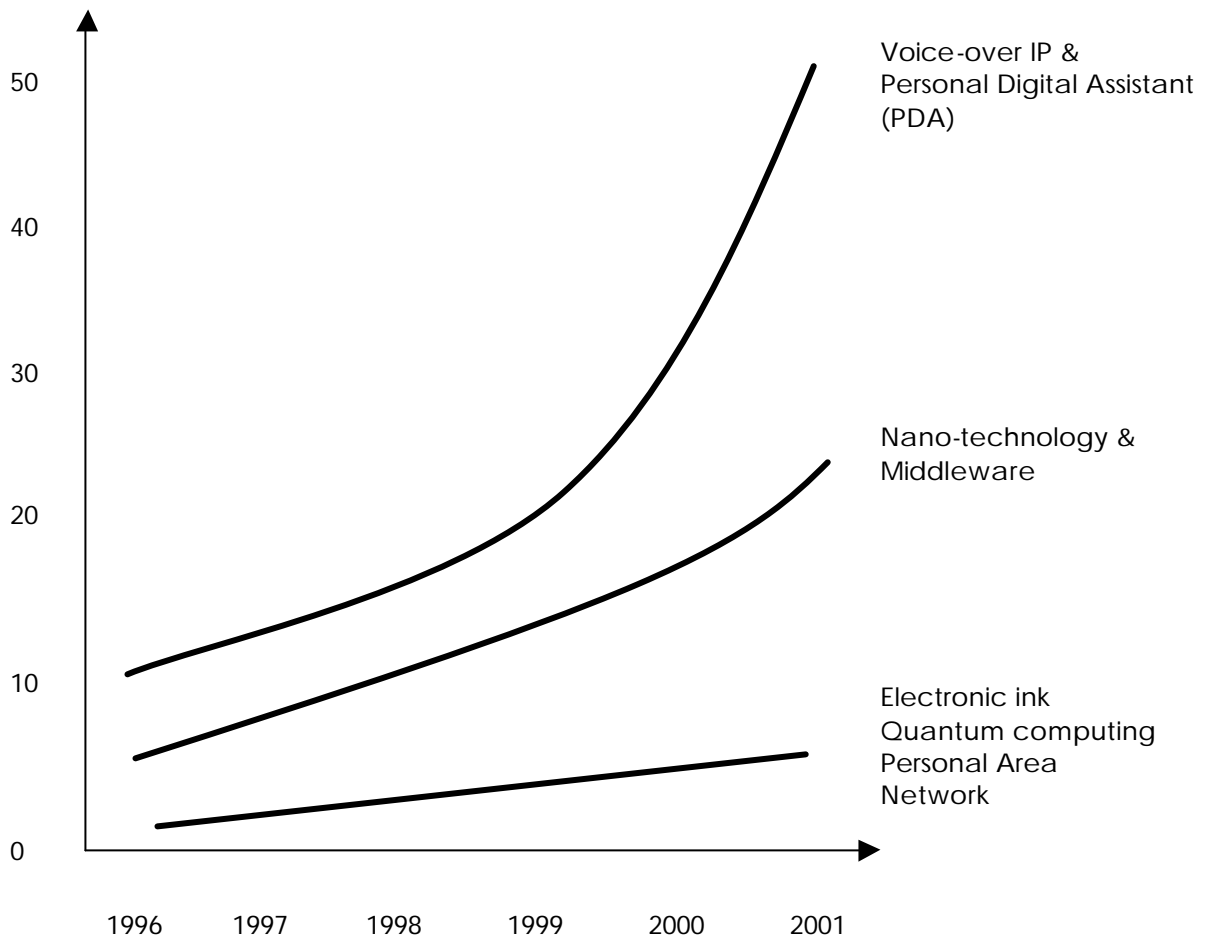
BIJLAGE 2: PATENTEN

Additionele inzichten in de evolutie van een technologie kunnen verworven worden door studie van de groei en evolutie van het aantal patenten in het betreffende domein. Patentanalyse geeft niet alleen een indicatie van de maturiteit van een technologie, maar ook van de mate waarin de technologie klaar is voor commercialisering.

Een groot aantal patenten, zoals de 2832 bestaande patenten rond 'Fuel cells', geeft aan dat de technologische ontwikkelingen zich in een vergevorderd stadium bevinden. Voor recente, ontluikende ontwikkelingen daarentegen, is het aantal patenten meestal beperkt. Evoluties in het aantal patenten doorheen de tijd vormen tevens een indicatie van de interesse van de industrie in deze ontwikkelingen en van de commercialiseerbaarheid van de resultaten.

Voor enkele van de geïdentificeerde trends uit dit rapport wordt hieronder een kort voorbeeld uitgewerkt. Voor elke trend kunnen een aantal kernwoorden geïdentificeerd worden. We onderzochten de US patenten vermeld op de website van Espacenet (www.ep.espacenet.com) door na te gaan of kernwoorden zoals 'electronic ink', 'middleware', 'quantum computing', enz. voorkwamen in de titel of abstract van deze patenten. De evolutie van het aantal gevonden patenten per kernwoord wordt weergegeven in figuur 9. Zo merkt men bijvoorbeeld dat het aantal patenten rond 'quantum computing' vanaf 1998 sterk toeneemt, wat duidt op een stijgende interesse voor het veld.

FIGUUR 9: EXEMPLARISCHE PATENTEVOLUTIES



BIJLAGE 3: OVERZICHT VAN DE PERSONEN DIE EEN BIJDRAGE LEVERDEN TOT DE STUDIE

1. Stuurgroep

De Bie Wim	Alcatel Bell
De Pril Wilson	Agoria Vlaanderen
Desimpelaere Luc	Barco
De Vocht Luc	Agoria Automotive
Leuridan Jan	LMS
Massonnet Jozef	Siemens Atea
Naessens Diederik	LVD
Pauwels Bernard	Picanol
Pinte Jos	Agoria Mechanica & Mechatronica
Raets Jos	Philips ITCL
Slaets Patrick	Agoria ICT
Van de Vel An	Agoria Vlaanderen
Van den Bossche Patrick	Agoria Metalen en Materialen
Vandeurzen Urbain	LMS
Vermeyleen Guido	Umicore Research

2. Experten

Allais Luc	SAIT-STENTO
Ameel Johan	Corus Aluminium
Baekelandt Jean-Pierre	Corus Aluminium
Benali Ali	Seghers Better Technology
Bienfait Philippe	Agoria Automotive
Blauwet G.H.	Philips Consumer Electronics
Block Chris	Xeikon
Borghs Gustaaf	IMEC
Bormans Jan	IMEC
Claus Herman	Siemens Atea
Colle Luc	Siemens Atea
Criel Etienne	D'Hooge
De Decker Arnold	Siemens
De Graeve Gino	Alcatel Bell
De Keukeleere Dirk	VITO
De Langhe Marc	Alcatel Bell
De Moor Dirk	Agoria Mechanica en Mechatronica
De Raeymaecker Wim	Grada International
De Roose Freddy	Corus Aluminium
De Sauvage Marc	Bekaert Engineering
De Smedt Alex	Siemens Atea
De Smedt Marc	Seghers better technology for water
De Smet Wim	MVD Plastics
De Vocht Luc	LDVC
Debrie Rony	Honda Access Europe
Demeyere Maurits	Demeyere
Desmet Erik	Valmet Panelboard
Diederich Pierre	Agoria Metaalproducten en kunststoffen
Flaherty Bob	Opel Belgium
Fossez J.	BRIL Carrosserie & Constructie

Franckx Joris	Tyco Electronics Raychem
Fransaer Dirk	VITO
George Yves	Siemens
Gerbrand Ceder	MIT
Gilbos Erik	Gilbos
Griens Wim	Lotus Notes/IBM
Grommen Wilfried	Microsoft
Gryspeerdts José	New Holland Belgium
Gypen Leo	Polyvision
Haemers Guy	Bekaert
Heethem Noel	VWV
Hoedemaekers Koen	VCST Industrial Products
Hutsebaut Noël	Packo Inox
Jacobs Peter	Seghers Better Technology
Jansen Cor	Schmalbach-Lubeca PET Containers
Janssen Colin	Rijksuniversiteit Gent Milieutoxicologie
Janssen Lou	Inalfa Metal Products
Keymeulen Lieven	Bekaert Composites
Kruth Jean-Pierre	KUL, PMA
Laes Edgard	Alcatel Microelectronics
Laperre Eric	Siemens
Lathouwers René	Telindus
Lehaen Rudi	Matino Metals
Lenders Alphonse	Fire Control
Librecht Freddy	Agfa-Gevaert
Liebaert Bert	Liebaert Staalbouw
Luchie Annie	Agoria Automotive
Maeyaert Eric	De Pecker
Maldague Eddy	Siemens Business Services
Martens Thierry	Esselte
Moonen Marc	KUL, ESAT
Naessens Diederik	LVD Company
Note Stefaan	Philips Components
Proost Stef	KUL, ETEW
Pype Patrick	Philips Consumer Electronics
Roobaert Georges	Hansen Transmissions International
Schamp Jan	Bosal International
Schodts P.J.A.	Jonckheere Subcontracting
Serneels Steven	S&V management Consultants
Serruys Wim	LVD Company
Sevenhans Jan	Alcatel Bell
Snauwaert Paul	New Holland Belgium
Steenbeke Marnix	Somati Group
Swerts Lutgart	Leoni Cable Assemblies Belgium
Tanghe Jean-Pierre	Barco
Thienpont Roland	Alcatel Bell
Thomas Alain	Motogroup BVBA
Van Bellegem Chris	ETAP
Van de Reviere Eddy	Malmar
Van de Sande Christian	Agfa-Gevaert
Van Den Berghe Guido	Asco Industries
Van Den Noortgate Luc	Agoria Technologie en Normen
Van der Auweraer Herman	LMS international
Van der Poel Carel	Philips
Van Eeckhoudt Gerrit	WACO
Van Hautte Christian	Gilbos
Van Hoyer Willy	Samsonite
Van Lysebeth Herman	Rogers

Van Moorsel Frits
Van Nieuwenhuysse Willy
Van Roosendael Pieter
Van Sande Marc
Vandemergel Luc
Vandersmissen Ludo
Vanhamme Dominique
Vanhuffel Christian
Vansteenkiste Rik
Vercammen Jan
Verhaert Koen
Verhelst Eric
Versavel Jo
Wens Leo
Weyten Herman
Wintgens Serge
Wullaert Geert
Ysewijn Henri

Inalfa
Philips Consumer Electronics
Decorophone
Umicore
Stow International
HMZ Belgium
Telindus
Agoria ICT
Delvano
Egemin Group
Verhaert design & development
Tyco Electronics Belgium EC
Traficon
Kautex
VITO
Asco Industries
S&V Management Consultants
Atlas Copco Airpower

BIJLAGE 4: BRONMATERIAAL

- Adam J. (2000) Internet Everywhere. MIT Tech Review.
- Agrawal M., Kumaresh T.V. & Mercer G.A. (2001). "The false promise of mass customization", The McKinsey Quarterly, No.3, pp.62-71.
- Astumian R. (2001) Making molecules into Motors. Scientific American.
- Berners-Lee T., Hendler J. & Lassila O. (2001) The Semantic Web. Scientific American.
- Chaudhari M. (2001) Information Technology: A Play of Materials, MRS Bulletin.
- Chianelli R. (2000) Materials Science 2100? MRS Bulletin
- Ditlea S. (2001) The electronic paper chase. Scientific American.
- Drexler E. (2001) Machine-Phase Nanotechnology. Scientific American.
- Eyre B. & Matthews J. (2001) Materials for the power industry. MRS Bulletin.
- Fairley P. (2000) A smarter Power Grid. MIT Tech Review.
- Fairley P. (2000) Fill'er up with hydragen. MIT Tech Review.
- Fairley P. (2000) The microphotonics revolution. MIT Tech Review.
- Field F. , Clark J. & Ashby M. (2001) Market drivers for materials and process development in the 21st Century. MRS Bulletin.
- Frauenfelder M. (2001) A smarter web. MIT Tech Review.
- Garfinkel S. (2000) Biological Computing. MIT Tech Review
- Gupta T. (2000) Materials for the Human habitat. MRS Bulletin.
- Häcki R. & Lighton J. (2001). "The future of the networked company", The McKinsey Quarterly, No.3, pp.26-39.
- IBM Journal of Research and Development (2000, 2001).
- IMEC (1999, 2000) Annual Scientific Report.
- Intern Traffice Exchange: Developments and Policy (1998). OECD Working party on Telecommunication and Information Services Policies. OECD publications.
- International Technology Roadmap for Semiconductors (1999, 2000)
- IPTS Futures Project - Conference Proceedings, Report No. 17.
- IPTS Futures Project - The Technology Map (2000)
- Isaac R. (2001) The future of CMOS Technology. IBM Journal of Research and Development.
- ITEC Technology Group Forward Look Paper (1999).
- Mann C. (2000) The end of Moore's law? MIT Tech Review.
- Mann C. (2001) Electronic Paper Turns the page. MIT Tech Review.
- Mihm S. (2000) Print your next PC. MIT Technology Review.
- Mayeres I. & Proost S. (2001) Should diesel cars in Europe be discouraged. Regional Science and Urban Economics, 31.
- Nanotechnology. Special Issue Red Herring, July 17 2001.
- Nanotechnology. Special Issue Scientific American. September 2001.
- National Nanotechnology Initiative (2000). Publication of NST Council, July 2000.
- NGM Roadmapping Task Force (1997). Next-Generation Manufacturing. A Framework for Action, Volume III, Digest of U.S. Industry Roadmaps.

Piehler H. (2000) The future of Medicine: Biomaterials. MRS Bulletin.

Proost S. (2001) What do the Ampere Results imply for Future Electricity Production in Belgium – An analysis with MARKAL Model.

Pulvirent S. and Ferraro F. (1997) Investing in the material world. The advanced Materials Sector. Furman Selz Report.

Regalado (2000) DNA Computing. MIT Tech Review.

Rothman D. (2001) Nanotech goes to work. MIT Tech Review.

Rothman D. (2000) Molecular Computing. MIT Tech Review

Roukes M. (2001) Nanoelectromechanical systems face the future. Physics World.

Sampath S. and McCune R. (2000) Thermal-spray processing of materials. MRS Bulletin.

Savage N. (2000) LEDs Light the Future. MIT Tech Review.

Schmidt C. (2001) Beyond the bar code. MIT Tech Review.

Schulze G. & Schultz C. (2001) Linear Motors in a rotary world. Sensor Magazine.

Schumpeter J. (1934) The theory of Economic Development. Cambridge University Press.

Silberman S. (2001) The Energy Web. Wired Magazine.

Statistisch Vergelijking van de productiekosten van elektriciteit in 2010. Ampere Rapport Werkgroep 1.

Styx G. (2001) Little Big Science. Scientific American.

Technologie Clés 2005. DiGITIP – Service de l’innovation et de la Qualité – OTS.

Technology Roadmap for Materials of construction, operation and maintenance in the Chemical Process Industries (1988) . Materials Technology Institute of the Chemical Process Industries.

Technology Roadmap for Nano-electronics. EC IST Program – Micro-electronics Advanced Research Initiative.

Technology Roadmap on Software Intensive Systems (2001) The vision of ITEA .

The Competitiveness Map: Avenues for Growth (1999) . Futures Report, No 12.

The Economics of a Technology-Based Service Sector. Planning Report (1998). National Institute of Standards & Technology Program Office Strategic Planning and Economic Analysis Group, U.S. Department of Commerce.

The Future Mobile Market. Global trends and developments with a focus on Western Europe (1999), UMTS Forum, Report No.8

The Physical world in a virtual age. (2000). UK Foresight Report – Built, Environment and Transport Panel.

UK Manufacturing (2000) Report of UK Foresight Panel.

Van Helleputte J. (2001) Trends in the ICT world and impact on IPR. Imec Paper.

Van Looy B., Zimmermann E., Debackere K., Veugelers R., Bouwen R. (2000) Development of a Methodological Framework for Examining Science and Technology in Flanders. 2. Methodological Framework.

Van Looy B., Zimmermann E., Debackere K., Veugelers R., Bouwen R. (2001) Development of a Methodological Framework for Examining Science and Technology in Flanders. Case-Study 2: “Tissue Engineering”.

Vestergaard Hau L. (2001) Frozen Light. Scientific American.

VITO (2000) Scientific Report

Voss D. (2001) A fuel cell in your phone. MIT Tech Review.

Waldrop M. (2000) Quantum Computing. MIT Tech Review

Whitesides G. and Love J. (2001) The art of building small. Scientific American.

Zimmermann E., Debackere K., Van Looy B., Ranga M., Veugelers R., Bouwen R. (2000)
Development of a Methodological Framework for Examining Science and Technology in Flanders.
1. Methodological Building Blocks.

Zimmermann E., Debackere K., Van Looy B., Ranga M., Veugelers R., Bouwen R. (2000)
Development of a Methodological Framework for Examining Science and Technology in Flanders.
Case-Study 1: "ICT & Learning".

AGORIA VLAANDEREN

Tel. 02/706 78 34 – Fax 02/706 78 44 – e-mail: agoria.vlaanderen@agoria.be

Verantwoordelijke uitgever: Wilson De Pril, Directeur-generaal,
Diamantgebouw, August Reyerslaan 80 – 1030 Brussel