



De technologische kennis- infrastructuur van Nederland

OCenW

Ministerie van Onderwijs
Cultuur en Wetenschappen

TNO-rapport
STB/96/005

**DE TECHNOLOGISCHE KENNISINFRASTRUCTUUR
VAN NEDERLAND**

Opdrachtgever:

Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen
Directie OWB

Auteurs:

TNO-STB, Apeldoorn
H. Schaffers (projectleider)
B. Alders
C. Enzing
P. den Hertog
P. van der Hofstad
H. Huisman
J. Kuijper
S. Maltha
E. Smeets

TNO-INRO, Delft
H. Vethman

Apeldoorn, januari 1996



Voorwoord

DEEL I SELECTIE TECHNOLOGIEGEBIEDEN

1. INLEIDING, PROBLEEMSTELLING EN AANPAK	1
2. SELECTIE VAN TECHNOLOGIEGEBIEDEN	3
2.1 Wereldwijd belangrijke technologiegebieden	3
2.2 Voor Nederland belangrijke technologiegebieden	9
3. OVERZICHT VAN DE TECHNOLOGISCHE KENNISINFRA- STRUCTUUR VAN NEDERLAND (SAMENVATTING)	13
3.1 Materiaaltechnologie	13
3.2 Procestechnologie	14
3.3 Katalyse	15
3.4 Elektronica	16
3.5 Informatie- en communicatietechnologie	17
3.6 Computational modelling & simulation	19
3.7 Biotechnologie	20
3.8 Voedingsmiddelentechnologie	21
3.9 Milieutechnologie	22
3.10 Medische technologie	23
3.11 Arbeid en gezondheid	24
3.12 Transporttechnologie en logistiek	25
3.13 Produktietechnologie	27
3.14 Energietechnologie	28
3.15 Luchtvaart- en ruimtevaarttechnologie	29
3.16 Civiele technologie	30

BIJLAGEN DEEL I

- I : STRATEGISCHE TECHNOLOGIEËN: INTERNATIONALE STUDIES
- II : EMERGING TECHNOLOGIES
- III : ONDERZOEKSCHOLEN IN TECHNOLOGIEGEBIEDEN
- IV : LIJST VAN AFKORTINGEN

DEEL II DE TECHNOLOGISCHE KENNISINFRASTRUCTUUR

1. MATERIAALTECHNOLOGIE
2. PROCESTECHNOLOGIE
3. KATALYSE
4. ELEKTRONICA
5. INFORMATIE- EN COMMUNICATIETECHNOLOGIE
6. COMPUTATIONAL MODELLING & SIMULATION
7. BIOTECHNOLOGIE
8. VOEDINGSMIDDELENTECHNOLOGIE
9. MILIEUTECHNOLOGIE
10. MEDISCHE TECHNOLOGIE
11. ARBEID EN GEZONDHEID
12. TRANSPORTTECHNOLOGIE EN LOGISTIEK
13. PRODUKTIECHNOLOGIE
14. ENERGIETECHNOLOGIE
15. LUCHTVAART- EN RUIMTEVAARTTECHNOLOGIE
16. CIVIELE TECHNOLOGIE

Voorwoord

Begin 1995 heeft het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen aan TNO-STB verzocht de publieke technologische kennisinfrastructuur rond een aantal van de voor Nederland belangrijkste technologiegebieden in kaart te brengen. Doel daarvan was enerzijds het verschaffen van inzicht aan een breed publiek in het belang van deze technologische kennisinfrastructuur voor de samenleving. Daarnaast zou op basis van een dergelijk overzicht meer inzicht kunnen worden ontwikkeld ten behoeve van het beleid, bijvoorbeeld gericht op verbetering van de afstemming van de onderzoekinfrastructuur op de behoeften van de samenleving. In die zin sluit de voorliggende evaluatie aan bij het technologisch profiel van ondernemend Nederland opgesteld in het kader van de "Actie voor Technologie", geïnitieerd door VNO/NCW, en bij de eerder dit jaar door TNO-STB in opdracht van de Overleg Commissie Verkenningen uitgevoerde studie "De Nederlandse kennisportfolio op het gebied van de technische en natuurwetenschappen en de belangrijkste technologiegebieden".

Van de zijde van het ministerie van OC&W trad drs. E. Broesterhuizen op als coördinator; wij danken hem en zijn collega's voor hun commentaren op eerdere versies. Als opdrachtnemer ligt de verantwoordelijkheid voor de inhoud van het voorliggende rapport uiteraard bij TNO-STB.

Dr.ir. H. Schaffers
TNO-STB

DEEL I

SELECTIE TECHNOLOGIEGEBIEDEN

1. Inleiding, probleemstelling en aanpak

Het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen (OC&W) heeft behoefte aan gestructureerde informatie over de Nederlandse technologische kennisinfrastructuur op wetenschaps- en technologiegebieden die van belang zijn voor de toekomstige maatschappelijke, in het bijzondere economische, ontwikkeling. Doelstelling hierbij is:

1. Een breder publiek inzicht te verschaffen in de omvang, betekenis, sterkten en zwakten van de technologische kennisinfrastructuur en in de afstemming daarvan op maatschappelijke behoeften.
2. Inzicht te ontwikkelen in mogelijkheden voor de verdere versterking van de afstemming van de technologische kennisinfrastructuur op behoeften van de samenleving, onder meer in het licht van het te voeren beleid met betrekking tot deze 'wisselwerking'.

Het ministerie van OC&W heeft daartoe TNO Studiecentrum voor Technologie en Beleid (TNO-STB) verzocht de technologische kennisinfrastructuur voor een aantal van de voor Nederland belangrijkste technologiegebieden in kaart te brengen. Dit inclusief de relatiepatronen en netwerken, en - voorzover informatie daarover beschikbaar was - de sterke en zwakke punten van deze onderzoekinfrastructuur. Het voorliggende rapport is gebaseerd op relevante documentatie zoals beschikbare verkenningenstudies, onderzoeksevaluaties en jaarverslagen, en op een beperkt aantal interviews. Het onderzoek is als volgt uitgevoerd.

STAP 1

Allereerst hebben wij een lijst van zestien relatief breed afgebakende en voor Nederland economisch en maatschappelijk gezien zeer belangrijke technologiegebieden opgesteld. In het kader van dit onderzoek wordt geen definitieve selectie van de belangrijkste gebieden gegeven. Daarvoor zou een veel diepergaand onderzoek nodig zijn, waarbij het niet alleen om de huidige betekenis maar meer nog om het toekomstige belang van technologiegebieden gaat. Wel dragen wij gegevens aan die onze selectie aannemelijk maakt. Hierbij maken wij gebruik van resultaten van recent door ons verricht onderzoek voor de Overleg Commissie Verkenningen.¹ Op verzoek van het ministerie van OC&W zijn aan de daar gekozen selectie van veertien gebieden een tweetal gebieden toegevoegd, te weten Arbeid en Gezondheid en Voedingstechnologie, zodat we op zestien gebieden uitkomen.

¹ OCV, 'De Nederlandse kennisportfolio op het gebied van de technische natuurwetenschappen en de belangrijkste technologiegebieden'. Uitgevoerd door TNO-STB (juni 1995).

STAP 2

Het in kaart brengen van de technologische kennisinfrastructuur voor elk der zestien technologiegebieden. Dit omvat allereerst een afbakening van het technologiegebied in wetenschapsdisciplines, kerntechnologieën en toepassingen; het aangeven van relaties met andere technologiegebieden, en het aangeven van het economisch en maatschappelijk belang van het technologiegebied. Vervolgens het omschrijven van de belangrijkste Nederlandse actoren en speerpunten op het technologiegebied, inclusief het 'netwerk' van relaties tussen partijen binnen de kennisinfrastructuur, met de industrie- en dienstensectoren, en internationaal.

STAP 3

Evaluatie van de onderzoekinfrastructuur op wetenschappelijk-technologische sterkte en robuustheid, uitsluitend op basis van reeds beschikbare gegevens zoals onderzoeksrapporten en overige publikaties.

LEESWIJZER

In dit deel I geven we, na dit inleidende eerste hoofdstuk, in Hoofdstuk 2 allereerst aan op welke wijze de technologiegebieden geselecteerd zijn. Vanuit een overzicht van wereldwijd belangrijke technologieën wordt daar aangegeven welke technologieën van specifiek strategisch belang zijn voor Nederland. Vervolgens wordt een kort overzicht van de Nederlandse technologische kennisinfrastructuur gepresenteerd in Hoofdstuk 3. Dit hoofdstuk vormt de samenvatting van het in Deel II gepresenteerde meer uitgebreide overzicht per technologiegebied.

2. Selectie van technologiegebieden

2.1 Wereldwijd belangrijke technologiegebieden

Op basis van een aantal internationaal verrichte onderzoeken naar *critical technologies* en te verwachten toepassingen hebben wij allereerst een lijst samengesteld van technologieën die momenteel wereldwijd, dus vanuit een internationaal perspectief, belangrijk worden gevonden (Tabel 1). Deze lijst wordt weergegeven op twee niveaus van detail. Bijlage 1 geeft in aanvulling daarop nog een uitgebreidere weergave in drie niveaus. Vooraf dienen enkele opmerkingen hierbij te worden gemaakt.

Allereerst moet er onderscheid worden gemaakt tussen de *toepassingsgebieden* waarin technologieën worden benut, en de *technologieën* zelf. Toepassingsgebieden zijn de economische clusters zoals energie, maakindustrie, procesindustrie, elektronica-industrie, landbouw en voeding, discrete productie; en daarnaast maatschappelijke themagebieden zoals milieu en duurzame ontwikkeling. Benamingen als 'telematica', 'multimedia', 'man-machine interfaces', 'energiezuinig ontwerpen' en dergelijke verwijzen zowel naar de toepassingen als naar de technologieën waardoor deze toepassingen pas mogelijk worden. In de meer gedetailleerde beschrijvingen van technologiegebieden in Hoofdstuk 3 en Deel II wordt echter een duidelijk onderscheid gemaakt tussen toepassingen, technologieën en wetenschapsdisciplines.

Een tweede opmerking heeft betrekking op de samenhangen tussen de technologiegebieden. De op basis van internationale studies opgestelde lijst van Tabel 1 omvat een aantal 'fundamentele' technologiegebieden die dicht bij de funderende technisch-natuurwetenschappelijke disciplines staan, zoals geavanceerde materialen, elektronica en katalyse. Maar de tabel bevat ook technologiegebieden die sterk integrerend en interdisciplinair van karakter zijn, zoals procestechnologie, biotechnologie, informatie- en communicatietechnologie. Tenslotte bevat de lijst technologieën op een hoog aggregatieniveau die beschouwd moeten worden als brede verzameling van technologieën en probleemoplossingen die directer gericht zijn op de toepassing in economische clusters en maatschappelijke themagebieden dan de andere technologietypen, zoals milieutechnologie, transporttechnologie, lucht- en ruimtevaarttechnologie en energietechnologie. We willen daarnaast ook aandacht vragen voor de meer 'voorwaardescheppende' technologieën (enabling technologies). Computational modelling & simulation is zo'n technologie. Opvallend is overigens dat de als 'enabling' te beschouwen technologiegebieden zoals bijvoorbeeld computational modelling, en ook computer aided engineering in internationale studies relatief weinig worden genoemd hoewel recent in bijvoorbeeld de Verenigde Staten een gebied als *high performance computing* veel aandacht heeft gekregen. In onze in 2.2 gepresenteerde selectie van voor Nederland belangrijke technologieën nemen dergelijke voorwaardescheppende technologieën wel degelijk een belangrijke plaats in.

Tabel 1. Technologiegebieden die vaak genoemd worden in internationale verkenningen.

HOOFDGROUP	MEEST RELEVANTE SUBGROEPEN
GEAVANCEERDE MATERIALEN EN MATERIAALBEWERKING	Elektronische en optische materialen; Geavanceerde structurele en functionele materialen; Biomaterialen; Materiaalverwerkingstechnologieën
PROCESTECHNOLOGIEËN	Synthese en -scheidingstechnologie; Procesontwikkeling en -beheersing
BIOTECHNOLOGIE	Eiwitontwikkeling; Bioprocessontwikkeling; Geneesmiddelenontwikkeling; Genetic engineering
GEAVANCEERDE ELEKTRONICA	Opto-elektronica en fotonica; Micro-elektronica; Bio-elektronica; Geavanceerde data- en signaalprocessing; Sensoren en andere perifere componenten, Microsystemen
INFORMATIE EN COMMUNICATIE	Software-ontwikkeling; Informatieverwerking, Interfaces; Componenten en randapparaten; Computers en communicatiesystemen (hardware); Man-machine interfaces
MILIEUTECHNOLOGIE	Bioprocessontwikkeling, Procestechnologie; Afvalzuivering, Scheidingstechnologie etc
MEDISCHE TECHNOLOGIE	Medische beeldvorming, Kunstmatige organen, Geneesmiddelenontwikkeling etc
TRANSPORTTECHNOLOGIE	Intelligente transportsystemen; Hogesnelheidssystemen; Logistiek management
ENGINEERING EN PRODUKTIE TECHNOLOGIE	Ontwerptechnologie; Fabricagetechnologie; Computer Integrated Manufacturing; Precisiemachines/-engineering
ENERGIETECHNOLOGIE	Energie-exploratie, -winning, -opslag, Conversie; Duurzame energiebronnen; Energiemanagement; Energiezuinig ontwerpen; Energieapparaten en -systemen (high-power motoren etc)
LUCHT- EN RUIMTEVAART-TECHNOLOGIE	Aardobservatie; Vliegtuigproductietechnologie; Avionica; Simulatoren; Air traffic control (etc)

Bron: Door TNO-STB samengesteld op basis van diverse internationale studies: o.a. US Council on Competitiveness, 'Gaining New ground: Technology Priorities for America's Future' (1991); US Department of Defense, 'Critical Technologies' (1990), VDI Technologiezentrum, 'Analyse und Bewertung Zukünftiger Technologien' (1993), Grupp, H., 'Technologie am Beginn des 21. Jahrhunderts', Physica Verlag (1993), Office of Science and Technology Policy, 'National Critical Technologies Report' (1995). Zie Bijlage I voor een meer gedetailleerd overzicht.

Hoewel onderscheidingen zoals 'fundamenteel', 'voorwaardescheppend', 'integrerend', 'toepassingsgericht' flexibel moeten worden geïnterpreteerd en niet zonder problemen zijn, zijn ze toch van belang daar ze verschillende karakteristieken van de technologie-terreinen en daaraan gerelateerde innovatieve processen aanduiden zodat het industriële en maatschappelijke belang van deze typen technologiegebieden op basis van steeds verschillende criteria moet worden beoordeeld.

De gehanteerde onderscheidingen zijn echter lang niet altijd scherp te trekken. Katalyse bijvoorbeeld is een gebied waarop fundamentele kennisontwikkeling plaatsvindt (bijvoorbeeld rond het 'ruimtelijk' verloop van gekatalyseerde chemische reacties) maar dat ook nauw verbonden is met de toepassing van technologieën zoals proces- en scheidingstechnologie. In feite bevatten alle technologieën elementen door de gehele 'technologiekolom' - van fundamenteel naar toepassingsgeoriënteerd - heen. De technologieën vormen brede gebieden waarbinnen allerlei subtechnologieën en wetenschapsdisciplines in ontwikkeling zijn. Hierdoor zijn de grenzen tussen technologiegebieden steeds in beweging.

Voorts betreft deze typologie zeker niet een verzameling van elkaar uitsluitende types. Dat is te zien aan een technologiegebied als informatie- en communicatietechnologie. Dit gebied valt enerzijds als toepassingsgericht te beschouwen (communicatiesystemen, telecommunicatiediensten). Anderzijds vormt het - zoals te zien aan belangrijke subtechnologieën zoals telematica, signaaltransmissie en beeldverwerking - het resultaat van kruisbestuiving van technologieën zoals micro-elektronica en signaalbewerking, opto-elektronica en materiaaltechnologieën en heeft het dus een integrerend karakter.

Uit deze beschouwing blijkt dat de verschillende (sub-)technologieën op uiterst complexe wijze met elkaar verbonden zijn. Het gekozen *aggregatieniveau* is cruciaal voor de aard van de conclusies die men wil bereiken. Op een hoog aggregatieniveau (Tabel 1 linkerzijde) zijn de relaties tussen de afzonderlijke (sub-)technologieën niet meer echt zichtbaar. Het is noodzakelijk om op een relatief specifiek niveau af te dalen om deze relaties tussen de technologieën zichtbaar te maken. Het onderkennen van dergelijke relaties (zoals 'gerelateerd zijn aan', 'mogelijkheden bieden voor', 'noodzakelijk zijn voor') is van belang omdat het inzicht biedt in de strategische elementen van een technologiegebied en in de samenhang van beleidskeuzes.

Zo vereist een gebied als *oppervlaktetechnologie* als inputs de combinatie van - onder andere - moleculaire elektronica, vastestoffysica, vastestofchemie, en dit gebied is op haar beurt in combinatie met materiaalontwerptechnologieën zoals *computational modelling* weer cruciaal voor de ontwikkeling van keramische materialen. Een *enabling technology* zoals computational modelling is op haar beurt niet alleen te benutten voor ontwikkeling van keramische materialen maar ook voor ontwikkeling van polymeren, geneesmiddelen, katalytische materialen en voor de beschrijving van energie- en klimaatprocessen.

Ook in de exacte wetenschappen zelf zijn interacties tussen subdisciplines van toenemend belang. De fysica bijvoorbeeld vormt een voorbeeld van de snelle ontwikkelingen die zich ook in de fundamentele wetenschappen afspelen. Zo is het relatief nieuwe vakgebied mesoscopische fysica dat zich richt op de brug tussen het micro-atomaire niveau en het macro-niveau van eigenschappen van materialen ontstaan vanuit ontwikkelingen in onder meer de vastestoffysica, halfgeleiderfysica, atoomfysica en chemie. Dit alles illustreert het belang van het niet te geïsoleerd beschouwen van disciplines en technologieën, maar van het in samenhang zien van de zich ontwikkelende relaties daartussen. De aard van een technologie - enabling, fundamenteel, integrerend, toepassingsgericht - valt eigenlijk alleen op een meer specifiek niveau zinnig te benoemen. Vanuit de op dit detailniveau verkregen inzichten kan echter op een meer geaggregeerd technologieniveau worden nagegaan wat de sterktes en de kwetsbaarheid van de kennisinfrastructuur op het betreffende gebied zijn, hetgeen aanleiding kan zijn voor beleid op het gebied van versterking van de kennisinfrastructuur.² Figuur 1 biedt een als illustratie bedoelde visualisatie van de samenhang tussen de diverse niveaus van technologiegebieden, zonder de pretentie om alle inhoudelijke relaties volledig af te beelden. Alle strategische technologieën vormen uiteindelijk aggregaten van subtechnologieën en disciplines. Steeds meer is kennisintegratie, het combineren van deeldisciplines en -technologieën, vereist om een nieuw technologiegebied te ontwikkelen. Maar ook is kennisintegratie van essentieel belang om de brug te slaan tussen disciplines, technologieontwikkeling en toepassingen of probleemvelden.

Hoewel de lijst van tabel 1 in principe ook jonge veelbelovende technologiegebieden met toepassingen op de langere termijn afdekt (de *emerging technologies*), staan deze in het vervolg van dit rapport niet centraal. Het gaat in dit onderzoek in de eerste plaats om de kennisinfrastructuur in 'gevestigde' technologiegebieden. Overigens komen deze emerging technologies juist uit deze mainstream technologiegebieden - veelal vanuit de interactie tussen verschillende subtechnologieën - en uiteraard uit de ontwikkelingen in daaraan ten grondslag liggende wetenschappelijke disciplines voort.³ Appendix 2 geeft concrete voorbeelden van dergelijke opkomende technologieën zoals nanomaterialen, microfabricagetechnologie, neuro-informatica, bio-elektronica en biomimetische materialen.

² G. Hamel en C.K. Prahalad hebben in hun 'Competing for the Future' (1994) een analyse gemaakt van de rol van een portfoliostructuur van 'kerncompetenties'. De structuur van het 'web' van kerncompetenties bepaalt het vermogen om generieke producten te kunnen ontwikkelen en daarmee een marktpositie te bewerkstelligen.

³ Dit onderzoek richt zich op beschrijving van de onderzoekinfrastructuur op een scala van afzonderlijke technologiegebieden, niet op de portfoliostructuur van technologieën en daaraan ten grondslag liggende wetenschapsdisciplines. In het kader van een portfolio-analyse spelen naast de 'mainstream' technologieën de emerging technologies uiteraard een belangrijke rol. Een dergelijke analyse werd ondernomen in een onderzoek dat TNO-STB heeft uitgevoerd voor de Overleg Commissie Verkenningen (1995).

Tabel 2. *Criteria voor selectie van technologiegebieden*

<p>1. TOEPASSINGSPOTENTIEEL IN ECONOMIE EN SAMENLEVING</p> <p>1.1 TOEPASSINGSPOTENTIEEL IN ECONOMISCHE CLUSTERS + toepassingen op langere termijn (5-10 jaar), korte termijn (0-5 jaar) + verwachte marktomvang en -groei van toepassingen + economische betekenis in processen en produkten. + betekenis voor concurrentiepositie.</p> <p>1.2 BETEKENIS TECHNOLOGIE VOOR MAATSCHAPPELIJKE THEMA'S + bijdrage tot probleemoplossingen</p> <p>2. TOEGANKELIJKHEID VAN TECHNOLOGISCHE KENNIS</p> <p>2.1 MARKT VOOR KENNIS + aantal aanbieders van kennis + werking van de markt voor kennis; kennisinfrastructuur</p> <p>2.2 ONTWIKKELINGSDYNAMIEK VAN DE TECHNOLOGIE + ontwikkelingsfase + mate van vernieuwing/turbulentie + benodigde investeringen/'kritische massa'</p>
--

Bron: TNO-STB (1995)

Tabel 3. *Voor Nederland belangrijke technologiegebieden*

<ol style="list-style-type: none">1. MATERIAALTECHNOLOGIE2. PROCESTECHNOLOGIE3. KATALYSE4. ELEKTRONICA5. INFORMATIE- EN COMMUNICATIETECHNOLOGIE6. COMPUTATIONAL MODELLING & SIMULATION7. BIOTECHNOLOGIE8. VOEDINGSMIDDELENTECHNOLOGIE9. MILIEUTECHNOLOGIE10. MEDISCHE TECHNOLOGIE11. ARBEID EN GEZONDHEID12. TRANSPORTTECHNOLOGIE EN LOGISTIEK13. PRODUCTIETECHNOLOGIE14. ENERGIETECHNOLOGIE15. LUCHTVAART- EN RUIMTEVAARTTECHNOLOGIE16. CIVIELE TECHNOLOGIE

Opmerking: Tabel 4 bevat een afbakening van deze technologieën op detailniveau.

2.2 Voor Nederland belangrijke technologiegebieden

Op basis van door TNO-STB in het verleden uitgevoerde studies en interviews met besluitvormers uit bedrijfsleven en de kennisinfrastructuur is gekeken naar de specifiek Nederlandse situatie en is op grond daarvan de initiële selectie van technologiegebieden van Tabel 1 aangepast. Het gaat hierbij om twee cruciale dimensies van het begrip 'strategische technologie' (zie Tabel 2):

1. Het belang (en de toepassingsmogelijkheden) van de technologie.
2. De toegankelijkheid van het technologische kennisaanbod.

Het *belang van een technologie* gaat verder dan de korte termijn toepasbaarheid. De toepasbaarheid betreft de langere termijn kansrijkheid naast de korte termijn toepasbaarheid. Daarom moet ook gekeken worden naar markt- en bedrijfstakdynamische factoren die de toekomstige concurrentiekracht bepalen. De mate van turbulentie in een wetenschaps- en technologiegebied bepaalt daarbij mede de kans op nieuwe technologische trajecten en toepassingen. Onderkenning van dit 'optiekarakter' richt de aandacht op factoren zoals onvoorspelbaarheid, dynamiek, flexibiliteit, breedte die de attractiviteit van investeringen in technologieontwikkeling meebepalen.

Ten aanzien van de tweede dimensie, de *toegang tot kennis*, speelt mee welke investeringen nodig zijn om een kennispositie op te bouwen. Hoe hoger de vereiste investeringen, hoe hoger de drempels en hoe strategischer het technologiegebied. De werking van de kennismarkt, en de inherente dynamiek van het technologiegebied zijn daarbij wezenlijke factoren. Vanuit deze dimensie stelt zich dan ook het probleem van de alternatieve wegen voor het verzekeren van de toegang tot belangrijke technologie: door zelf te investeren, door kennis in te kopen, of door strategische allianties aan te gaan. Technologieën waarvan én het (unieke) belang groot is, én waarbij de toegang niet zonder kosten is (bijvoorbeeld omdat aanzienlijke investeringen benodigd zijn voor het creëren van een positie) zijn strategisch te noemen.

Bij de selectie van de technologiegebieden is de doelstelling van het ministerie van OC&W van belang. De nadruk in dit onderzoek ligt niet direct op relatief jonge, veelal specialistische technologiegebieden met toepassingspotentie op de lange termijn (*emerging technologies*) maar in de eerste plaats op de brede gevestigde technologiegebieden. De technologieën op de resulterende lijst van zestien (Tabel 3; een meer gedetailleerde omschrijving staat in Tabel 4) vormen naar ons inzicht een goede selectie van als belangrijk te beoordelen technologieën. De checklist van Tabel 2 werd gehanteerd om dat te bepalen. In Hoofdstuk 3 wordt in samengevatte vorm de voorlopige basisargumenten weergegeven; Deel II biedt een uitwerking. Ten grondslag daaraan ligt inzicht in de economische betekenis van clusters waarin de technologieën een rol spelen (productie, toegevoegde waarde, groei), de aard van de rol van technologieën nu en in de toekomst in die clusters en de positie van de onderzoeksinfrastructuur.

Tabel 4. Voor Nederland strategische technologieën, deelgebieden en veelbelovende thema's.

TECHNOLOGIE- GEBIED	KERNGEBIEDEN EN TECHNOLOGIEËN	BELANGRIJKE THEMA'S EN TRENDS (SELECTIE, <i>curstief</i> : langere termijn toepassing)
1. MATERIALEN	<p><i>Elektronische en optische materialen</i>: Optische materialen, magnetische materialen, GaAs, Supergeleidende materialen, elektronische keramiek</p> <p><i>Structurele/functionele materialen</i>: Geavanceerde polymeren, polymeer-matrixcomposieten, structurele en functionele keramische materialen, metaalmatrixcomposieten</p> <p><i>Biomaterialen</i>: Bio-actieve/biocompatibele materialen, bio-elektronische materialen</p> <p><i>Materials engineering, -verwerking</i>: Materiaalontwerp (CAD, simulatie), hechtingstechnologie, oppervlaktetechnieken, omvormen, dunne laagtechnieken</p>	<p>Nanomaterialen, halfgeleidermaterialen</p> <p>Lichte, bestendige (etc) materialen, functionele polymeren, intelligente materialen</p> <p><i>Biomimetische materialen; implantaatmaterialen, kunstbot, -huid</i></p> <p><i>Mesoscopische systemen, computational material science, moleculaire oppervlakten</i></p>
2. PROCESTECH- NOLOGIE	<p><i>Synthese- en verwerkingstechnologie</i>: Katalyse (zie 3.), chemische synthese, scheidingstechnologie, bioprocessen, enzymen</p> <p><i>Procesontwikkeling</i>: Procesontwerp, (adaptieve, intelligente) procesregeling en -sturing, proceskunde, apparaatontwerp, unit operations</p>	<p>Bioprocessen</p> <p>Procesintegratie; precision process technology; sensoren; geïntegreerde procesbeheersing</p>
3. KATALYSE	<p>Homogene katalyse, heterogene katalyse, katalytische procestechnologie, enzymen</p>	<p><i>Biokatalysatoren</i></p>
4. ELEKTRONICA	<p><i>Micro-elektronica</i>: Signaalverwerking, halfgeleidermaterialen, -processen, ontwerpmethoden, verbindingstechnologie/packaging, vermogenselektronica (low-power)</p> <p><i>Opto-elektronica</i>: Laser diodes en arrays, optische switches, optische opslagsystemen, fiber optics, geïntegreerde optische circuits</p> <p><i>Sensoren en microsystemen</i>: Architecturen, (micro-)verbinden, micro-packaging, signaalverwerking</p>	<p>Testmethoden, VHDL-talen, <i>nano-elektronica, bio-elektronica (bio-chip)</i>, DSP, FPGA</p> <p>Optische communicatienetwerken</p> <p><i>Micromachining, micro-fabricage, intelligente sensoren, biosensoren</i></p>

TECHNOLOGIE- GEBIED	KERNGEBIEDEN EN TECHNOLOGIEËN	BELANGRIJKE THEMA'S EN TRENDS (SELECTIE); <i>curstef</i> ; <i>langere termijn toepassing</i>
5. INFORMATIE/ COMMUNICATIE CATEGORIE	<p><i>Geavanceerde software</i>: hoog-niveau software talen, modulaire software, software engineering</p> <p><i>Informatieverwerking</i>: computer modellering en simulatie, beeldverwerking, spraakherkenning, datafusie, AI, virtual reality, vertaalsystemen, man-machine interfaces</p> <p><i>Computers</i>: parallele computers, supercomputers, intelligente randapparaten, high-performance computing</p> <p><i>Communicatiesystemen</i>: draadloze communicatie (standaarden, architecturen), multimedia netwerktechnologie (ATM, switching), breedband ISDN, optische netwerken</p> <p><i>Componenten, randapparaten</i>: database systemen, display technologie, data-opslag</p>	<p>Intelligente software, software onderhoud, <i>automatische software generatie</i></p> <p>Virtual reality, <i>adaptive/intelligent MMI</i></p> <p><i>Neurale computers</i></p> <p>On-demand systemen, intelligente netwerken, multimedia diensten, networked multimedia</p> <p>Displays (LCD, <i>field-emitter displays</i>, chip-on-glass)</p> <p>Computational fluid dynamics, computational materials science, <i>mesoscopische verschijnselen, moleculair modelleren, genesmiddelenontwerp</i></p>
6. COMPUTATIONALE MODELLING	<p>Modelleren en simuleren, simulatoren, high-performance computing, visualisatie, CAD, software engineering, algoritmen (golfpropagatie, stroming, finite elements)</p>	<p>Computational fluid dynamics, computational materials science, <i>mesoscopische verschijnselen, moleculair modelleren, genesmiddelenontwerp</i></p>
7. BIOTECHNOLOGIE	<p>Bioprocessing, genetische modificatie, celfusie, scheidingstechnologieën, membranen, fermentatie</p>	<p>Genesmiddelenontwikkeling, eiwitontwikkeling, <i>genetic engineering</i>, voedingstechnologie</p>
8. VOEDINGSTECHNOLOGIE	<p>Gewasbescherming, proces-/bewaar-/distributietechnologie, informatietechnologie, ecosysteemontwikkeling (bos-/akkerbouw)</p>	<p>Duurzame agrosystemen; bioprocessen</p>
9. MILEUTECHNOLOGIE	<p><i>End-of-pipe technologie, procesbewaking</i>: waterzuivering, luchtzuivering, bodemzuivering, recycling, informatiesystemen (meettechnieken, sensoren, telematica)</p> <p><i>Preventieve technologie</i>: procesintegratie, systeemanalyse, modellering</p>	<p>Bioprocesstechnologie, scheidingstechnologie, sensor- en monitoringssystemen</p> <p>Schone technologie</p>
10. MEDISCHE TECHNOLOGIE	<p><i>Hulpmiddelen, materialen</i>: Biomaterialen (zie 1.), biomechanica, mens-hulpmiddel interactie</p> <p><i>Genesmiddelenontwikkeling</i>: (Bio-)farmacie, (cel-)biotechnologie</p> <p><i>Informatiesystemen, medische instrumentatie</i>: Medische beeld- en signaalverwerking (NMR, CT), sensoren, microsystemen, communicatietechnologie</p>	<p><i>Kunstmatige organen</i>, microsystemen, mechatronica</p> <p><i>Genetic engineering, molecular modelling</i></p> <p><i>Beeldarchivering</i>, alarmering, gedecentraliseerde zorginformatie- en -communicatiesystemen</p>

TECHNOLOGIE GEBIED	KERNGEBIEDEN EN TECHNOLOGIËN	BELANGRIJKE THEMA'S EN TRENDS (SELECTIE; cursief: langere termijn toepassing)
11. ARBEID EN GEZONDHEID	Diagnose-, detectie-, interventietechnologie; zorgsystemen; mens-middel systemen	Preventietechnieken
12. TRANSPORT- TECHNOLOGIE EN LOGISTIEK	<i>Infrastructuren</i> (zie ook 14.), distributienetwerken, overslagssystemen, robotsturing <i>Transportmiddelen</i> : aandrijvingen, hogesnelheidstechnologie, informatietechnologie, AI <i>Informatie- en coördinatiesystemen</i> : logistiek en distributie, informatietechnologie, AI	Ondergronds bouwen (zie 14.) <i>Intelligente voertuigen</i> , hogesnelheidssystemen, high-power motoren Dynamisch verkeersmanagement, GIS
13. PRODUKTIE- TECHNOLOGIE	<i>Ontwerp- en engineeringstechnologie</i> : CAD/CAM, DFMA, CAE, concurrent engineering <i>Fabricagetechnologie</i> : CIM, materiaalbewerking (zie 1. Materialen), Lean production, robotica, hoge precisie-hoge snelheidsmachines	Rapid prototyping, CAE-groepware <i>Micro- en nanofabricage (machines)</i>
14. ENERGIE- TECHNOLOGIE	<i>Exploratie/winning</i> : geotechnologie, offshore, processtechnologie, verbranding, vergassing <i>Productie, opslag, distributie</i> : verbranding, vergassing, brandstofcellen, electrical storage <i>Besparing, conversie</i> : proces- en besturingstechnologie, fotovoltaïsche energiebronnen, brandstofcellen, procesintegratie <i>Systemen</i> : Brandstofcellen, fotovoltaïsche energiegeneratie, aandrijvingen, elektrische motoren	Procesintegratie Compacte energiebronnen Efficiënte conversieprocessen Zuinige motoren, <i>high-power motoren, alternatieve brandstofmotoren</i>
15. LUCHT- /RUIMTEVAART	<i>Luchtvaart</i> : Vliegtuigproductietechnologie, informatietechnologie, geavanceerde (lichte, bestendige) materialen, high-performance computing, simulatie en testen, voortstuwing <i>Ruimtevaart</i> : Ruimte-observatietechnieken, geodesie, CAD/CAM, robottechnologie	Geïntegreerde avionica, probabilistisch reliability-based design, testen (materiaalveroudering) Global positioning systems
16. CIVIELE TECHNOLOGIE EN BOUW	Ontwerpen en construeren, materiaaltechnologie, modelleren (stromingen, materiaaleigenschappen), waterbehandeling, offshore	Ondergronds bouwen, speciale infrastructuren

Bron: Analyse TNO-STB. Zie TNO-STB (1995a, b). Zie noten 3, 15 voor enkele achterliggende studies/primaire bronnen. Veelbelovende thema's zijn in een aantal gevallen niet rechtstreeks gekoppeld aan één technologie daar zij in veel gevallen interdisciplinair zijn.

3. Overzicht van de technologische kennisinfrastructuur van Nederland (samenvatting)

3.1 Materiaaltechnologie

Materiaaltechnologie omvat een zeer breed en dynamisch terrein dat zowel de ontwikkeling van nieuwe of verbetering van bestaande materialen betreft, als de ontwikkeling van materiaalbewerkingstechnieken. Voorbeelden van belangrijke toepassingen van onderzoek op dit terrein zijn materialen voor halfgeleiders, materialen met bijzondere structurele eigenschappen voor bijvoorbeeld de bouw of civiele infrastructures, en biomaterialen ten behoeve van de humane geneeskunde. Hieruit blijkt wel dat het toepassingsbereik van materiaalonderzoek zeer breed is en economisch zowel als maatschappelijk belangrijke sectoren beslaat zoals metaal- en metaalproduktenindustrie, de bouw (constructiematerialen), de transportmiddelenindustrie (aluminiumlegeringen, composietmaterialen), de chemie (katalysatormaterialen) en de elektronica (halfgeleidermaterialen) maar ook de voeding (verpakkingsmaterialen), de energiesector (keramische materialen) en de gezondheidszorg (implantaten). Gewoonlijk wordt wel onderscheid gemaakt tussen functionele materialen en structurele of constructiematerialen. Functionele materialen - zoals polymere halfgeleidende of recording materialen - worden benut om hun fysische, elektronische, optische en magnetische eigenschappen. Structurele materialen past men toe in structuren en constructies. Daarbij gaat het om staal, aluminium, kunststoffen, keramiek maar ook om 'traditionele' materialen zoals hout en beton. De belangrijke ontwikkelingen in het materiaalonderzoek betreffen onder meer de verbetering van het ontwerp met computersimulatiemodellen, de ontwikkeling van geavanceerde functionele materialen zoals implantaatmaterialen, en de ontwikkeling van lichte, sterke en goedkope materialen. Veelbelovend is de 'mesoscopische materiaalkunde': het gebruik maken van kennis op moleculair niveau bij het ontwerpen van materiaaleigenschappen.

Op tal van plaatsen in de kennisinfrastructuur wordt aandacht besteed aan materiaalonderzoek. De breedte en dynamiek van het terrein en de grote economische en maatschappelijke betekenis ervan rechtvaardigen een forse inzet, óók van het publieke kennisbestel. De belangrijkste kenniscentra zijn georganiseerd in een zevental onderzoekscholen en richten zich op fundamentele en technische materiaalwetenschappen. We geven enkele voorbeelden. Het Materials Science Center (RU Groningen) richt zich op metalen, halfgeleiders, polymeren en biomaterialen. De Debye Onderzoeksschool, waarin de RU Utrecht en het FOM-instituut AMOLF samenwerken, richt zich daarentegen meer op oppervlaktetechnologie en katalytische materialen. Een eigen positie neemt de Onderzoeksschool Polymeren in waarin de drie Technische Universiteiten en de RU Groningen samenwerken. Binnen TNO wordt, veelal in samenwerking met universiteiten en bedrijfsleven, toegepast onderzoek verricht op het gebied van met name metalen en kunststoffen, materiaalbewerkingstechnieken, en

produktontwikkeling. Materiaalonderzoek wordt daarnaast verricht in vele instellingen die gericht zijn op terreinen waarvoor materiaaltechnologie een belangrijke ondersteunende rol speelt. Te noemen zijn onder meer de onderzoeksschool BMSE (Biomedical Science and Engineering) gericht op biomedische technologie, de onderzoekscholen op het gebied van de micro-elektronica zoals DIMES en MESA en ook bij het Energie-onderzoek Centrum Nederland en het NLR, waar materiaalonderzoek wordt verricht ten behoeve van energie respectievelijk lucht- en ruimtevaart.

De genoemde kenniscentra voor materiaaltechnologie hebben alle nauwe relaties met het bedrijfsleven. Belangrijk in dit opzicht zijn de Innovatieve Onderzoek programma's (IOP's) die al jaren op verschillende terreinen van materiaaltechnologie lopen en met de door de STW gefinancierde projecten hebben gezorgd voor sterke netwerken van kenniscentra en het bedrijfsleven. Voorts zijn er platforms zoals de Stichting Polymeer Technologie Nederland, het Industrieel Platform Metalen en de Bond voor Materialenkennis die een onmisbare functie vervullen in het onder de aandacht brengen van kennislacunes, de afstemming en samenwerking van onderzoeksgroepen in relatie tot het bedrijfsleven en de kennistransfer.

3.2 Procestechologie

Procestechologie is een kerntechnologie in economisch belangrijke sectoren zoals de chemie, de aardolie en de voedingsector. Daarnaast is het een belangrijke technologie op het gebied van milieu en energie (denk aan recycling, procesintegratie, kolenvergassing en conversieprocessen). De basis van dit technologiegebied wordt gevormd door disciplines zoals fysische transportverschijnselen, katalyse, scheidingstechnologie, proces- en apparaatontwerp, en procesbeheersing. Belangrijke trends in het onderzoek op het gebied van de procestechologie liggen in het ontwikkelen van selectieve, hoogrenderende, milieuvriendelijke en energiezuinige processen, in het bereiken van een optimaal procesontwerp en in optimalisatie van de procesvoering, op apparaat-, fabrieks- en zelfs op regionaal niveau. Bij *procesintegratie* staat het integreren van energieaspecten, milieuaspecten en economische aspecten van productieprocessen in toenemende mate in de belangstelling; hetgeen kansen biedt zowel aan de procesindustrie als aan de energiesector. Van belang is ook de trend naar *precision process technology*: van standaard apparaten en processen naar maatoplossingen. Deze trends sluiten nauw aan bij de industriële en maatschappelijke behoeften.

Bijzondere zwaartepunten in Nederland zijn aanwezig op de terreinen procesintegratie (TU Delft, Universiteit Twente), scheidingstechnologie (TU Eindhoven, TU Delft), en chemische reactorkunde (Universiteit Twente); genoemd kan ook worden een verwant terrein als bioprocestechologie (TU Delft). Het universitaire onderzoek op het gebied van de procestechologie is gebundeld in de Onderzoeksschool Procestechologie (OSPT), waarin de drie Technische Universiteiten en enkele universiteiten (RUG, UvA, LUW) samenwerken. Belangrijke aandachtsgebieden zijn fysische technologie,

scheidingstechnologie, apparaatkunde, reactorkunde, procesontwikkeling en -integratie. Bezien naar de toepassingsgebieden waar de onderzoeksschool zich op richt gaat het om het gebruik en de verwerking van olie, nafta en gas; hoge temperatuurprocessen; bioprocestechnologie; polymeren en procesontwerpen. Hiermee sluit de onderzoeksschool nauw aan bij de behoeften van de industrie. Van belang zijn ook de onderzoeksschool NIOK (katalyse), het J.M. Burgerscentrum (Stromingsleer), en de onderzoeksschool PTN (Polymeren). Naast aan universiteiten vindt procestechnologisch onderzoek plaats binnen TNO op terreinen zoals milieu, energie en voeding. Thema's zoals scheidingsmethoden (kristallisatie, membranen), *food technology* en procesintegratie zijn hier prominent. Bij ECN vindt procestechnologisch onderzoek plaats op het terrein van hoge temperatuur gasscheiding, conversie en keramische membranen.

Er is in Nederland altijd sprake geweest van een nauwe band tussen industriële R&D op het gebied van procestechnologie in de chemie en de biotechnologie, en het universitaire onderzoek. Veel (deeltijd-)hoogleraren bij universitaire vakgroepen werkten voorheen bij grote Nederlandse ondernemingen in de procesindustrie, of omgekeerd. Mede is hier van belang dat het onderzoek op terreinen als innovatieve reactoren, fysische technologie en grensvlakverschijnselen van hoog niveau én toepassingsgericht is. De kanalisering van het onderzoek binnen de onderzoeksschool Procestechnologie, in nauw overleg met de Industriële Adviesraad OSPT, bouwt voort op het reeds bestaande relatiernetwerk. Op deelreinen zijn specifieke relatiernetwerken ontwikkeld, zoals op het gebied van industriële kristallisatie door bedrijven, de STW, TNO en de TU Delft.

3.3 Katalyse

Katalysatoren doen chemische processen sneller, nauwkeuriger en selectiever verlopen. Ze zijn dan ook voor de chemische industrie - vooral in de olieraffinage en basischemie - van uitermate groot belang. De toepassingen in de fijnchemie en de farmaceutische industrie zijn veelbelovend, vanwege het grote belang van selectieve, hoogrenderende en milieuvriendelijke 'precisie' processen. Ook voor een aantal processen in de voedingsindustrie zijn katalysatoren onmisbaar, bijvoorbeeld bij de bereiding van vetten en oliën. Steeds meer veld wint de toepassing van katalyse voor milieudoeleinden. Behalve in de procesindustrie zelf gaat het bijvoorbeeld om het reinigen van gas- en waterstromen, omzetting van gechlloreerde en gefluorideerde koolwaterstoffen, reinigen van uitlaatgassen van auto's en om katalytische verbranding in brandstofcellen. Katalyse is een sterk interdisciplinair gebied waarin gewerkt wordt aan de ontwikkeling van drie groepen technieken: heterogene katalyse, homogene katalyse en biokatalyse. Het is nauw verweven met de chemische procestechnologie, maar ook met de polymeertechnologie, de materiaalkunde en de vastestofchemie. De opkomst van computational modelling technieken biedt geheel nieuwe mogelijkheden aan dit veld. Wetenschappelijk gezien is katalyse-onderzoek dan ook zeer uitdagend: de complexiteit van de verschijnselen enerzijds en de mogelijkheden om zeer precies,

vanaf moleculair niveau, katalysatoren te ontwerpen en chemische processen te sturen appelleren sterk aan onderzoekers. Ook in het katalyse-onderzoek ziet men de toenemende betekenis van biologische en biochemische kennis sterk naar voren komen, getuige het terrein van de biokatalyse met toepassingen in de wasmiddelenproductie, de zetmeelverwerking en bij melkprodukten.

In Nederland wordt fundamenteel-strategisch onderzoek naast in het bedrijfsleven - met name Shell en AKZO, maar ook tal van kleinere bedrijven - vooral aan de universitaire faculteiten chemie of chemische technologie uitgevoerd. Het universitaire onderzoek is breed en diep, is sterk geconcentreerd en heeft internationaal een zeer goede naam. Centraal in het universitaire onderzoek staat de onderzoeksschool NIOK (Nederlands Instituut voor Onderzoek in de Katalyse), die alle universitaire onderzoek bundelt. Vooral de TU Eindhoven, de TU Delft, de Universiteit Utrecht en de Universiteit van Amsterdam vormen de zwaartepunten in deze onderzoeksschool. Ook bij TNO, ECN, FOM en KEMA wordt katalyse-onderzoek verricht, met name gericht op terreinen zoals verbranding en vergassing.

Van oudsher zijn er goede relaties tussen de universitaire onderzoekers en die in het bedrijfsleven. De fundamentele kennis die in universiteiten wordt ontwikkeld, maar niet in de laatste plaats ook de opleidingstaak van de universiteiten, heeft de sterke interesse van het bedrijfsleven. Vanuit de Werkgemeenschap Katalyse van de NWO-Stichting SON, in het kader van projecten van de NWO-Stichting Technische Wetenschappen en via het lopende IOP Katalyse dat in sterke mate op de fijnchemie, reactortechnologie en biokatalyse is gericht zijn belangrijke en sterke netwerken ontstaan. Gezamenlijke publikaties komen regelmatig voor. De vorming van NIOK heeft deze netwerkvorming nog versterkt. Binnen NIOK is een Industriële Adviesraad gevormd die grote invloed heeft op het onderzoekprogramma van NIOK. In de loop der jaren is op deze wijze een hecht netwerk ontstaan tussen het publieke en private katalyseonderzoek.

3.4 Elektronica

Het uitermate snel in ontwikkeling verkerende technologiegebied geavanceerde elektronica is van uitermate groot belang voor alle sectoren waarin chipsystemen worden toegepast of toepasbaar zijn en waarin miniaturisatie noodzakelijk is. Met name is dit belang zichtbaar in de telecommunicatie, de consumentenelektronica en de computerindustrie die juist op grond van de ontwikkelingen in de micro-elektronica ineengroeien tot een multimedia-industrie met een zeer hoog marktpotentieel. Zo biedt de opto-elektronica de basis van de moderne communicatienetwerken, en is alleen via de moderne micro-elektronica en 'miniaturisatietechnologie' tegemoet te komen aan eisen zoals draagbaarheid, compactheid en energievermindering (*low power*). Het technologiegebied omvat terreinen zoals de micro-elektronica (het via speciale proces-, materiaal- en ontwerptechnologieën realiseren van geïntegreerde circuits waarin

signaalbewerkingsalgorithmes zijn geïmplementeerd), opto-elektronica (optische circuits, fiber optics, optische opslagsystemen), microsysteemtechnieken (sensoren, actuatoren, realisatie van microsystemen via microfabricagetechnieken en micromachining) en de bio-elektronica (biosensoren, moleculaire geheugens). Op al deze terreinen vindt snelle voortgang plaats, internationaal maar ook in Nederland.

De kennisbasis is - uiteraard naast Philips - geconcentreerd rond de drie Technische Universiteiten en ook bij TNO en het FOM-instituut AMOLF. Een belangrijke rol spelen drie onderzoeksscholen met een daaraan gekoppelde taakafbakening. DIMES van de TU Delft richt zich op VLSI-ontwerptechnologie, signaalbewerking, sensoren, micro-elektronica proces- en materiaaltechnologieën. De TU Delft staat internationaal op topniveau in onderwerpen zoals elektronische instrumentatie, systemen en circuits voor signaalbewerking. COBRA, waarvan de TU Eindhoven penvoerder is en waarin ook de TU Delft en de Universiteit Twente deelnemen, richt zich op opto-elektronica en communicatienetwerken. Tenslotte is MESA van de Universiteit Twente van internationaal topniveau op gebieden als biosensoren en micro-engineering. De drie technische Universiteiten herbergen voorts belangrijke specialismen zoals elektromagnetisme (TU Delft), telecommunicatie (TU Eindhoven, TU Delft), en vermogens-elektronica (TU Delft). TNO huisvest belangrijke toegepaste onderzoeksactiviteiten op terreinen zoals radarsignaalbewerking en opto-elektronica. Het FOM-instituut AMOLF voert onderzoek uit op het gebied van opto-elektronica.

In aanzienlijke mate is er sprake van samenwerking tussen universiteiten en het bedrijfsleven. Het gaat hierbij vooral om de grote bedrijven in sectoren zoals telecommunicatie en consumentenelektronica. Op basis van langjarige technologiestimulering door middel van Innovatieve Onderzoek Programma's rond micro-elektronica en, recenter, opto-elektronica zijn sterke netwerken ontstaan. Zo participeren in het IOP Electro-Optics naast de drie Technische Universiteiten, de KU Nijmegen, KPN Research, TNO en AMOLF. Voorts zijn belangrijke netwerken ontstaan uit deelname in EG-programma's en projecten van de NWO-Stichting voor de Technische Wetenschappen. Een onderzoeksschool zoals DIMES heeft rond haar specialisatiekeren talrijke universitaire en industriële relaties ontwikkeld.

3.5 Informatie- en communicatietechnologie

Gegeven de groeiverwachtingen en de huidige omvang vormt de informatie- en communicatiesector wereldwijd de belangrijkste economische cluster. Tal van nieuwe snel in belang toenemende toepassingen zijn de afgelopen jaren ontstaan. Voorbeelden zijn breedbandige digitale communicatienetwerken, draadloze communicatie, videoconferencing, krachtige werkstations, networked computing en intelligente randapparaten. Toepassingen van informatie- en communicatietechnologie zijn in vrijwel alle economische en non-profit sectoren zoals de logistiek, de handel, financiële dienstverlening niet meer weg te denken. Informatie- en communicatietech-

nologie omvat het gehele scala van technologieën die nodig zijn voor informatietransport, -opslag, -onttrekking, -verwerking en -toepassing (meten, weergeven, sturen) en die de basis vormen voor netwerk- en communicatieapparatuur en voor informatie- en communicatiediensten. De belangrijkste terreinen waarop onderzoek wordt verricht zijn computer- en communicatieinfrastructuren, software technologie, informatieverwerking (inclusief multimediatechnologie) en componenten zoals displays, scanners en dataopslagsystemen. De basis voor de snelle ontwikkelingen op het terrein van informatie- en communicatietechnologie ligt in de in de zich evenzeer snel ontwikkelende digitale elektronica, de processortechnologie en de opto-elektronica. Bij nieuwe velden zoals multimedia wordt steeds meer een beroep gedaan op een zeer breed palet van kennisgebieden zoals netwerktechnologie, codering en compressie, information retrieval, database management, human factors, telecommunicatieprotocollen en software technologie.

Speerpunten van het publieke onderzoek bevinden zich bij de universiteiten, het grotendeels via de NWO gefinancierde Centrum voor Wiskunde en Informatica en bij TNO. Universitair onderzoek is in een aantal onderzoeksscholen gebundeld. Op het terrein van de geavanceerde elektronica beschikken de drie TU's ieder over een onderzoeksschool: DIMES (TUD), COBRA (TUE) en MESA (UT). Op het terrein van de informatica, beoefend in de faculteiten voor toegepaste wiskunde en informatica, zijn verschillende onderzoeksscholen actief die, zoals de onderzoeksschool ASCI, ook gericht zijn op toepassingsgebieden, in dit geval imaging. Op het terrein van de telematica kan worden gewezen op de onderzoeksschool CTIT (Centrum voor Telematica en Informatietechnologie) van de Universiteit Twente, die zich richt op computerarchitecturen en tele-informatica. Per instituut gezien zijn belangrijke onderzoekskernen te vinden bij de TU Delft (draadloze communicatie, HDTV, telematicasystemen, real-time computing), de TU Eindhoven (mobiele communicatie, optische communicatie) en de Universiteit Twente (computerarchitecturen, telematica). Het Centrum voor Wiskunde en Informatica is actief op high performance computing, database systemen, simulatie, autonome navigatie en multimedia. Het Telematica Research Centrum, dat naast door de industrie gefinancierd wordt door de ministeries van EZ en OC&W, voert zowel toepassingsgerichte projecten als fundamenteel-strategisch onderzoek uit op het gebied van telematicasystemen en -diensten. Bij TNO vindt toepassingsgericht onderzoek plaats op terreinen zoals beeldverwerking, documentaire informatievoorziening, beveiliging, mobiele communicatie, human factors engineering.

Sinds geruime tijd is de centrale overheid betrokken bij stimulering van onderzoek op het gebied van informatie- en communicatietechnologie in relatie tot behoeften van het bedrijfsleven. Een belangrijk programma was het INSP, met het onderdeel SPIN voor onderzoek. Recentere voorbeelden zijn voor wat betreft OC&W de bijdrage aan totstandkoming van SURF-net en het TRC (samen met EZ). In het kader van de ICES-faciliteit worden diverse programma's gefinancierd met een informatietechnologie-component zoals Land-Water-Impuls (40 Mf), HPCN (35 Mf) en Transporttechnologie

(35 Mf). In het kader van ICES-programma's, STW-projecten, het IOP Opto-Elektronica en onderzoeksscholen zijn hechte banden tussen universiteiten, semipublieke kenniscentra en het bedrijfsleven ontstaan.

3.6 Computational modelling & simulation

Modelvorming en simulatie vormt een in potentie zeer belangrijke *enabling technology* met een zeer breed toepassingsbereik in tal van economische clusters. Voorbeelden van toepassingen zijn het ontwerpen en ontwikkelen van materialen en constructies in de vliegtuig- en automobiellindustrie, ontwikkeling van complexe producten zoals katalysatormaterialen, polymeerverbindingen en geneesmiddelen, analyse van vloeistof- en gasdynamica, klimaat- en weersvoorspelling, en processimulatie in de chemische industrie. Het gebied is sterk in ontwikkeling, onder meer door snelle vernieuwingen in de onderliggende technologieën en wetenschapdisciplines op het gebied van processoren en computers, real-time systemen, parallele processing, softwareontwikkeling en visualisatietechnieken. De ontwikkeling van het gebied hangt daarmee in sterke mate af van vorderingen in de informatietechnologie. Naast de kennis uit het domein van informatietechnologie en modelleren is evenwel 'materiekennis' noodzakelijk, op terreinen als ontwerpen, stromingsverschijnselen, materialen, moleculaire dynamica, vastestoffysica, vloeistof- en gasdynamica, mesoscopische fysica. Het integreren van specialistische kennis uit de genoemde domeinen is juist in dit technologiegebied een succesfactor. Strategisch onderzoek op dit veelbelovende gebied ligt met name in de bestudering van moleculaire processen in relatie tot materiaalkarakteristieken en de ontwikkeling van computerondersteunde ontwerphulpmiddelen. De koppeling tussen deze niveaus is van groot belang bij bijvoorbeeld de simulatie van mesoscopische systemen.

De publieke onderzoekinfrastructuur op dit terrein omvat de drie Technische Universiteiten, de KU Nijmegen (moleculair modelleren), het Centrum voor Wiskunde en Informatica, het FOM-instituut AMOLF, TNO (high-performance computing, simulatoren, stromingsverschijnselen, constructies) en GTI's zoals het NLR (materialen), het MARIN en het Waterloopkundig Laboratorium (stromingsverschijnselen) en ECN (materialen). De onderzoeksschool J.M. Burgerscentrum voor Stromingsleer vormt een sterke universitaire kern waarin naast de TU Delft, de Universiteit Twente, de RU Groningen en de TU Eindhoven deelnemen. Accenten zijn computational fluid dynamics, aërodynamica, hydrodynamica en reologie. Ook rond onderzoeksterreinen zoals computing en imaging, katalyse en materialen wordt het gebied bewerkt. De bundeling van kennis die nodig is voor het integreren van de verschillende benodigde kennisdomeinen in praktische toepassingen is nog voorbehouden aan de industriële laboratoria van multinationals en publieke kenniscentra. Zo is *computational materials science* van groot belang voor de kernbedrijven in de chemie, de metaal, de elektronica en de vliegtuigbouw. Het gebied van de vloeistofdynamica wordt vooral

bij de wetenschappelijke instituten, grote ingenieurbureaus en publieke kenniscentra bewerkt.

Het gebied leent zich bij uitstek voor ver doorgevoerde samenwerking tussen kenniscentra en het bedrijfsleven. Dit blijkt reeds uit de activiteiten van de semi-publieke kenniscentra (GTI's, TNO) en uit het bestaan van sterke relatienetwerken rond thema's zoals katalyse, polymeren en optische materialen. In het kader van de ICES faciliteit is een budget van 35 Mf ingezet op het onderwerp *high-performance computing* als belangrijke onderliggende technologie. Aan het terrein van *computational mechanics* worden door de NWO Stichting voor de Technische Wetenschappen projecten gefinancierd.

3.7 Biotechnologie

Biotechnologie is de laatste 15-20 jaar in alle industrielanden sterk gestimuleerd. De hoge verwachtingen die men van doorbraken op dit terrein had en heeft beginnen geleidelijk werkelijkheid te worden en het potentiële belang ervan in sectoren als geneesmiddelenontwikkeling, voeding, chemie, landbouw en milieu is uitermate groot. In veel opzichten is biotechnologie een nieuw terrein. Het ontwikkelen van producten en processen door middel van biologische, biochemische en genetische technieken stelt een groot aantal nieuwe wetenschappelijke en technologische, maar zeker ook maatschappelijke uitdagingen. Anderzijds zijn veel van de toepassingsterreinen 'traditioneel' te noemen: productie van voedings- en genotmiddelen (zoals bier en kaas) verloopt in essentie via biotechnologische processen. Nieuwe onderwerpen in het biotechnologie-onderzoek liggen onder meer in structuur en functie van biologische systemen, geïntegreerde bioprocestechnologie, *genetic engineering*, en resistentie van planten.

De kern van het publieke onderzoek in de biotechnologie, dat volgens recente evaluaties van hoog niveau is, wordt gevormd door de Associatie van Biotechnologische Onderzoekscholen in Nederland (ABON). De ABON verenigt vijf onderzoekscholen die onderling een taakafbakening hebben bereikt. Zo richt de onderzoeksschool Biotechnological Sciences Delft Leiden (BDSL) zich op industriële biotechnologie en bioprocetontwikkeling, en specialiseert de onderzoeksschool Voeding, Levensmiddelen-technologie, Agrobiotechnologie en Gezondheid (VLAG) zich op agro- en voedingstoepassingen. De ABON-onderzoekscholen werken samen met de andere kenniscentra die actief zijn op het gebied van de biotechnologie. Hierbij gaat het vooral om verschillende TNO-instituten op gebieden als voeding, gezondheid, milieu en energie naast DLO-instituten op het terrein van agrotechnologie, plantenveredeling en veeteelt. Naast de publieke kenniscentra verrichten vooral grotere bedrijven zoals Gist-Brocades, DSM, AKZO en Unilever, naast kleine bedrijven zoals Mogen en Key Gene zelf onderzoek.

De Nederlandse overheid stimuleert biotechnologisch onderzoek al sinds 1981, ondermeer via het Programma Bedrijfsgerichte Technologie Stimulering (PBTS) en via Innovatieve Onderzoek Programma's op het gebieden biotechnologie, eiwitten en katalyse. De relatie met het bedrijfsleven heeft daarbij steeds grote aandacht gehad. Geleidelijk aan is een zeer nauwe samenwerking ontstaan tussen het publieke onderzoek en het bedrijfsleven. De centrale as daarvan is de samenwerking tussen de ABON en de biotechnologie-organisatie van het bedrijfsleven, de NIABA. In het kader van deze samenwerking is het onderzoeksprogramma 1995-1999 van ABON opgesteld, dat door de onderzoekscholen wordt uitgevoerd. Het programma richt zich op vier thema's van industrieel belang: structuur-functie relaties, resistentie van planten, engineering van stofwisselingsprocessen en bioprocestechnologie. ABON en NIABA hebben samen de Stichting MIBITON (Stichting Publiek-Private samenwerking Versterking Materiële Infrastructuur in Biotechnologisch Onderzoek in Nederland) opgericht. Via deze stichting worden apparatuurinvesteringen bij de ABON gerealiseerd en wordt een duurzame onderzoeksamenwerking opgebouwd tussen het bedrijfsleven en de publieke kennisinfrastructuur. MIBITON wordt gefinancierd met middelen uit het Fonds Economische Structuurversterking (FES) en met middelen uit het bedrijfsleven. Ook op het terrein van biotechnologische bodemreiniging is samenwerking tussen het onderzoekbestel en het bedrijfsleven tot stand gekomen rond een grootschalig project, NOBIS, dat eveneens uit het FES wordt gefinancierd.

3.8 Voedingsmiddelentechnologie

Voedingsmiddelentechnologie omvat een scala van technologieën die met name in de verwerkingsfase van de voedselproductieketen van belang zijn. Via de daar toegepaste be- en verwerkingstechnologieën worden voedingsgrondstoffen (afkomstig uit land- en tuinbouw, veeteelt, visserij) omgezet in consumeerbare producten. Voorbeelden liggen in eiwittechnologie, enzymtechnologie, zuiveltechnologie, conserveringstechnieken, extractie-, raffinage- en vethardingstechnologie en agro- en levensmiddelenbiotechnologie. Van steeds groter belang zijn ook specifieke procestechnologieën op het gebied van conservering, warmte- en koudetechniek, scheiding (membraantechnologie), mengen en roeren, verpakken en bewaren, en meten en regelen. Sensor- en informatietechnologie wordt hier steeds meer toegepast, bijvoorbeeld bij voedingsmiddelenanalyse. Ruimer gezien zijn ook technologieën in de andere fasen van de voedselproductieketen van belang, met name de productiefase (landbouw, veeteelt) en de distributie. Het belang van voedingstechnologie blijkt heel direct uit de omvang en het economisch belang van de voedings- en genotmiddelenindustrie (bijna 80 mrd waarvan 35 mrd export). Het belang blijkt echter zeker ook uit thema's die maatschappelijk aan belang winnen zoals duurzame agrosystemen, management van agroketens (van grondstof tot consument), nieuwe mogelijkheden in de verwerking, ontwerp van duurzame bedrijfssystemen en beperking van milieubelasting. Hieruit resulteert een toenemend belang van technologieën zoals processimulering en -modellering, proces-

bewaar- en distributietechnologie, biotechnologie en geïntegreerde bedrijfssystemen in de plantaardige en dierlijke productie.

De publieke kennisinfrastructuur is geconcentreerd rond de onderzoeksschool VLAG (Voeding, Levensmiddelentechnologie, Agrobiotechnologie en Gezondheid) waarin de LUW (trekker), KUN en de UU deelnemen, enkele DLO-instituten (met name ATO-DLO, RIKILT-DLO, ID-DLO, CPRO-DLO) en TNO Voeding. Daarnaast is er het Nederlands Instituut voor Koolhydraatonderzoek dat aan TNO is gelieerd. In de onderzoeksschool VLAG, die deel uitmaakt van de ABON (Associatie van Biotechnologie-Onderzoekscholen in Nederland) wordt ook geparticipeerd door TNO Voeding en DLO-instituten. Voor het voedingstechnologisch onderzoek zijn ook de onderzoekscholen OSPT (procestechnologie) en NIOK (katalyse) van belang.

Er bestaan tal van samenwerkingsrelaties tussen de publieke kennisinfrastructuur en het bedrijfsleven. Doordat in aanzienlijke mate bedrijfs-R&D op het gebied van voeding wordt verricht in Nederland (bijvoorbeeld bij Unilever, Heineken, CSM, Nutricia, Stork) bestaat daar ook de basis voor. Samenwerking tussen de publieke kennisinfrastructuur en het bedrijfsleven vindt plaats behalve in uitbesteding van onderzoek in programma's voor onderzoekstimulering. Via enkele IOP's (Industriële Eiwitten, Koolhydraten, Katalyse) zijn netwerken van bedrijven en onderzoeksinstellingen tot stand gebracht. Een belangrijk punt is hier het vergroten van synergie in kennisopbouw en -toepassing vanuit alle relevante stadia van de voedselproductieketen. Ook het ICES-programma Agro Keten Kennis (30 Mf) draagt daar in sterke mate toe bij.

3.9 Milieutechnologie

Milieutechnologie heeft als centraal onderzoeksthema het ontwikkelen van schone productieprocessen en methoden en apparatuur ten behoeve van het verwijderen van en tegengaan van milieuverontreiniging door emissies en afval. Het technologiegebied staat hierdoor in nauw contact met andere gebieden zoals de proces- en biotechnologie, energietechnologie, katalyse, civiele technologie en meet- en regeltechniek. De zorg om het milieu raakt alle sectoren in de Nederlandse economie, in het bijzonder de chemische en overige energie-intensieve industrieën, maar ook bijvoorbeeld de nutssector en de waterschappen. Daarnaast vormt het technologiegebied de commerciële basis voor een aparte tak in de apparatenbouw en de adviessector, de milieuproduktiesector. De ontwikkeling van milieutechnologie is sterk gestimuleerd door het milieubeleid. Eerst is veel aandacht geschonken aan schoonmaaktechnieken (waterzuivering, bodemsanering, luchtfiltering), maar nu verschuift de aandacht steeds meer naar procesgeïntegreerde milieutechnologie. Hierdoor ontstaat een grotere verwevenheid met productie-, materiaal-, energie- en procestechnologie. Voorbeelden liggen in het milieugericht produktontwerpen en in het koppelen van proces- en energiestromen.

Milieutechnologie is een onderzoeksterrein voor zowel de (technische) universiteiten, TNO, DLO, GTI's en voor instellingen zoals het RIZA en het RIVM. Het onderzoek vindt zeer verspreid plaats. Soms is het onderzoek gekoppeld aan een specifieke markt (elektriciteitssector) of aan water-, bodem- of luchtbeheer. Ook vormen wetenschappelijke disciplines het vertrekpunt, zoals het geval is bij milieubiotechnologie en elektrochemie. Een eigen positie neemt de Landbouwniversiteit Wageningen in met het onderzoek naar afvalwaterzuivering en verontreinigde water- en grondbodems. Er is een onderzoeksschool Milieuwetenschappen in oprichting, waarin de universiteiten van Leiden, de VU en de Landbouwniversiteit participeren. Bij TNO is in 1995 het onderzoek naar milieu- en energietechnologie gebundeld in één instituut met specifieke aandacht voor procesgeïntegreerde oplossingen en commercialisatie van technieken. Er is een ICES-project op het onderwerp (water)bodemsanering. De NOVEM vervult een belangrijke rol in aansturing van milieu- en energiegericht onderzoek.

De meeste contacten worden onderhouden met de grote ingenieursbureaus met een milieu-adviespoot, civiele milieubouwbedrijven en ontwikkelaars en producenten van apparatuur voor schoon produceren en schoonmaaktechnologie. Alle groepen participeren in de IOP- en PBTS-regeling Milieutechnologie. Om de produktontwikkeling op basis van milieutechnologie te versterken starten de ministeries van OC&W, EZ, LNV, V&W en VROM eind 1995 met het E.E.T.-programma (Ecologie, Economie en Technologie).

3.10 Medische technologie

Onder medische technologie valt een breed scala van ontwikkelingen gericht op geneeskunde en medische zorg. Kunstmatige organen, biocompatibele materialen, medische beeldvorming, medische informatiesystemen, geneesmiddelen en hulpmiddelen voor virus- en bacteriedetectie zijn er voorbeelden van. Belangrijke basisdisciplines liggen allereerst op het terrein van de medische wetenschappen, de biologie en de bioprocesstechnologie voor wat betreft de ontwikkeling van geneesmiddelen en '*genetic engineering*' (immuno- en transplantatietechnologie, gentherapie). Voorts is de moderne elektronica en informatietechnologie voorwaarde voor de ontwikkeling van diagnostische en klinische instrumenten (radiodiagnostiek, tomografie, 'tele-geneeskunde', micromechanica-instrumenten) en apparatuur voor thuiszorg. Tenslotte zijn disciplines zoals biomechanica en materiaalkunde (biocompatibele materialen) onontbeerlijk bij de ontwikkeling van patiënthulpmiddelen en hulpmiddelen voor gehandicapten. Op al deze terreinen zijn belangrijke ontwikkelingen gaande, van biocompatibele materialen (implantaatmaterialen zoals kunstmatig bloed) tot diagnostische systemen (computertomografie).

Op het gebied van medisch wetenschappelijk onderzoek zijn tal van faculteiten, academische ziekenhuizen, KNAW-instituten en instituten van vakdepartementen actief. Voorts zijn er zelfstandige onderzoeksinstituten zoals het Nationaal Ziekenhuis

Instituut en de Bloedtransfusiedienst. Voor wat betreft het informatietechnologiegerelateerde medische onderzoek heeft Nederland sterke centra op het gebied van beeldanalyse en beeldverwerking (TU Delft, RU Utrecht, Universiteit van Amsterdam). De Universiteit Twente huisvest belangrijke activiteiten op het vlak van de biomedische materiaalkunde, biomedische engineering en biosignalen en -sensoren. Bij de TU Eindhoven wordt onderzoek uitgevoerd op het gebied van patiënt monitoring systemen. Op het vlak van *geneesmiddelenontwikkeling* is het onderzoek gebundeld in twee onderzoekscholen: LACDR (Leiden Amsterdam Centre for Drug Research) en GUIDE (Groningen Utrecht Institute for Drug Exploration). Belangrijke onderzoeksthema's van LACDR betreffen moleculaire mechanismen en geneesmiddelenontwerp, hormonen en de hersenfunctie, moleculaire en cellulaire mechanismen in toxicologie, en de werking en verwerking van geneesmiddelen. De RU Leiden, die in LACDR participeert, kent een belangrijke groep rond biofarmacie. De onderzoeksschool GUIDE richt zich eveneens op geneesmiddelenonderzoek maar bestrijkt vooral de klinisch-medische aspecten. TNO voert onder meer onderzoek uit op het gebied van preventie, diagnostiek, chronische ziekten, veroudering en medische informatietechnologie.

Het gebied van medische technologie kent enkele samenwerkingsverbanden en platforms waarin de onderzoekswereld en het bedrijfsleven elkaar treffen; voorbeelden zijn de Stichting Biomaterialen Nederland en het Centre for Life Science and Technology. Via de vorming van onderzoekscholen, SPIN-projecten en projecten geïnitieerd vanuit de NWO-Stichting voor de Technische Wetenschappen zijn tal van relaties tussen het bedrijfsleven en kenniscentra ontstaan. Dat dergelijke relaties succesvol kunnen zijn tonen bedrijven op het vlak van beeldvormende apparatuur. Deze bedrijven onderhouden nauwe banden met onderzoeksgroepen in academische ziekenhuizen of technische universiteiten. Op het terrein van beeldverwerking start een IOP, waarin het betrokken medische onderzoek een belangrijke rol speelt. Op het gebied van geneesmiddelenontwikkeling is eveneens sprake van een goede relatie; uitbesteding door de industrie van ontwerp en ontwikkeling van geneesmiddelen vindt in toenemende mate plaats; academische ziekenhuizen spelen een belangrijke rol bij het klinische testen.

3.11 Arbeid en gezondheid

De afgelopen tijd is steeds meer aandacht ontstaan voor vraagstukken rond arbeid en gezondheid. Dit gebied is dan ook van groot maatschappelijk en economisch belang vanwege thema's als kosten van ziekteverzuim, mogelijkheden tot produktiviteitsverbetering, maar ook veiligheid, gezondheid en het scheppen van een goed werkklimaat. Illustratief voor dit belang is de huidige arbowetgeving. Voor wat betreft de technologie staan centraal de ontwikkeling van diagnose-, detectie- en interventietechnieken, de ontwikkeling van zorgsystemen en het ontwerp van mens-middelsystemen. Binnen het arbeidsgezondheidskundig onderzoek zijn een veelheid van disciplines van

belang. 'Harde' technologie speelt daarbij minder een rol dan disciplines zoals gezondheidswetenschappen, bewegingswetenschappen, epidemiologie, chemie, biologie, psychologie, ergonomie en arbeidshygiëne.

Binnen de kennisinfrastructuur is sprake van een groot aantal disciplinair georiënteerde zwaartepunten. Deze worden in veel gevallen door interdisciplinaire koppelingen naar andere disciplines samengesmeed tot expertisecentra. De meeste universitaire onderzoekscentra bevinden zich in medische faculteiten. Onderzoekscholen op het gebied van arbeid en gezondheid zijn het Instituut voor Fundamentele en Klinische Bewegingswetenschappen, het Kurt Lewin Instituut, en Extramurale en Transmurale Gezondheidszorg. Specifieke universitaire centra bevinden zich onder meer bij de UvA (Coronel Laboratorium, Nederlands Centrum voor Beroepsziekten), de KU Nijmegen, de LUW, de RUG, de RULi en de TUD. Bij TNO-PG (Preventie en Gezondheid) wordt onderzoek uitgevoerd gericht op veiligheid en gezondheid in werkomstandigheden; alle TNO-activiteiten op het vlak van arbeid, gezondheid en welzijn worden gecoördineerd in het samenwerkingsverband TNO Centrum voor Arbeid. Het DLO-instituut IMAG legt het zwaartepunt op fysieke belasting en ergonomie, met name gericht op arbeid in de land- en tuinbouw. Onderzoekcapaciteit is voorts in beperkte mate aanwezig bij bedrijfsgeneeskundige diensten.

Het belang van het thema arbeid en gezondheid voor de samenleving komt onder meer tot uitdrukking in stimulering via het NWO-prioriteitenprogramma Psychische vermoeidheid in de arbeidssituatie, waarbij ook het ministerie van VWS is betrokken. Belangrijke platforms waarin de relatie tussen onderzoek en de samenleving wordt gelegd zijn het Platform Arbeidsveiligheid en de Nederlandse Vereniging voor Ergonomie.

3.12 Transporttechnologie

Het cluster 'transport en havens' is van groot economisch belang en creëert een toegevoegde waarde van meer dan 10 % van het Nederlandse BBP. Transporttechnologie heeft een belangrijk aandeel in het behoud van Nederlandse concurrentiekracht in dit cluster. Transporttechnologie heeft betrekking op alle aspecten van transport: de transportmiddelen, de beheersing van transportstromen en de transportinfrastructuur. Maatschappelijke randvoorwaarden rond congestie, energie en milieuhinder bepalen in toenemende mate de eisen die aan de afwikkeling van transportstromen gesteld worden. De transporttechnologie ligt daarom ingebed in een gevarieerd scala van disciplines zoals werktuigbouwkunde, produktietechnologie, logistiek, energietechnologie, verkeerskunde, distributiekunde, telematica, operationele research. Belangrijke strategische onderzoeksthema's voor de komende jaren liggen in mobiliteitsontwikkeling, de organisatie van logistieke ketens, intermodaal vervoer, overslag en distributie. Voor wat betreft de ontwikkeling van transportmiddelen gaat de aandacht onder meer uit naar schone en high-power verbrandingsmotoren en de ontwikkeling

van hoge snelheidssystemen. De transportinfrastructuur omvat onder meer efficiënte overslag- en distributienetwerken naast de bekende 'civiele' infrastructuren (wegen, bruggen, spoorlijnen etc). Voor wat betreft de beheersing van transportstromen is de rol van telematica en informatietechnologie van steeds groter belang (elektronische gegevensuitwisseling, tracking and tracing, radiocommunicatiesystemen, geïntegreerde avionica).

De basis voor logistieke kennis ligt bij de grote transportondernemingen, in samenspel met branche-organisaties en universiteiten. Op universitair niveau verrichten vooral de TU Delft, de TU Eindhoven, de Erasmus Universiteit Rotterdam, en de Universiteit van Amsterdam relevant onderzoek. De onderzoeksschool TRAIL (Transport, Infrastructuur en Logistiek) wordt gevormd door een aantal faculteiten van de TU Delft en de Erasmus Universiteit Rotterdam. De onderzoeksthema's liggen op de terreinen transport en verkeerstechnologie, integrale bedrijfsvoering in de transportsector, transportinfrastructuren, en maatschappelijke ontwikkelingen. De TUD en de TUE beschikken over groepen die zich richten op voertuigtechnologie. Verscheidene instituten binnen TNO, en enkele GTI's zoals MARIN (scheepsbouw, voortstuwing), het NLR en het WL (waterbouwkunde) leveren een substantiële bijdrage aan technologie-onderzoek naar verkeers- en transportmiddelen en infrastructuur. veel van dit onderzoek wordt in internationaal (EU-)verband uitgevoerd. Door TNO word onderzoek verricht op gebieden als verkeersmanagement, logistiek, voertuigdynamica, botsveiligheid en verbrandingsmotoren. Hieronder vallen de toepassing van voertuigelektronica in actieve beheersing van transportmiddelen ('smart vehicles'), motormanagement en alternatieve aandrijvingsvormen. De overheden vormen een belangrijke partij bij transporttechnologie. De Adviesdienst Verkeer en Vervoer van het ministerie van V&W heeft een sleutelrol bij het aansturen van onderzoek naar transport en infrastructuur, naast het Projectbureau Integrale Verkeers- en Vervoersstudies waarin ook VROM participeert. Voor het gebied transportmiddelen is ook het onderzoek in de werktuigbouw, produktietechnologie en materiaaltechnologie van belang.

Vele projecten rond transporttechnologie worden door het bedrijfsleven en kenniscentra gezamenlijk uitgevoerd, op nationale zowel als internationale (DRIVE, BRITE-EURAM, PROMETHEUS) schaal. Diverse belangenorganisaties en platforms zorgen voor informatie-uitwisseling (Nederland Distributieland, Vereniging Logistiek Management). In het kader van de investeringsimpuls ICES worden transportgerelateerde projecten uitgevoerd in samenwerking tussen overheden, bedrijfsleven en de kennisinfrastructuur. Het betreft Transporttechnologie (V&W), Land-Water-Impuls (V&W), Ondergronds Bouwen (V&W), Main Port Rotterdam (OC&W). Voor het programma Transporttechnologie is een budget van Mf 35 gereserveerd. De onderzoeksschool TRAIL werkt in dit programma samen met TNO en het bedrijfsleven.

3.13 Produktietechnologie

Produktietechnologie heeft als onderzoekerrein de verschillende fases die nodig zijn voor het vervaardigen van discrete, dat wil zeggen afzonderlijke, producten, dit in tegenstelling tot de procesindustrie (en -technologie). Het omvat produktontwikkeling, ontwerpen en engineering, de werkvoorbereiding en besturing van het fabricageproces, be- en verwerkingsprocessen, onderhoud, interne logistiek en de productie-organisatie. Op deze laatste thema's heeft het nauwe raakvlakken met technische bedrijfskunde, industriële economie en arbeidssociologie. Produktietechnologie stelt bedrijven in staat goedkoper en doelgerichter te produceren en is daarmee uiterst belangrijk voor de producerende industrie in Nederland. Vanwege de relatief hoge loonkosten is voortdurende produktievernieuwing in Nederland een strategische noodzaak. In het onderzoek uit zich dit in aandacht voor industriële automatisering en voor snelheid, kwaliteit, betrouwbaarheid en maakbaarheid, veelal nauw afgestemd op de behoeften van grote bedrijven in de metaalproducten, kunststofverwerkende, machine- en transportmiddelenindustrie. De relatie tussen onderzoek en specifieke produktgroepen en materialen is nauw.

Binnen de technische universiteiten en TNO wordt het merendeel van het onderzoek naar produktietechnologie uitgevoerd. Universiteiten zijn actief op thema's als werkvoorbereiding (UT), modelvorming rond plaatwerk en omvormtechnieken (UT/TUE), *computer aided manufacturing* en robotbesturing (alle), assemblage- en verbindingstechnieken en toepassing van lichte materialen in vliegtuigen (TUD). De UT en de TUE hebben samen de onderzoeksschool Institute for Business Engineering and Technology Application opgericht met als centrale thema's productie, logistiek, kwaliteitscontrole en innovatiemanagement. Binnen TNO is nu het ontwerp- en productie-onderzoek gespreid over het Kunststof- en Rubber Instituut, Metaalinstituut en Produktcentrum, maar dit wordt in 1996 samengevoegd binnen een instituut. Industriële R&D wordt vooral gedaan bij de grote producenten, waaronder Philips (bijvoorbeeld het Centrum voor Fabricagetechnologie), Fokker, Hoogovens, NedCar en Stork, maar ook veel door onderzoekscollectieven zoals NIL (Nederlands Instituut voor Lastechniek).

Het belang van goed gestructureerd onderzoek naar produktietechnologie wordt steeds meer onderkend, niet alleen met als doel kennisopbouw maar vooral ook ten behoeve van kennisdoorstroming naar MKB-bedrijfsleven. De Stichting voor de Technische Wetenschappen bevordert het technisch-wetenschappelijk onderzoek naar produktietechnieken, bedrijfsspecifieke produktieverbeteringen worden ondersteund via de regelingen van EZ. Er zijn veel intermediaire koepelorganisaties actief in dit technologiegebied zoals SCOM en het NIL.

3.14 Energietechnologie

Energietechnologie richt zich op de gehele keten van energiebronnen tot en met het eindgebruik door industrie en huishoudens. Het omvat daarmee de exploratie en winning van fossiele energiebronnen, energieconversie en -besparing (inclusief duurzame energiedragers), energieproductie, -opslag en -distributie (elektriciteit, gas) en op het ontwerp van energiesystemen en -apparaten. Een betrouwbare en goedkope energievoorziening is van vitaal belang voor alle economische activiteiten in een land, en in het bijzonder voor de energie-intensieve industrie. Daarnaast heeft de keuze van energiebronnen en de efficiëntie waarmee deze worden aangewend belangrijke gevolgen voor het beslag op het milieu. In het Nederlandse onderzoek zijn enkele belangrijke onderzoekslijnen te onderscheiden: energieverbruik in de bebouwde omgeving en in verkeer en vervoer, elektriciteitsopwekking, olie- en gasexploratie en -winning, de energiedimensie van industriële processen (WKK) en duurzame energiebronnen. Het gebied wordt gevoed vanuit vele wetenschappelijke disciplines: thermodynamica, stromingsleer, toegepaste wiskunde, chemie, geologie en werktuigbouwkunde.

Het publiek gefinancierde onderzoek wordt vooral verricht bij de technische universiteiten en bij technologische instituten, met een centrale rol voor ECN inzake kernenergie, energiebeleidsstudies en duurzame energie en TNO-MEP voor industriële energiebesparing. Aan de TU Delft is een onderzoeksschool/instituut in oprichting inzake het duurzaam gebruik van energie en grondstoffen in de industrie. Energietechnologisch onderzoek wordt ook verricht binnen de onderzoeksscholen voor Procestechologie (UT), Katalyse (NIOK) en de J.M. Burgersschool voor Stromingsleer. Binnen het NWO voert het FOM Instituut voor Plasmafysica thermonucleair onderzoek uit. TNO-WT verricht onderzoek op het gebied van motorverbrandingstechniek. De energiesector kent tevens een behoorlijk aantal industriële researchlaboratoria. GasTec en Gasunie Research richten zich op gaswinning, -zuivering en -distributie. De KEMA is het huislaboratorium voor wat de elektriciteitsvoorziening betreft. Shell heeft twee belangrijke onderzoeksinstituten, KSLA te Amsterdam en EPL in Rijswijk, op dit terrein in Nederland. Het onderzoek naar nieuwe energiesystemen en -apparaten is gering van omvang en in niches gespecialiseerd, hetgeen samenhangt met een relatief kleine Nederlandse energieproductiemiddelenindustrie. In het energieveld vervult NOVEM een belangrijke rol als financier (met behulp van door EZ beschikbaar gestelde middelen) en programmeringsorgaan.

Kostenbesparing en milieu-overwegingen zijn altijd belangrijke thema's geweest voor samenwerking in energie-onderzoek tussen kennisinfrastructuur en bedrijven, bijvoorbeeld in de papier- en chemische industrie. Ook in (vracht)automotorteknik, windturbines en brandstofcellen is er nauwe samenwerking. De NOVEM-programma's zijn daarvoor een belangrijk mechanisme.

3.15 Luchtvaart- en ruimtevaarttechnologie

In feite dienen luchtvaarttechnologie en ruimtevaarttechnologie van elkaar onderscheiden te worden. Beide omvatten een verzameling subtechnologieën die voor elk der beide toepassingsdomeinen gericht zijn op het ontwerpen, ontwikkelen, operationeel toepassen en beheersen van systemen. Een aantal van de subtechnologieën en de achterliggende disciplines zijn voor beide toepassingsdomeinen relevant zoals stromingsleer, ontwerpen, instrumentatie, besturingselektronica, computer-aided design, materiaaltechnologie, lijmen en hechten, concurrent engineering, simulatorontwikkeling. De belangrijke ontwikkelingen spelen zich af rond ontwikkeling van nieuwe lichte en sterke materialen, computer-aided ontwerpen, verbrandingssystemen, simulatoren, remote sensing, besturings- en beheersingssystemen (geïntegreerde avionica, plaatsbepalingssystemen, air traffic control, sateliettechnologie, telecommunicatiesystemen, multimedia). Deze technologieën zijn overigens ook uitermate relevant voor de transportmiddelenindustrie, de metaal- en metaalproduktenindustrie en de civiele techniek.

Op het gebied van *luchtvaarttechnologie* wordt verreweg de meeste R&D verricht door het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR); op universitair niveau is de TU Delft (faculteit L&R) de belangrijkste kennisaanbieder. Het Nederlands Instituut voor Vliegtuigontwikkeling en Ruimtevaart (NIVR) speelt namens de overheid een centrale rol bij de financiering en sturing van R&D, onder meer in het kader van het Vliegtuig Technologie Programma en het Algemeen Research Programma. Op het gebied van *ruimtevaarttechnologie* is het scala van kennisaanbieders breder. Ook hier speelt de NIVR een belangrijke aansturende rol, met name op terreinen zoals radartechnologie (samenwerking tussen TNO, TU Delft, NLR), simulatoren, zonnepanelen, materialen, softwareontwikkeling. Een aanzienlijk deel van het ruimteonderzoek vindt plaats door deelname in ESA-programma's.

Bezien over het gehele terrein van luchtvaart- en ruimtevaarttechnologie zijn de belangrijkste kenniscentra het NLR en de TUD-faculteit L&R. Beide hebben internationaal een uitstekende naam. Het NLR werkt op terreinen zoals stromingsleer, vliegtuigen, constructies en materialen, ruimtevaart en informatica. De TUD richt zich op vliegtuigconstructies, aërodynamica, voortstuwing, vliegtuigbouw en -ontwerp, simulatorsystemen, materiaalonderzoek en ruimtevaarttechniek. De TUD geniet voorts internationale bekendheid op het gebied van geodesie (met het excellente aardgerichte ruimteonderzoek) en remote sensing. Daarnaast is TNO (met name TPD) actief voor wat betreft ruimte-onderzoek op terreinen zoals sensoren voor satellieten, optisch ontwerpen, detectietechnieken en precision engineering; op het vlak van luchtvaarttechnologie op terreinen zoals sensoren, radarsystemen, simulatoren. De NWO-stichting SRON (Space Research Organisation Netherlands) speelt met een budget van 20 Mf per jaar een belangrijke rol op terreinen zoals instrumentontwikkeling ten behoeve van ruimteonderzoek, astronomie, microzwaartekracht en remote sensing, veelal ten behoeve van en in samenwerking met groepen in de Nederlandse

universiteiten die actief zijn op het gebied van observatie en wetenschappelijke experimenten in en vanuit de ruimte.

Over het geheel van de luchtvaart- en ruimtevaarttechnologie genomen zijn de banden tussen de kennisinfrastructuur en het bedrijfsleven zeer sterk. Vermeld is de belangrijke aansturende rol van de NIVR onder meer bij de deelname van deze partijen in het Vliegtuig Technologie Programma en in ESA-programma's. De kennisinstellingen - met name het NLR, de TUD en de NWO-stichting SRON en TNO - zijn via tal van netwerken en programma's onlosmakelijk met het cluster van productiebedrijven in de ruimtevaart verbonden. De NISO (Netherlands Industrial Space Organisation) bundelt de belangen van ongeveer 30 instellingen en ondernemingen op het gebied van ruimtetechnologie.

3.16 Civiele technologie

Gegeven de specifieke Nederlandse bodemgesteldheid, de geografische ligging als rivierendelta en transportknooppunt en de hoge bevolkingsdichtheid heeft de civiele technologie hier te lande een zeer belangrijke maatschappelijke functie en wordt het in tal van economische activiteiten benut. Het gebied omvat de inrichting en het ontwerp van infrastructuur en gebouwen, de realisatie, onderhoud en ontmanteling en het technisch beheer van de gebouwde omgeving en infrastructuur. Het onderzoek in de civiele technologie heeft altijd een behoorlijke bijdrage geleverd aan de exportmogelijkheden van Nederlandse aannemers op het gebied van bagger, kust- en oeverwerken, havens, bouwmanagement, waterbouwkunde en civieltechnische milieutechniek. De twee primaire toepassingsmarkten zijn de grond-, weg- en waterbouw (GWW-sector) en de woning- en utiliteitsbouw.

Er is een brede onderzoekinfrastructuur bij zowel universiteiten als semi-publieke instellingen. Onderzoeksscholen op dit gebied zijn Integraal Construeren in de Bouw, Waterbouw, de J.M. Burgers onderzoeksschool Stromingsleer, het Centrum voor Technische Geowetenschappen en TRAIL (transportinfrastructuur). De TU Delft (onder meer de faculteiten Civiele Techniek, Geodesie, Bouwkunde) is de meest centrale universiteit voor dit technologiegebied. Speerpunten in Delft zijn bouwinformatica, ontwerpen en construeren, grondslagen en materialen, grondmechanica, geotechniek en water-, weg- en railbouw. De faculteit Bouwkunde van de TU Eindhoven richt zich met name op bouwfysica, akoestiek en het bouwfabricageproces. Civiele Technologie en Management aan de UT bestudeert bouwmanagement en beheersaspecten. De positie van Delft als 'civiele stad' wordt nog versterkt door de aanwezigheid van de belangrijkste onderzoeksinstituten op dit gebied. TNO Bouw en Grondwater en Geo-energie enerzijds en het Waterloopkundig Laboratorium en Grondmechanica Delft anderzijds. De vier instellingen werken samen in de ICES-programma's Ondergronds Bouwen en Land-Water-Impuls, programma's die gericht

zijn op de integratie van civiele techniek, milieutechnologie en informatietechnologie en waarin ook het bedrijfsleven participeert.

De eigen R&D-inspanning van het bouwbedrijfsleven is beperkt. Een aanzienlijk deel van het civieltechnologisch onderzoek is collectief van aard en wordt geformuleerd door de Collectief Onderzoek Programmerende Instellingen (COPI's), zoals de CUR, het CROW en de Stichting Bouwresearch. Via de meer dan 200 branche-organisaties in de bouwwereld wordt gezorgd voor deelname aan de technische adviescommissies van de COPI's, wat de kennisoverdracht bevordert. Bijzonder is de positie van de Adviesraad voor Technologiebeleid in de Bouwnijverheid, de enige sectorale technologie-adviesraad. Naarmate de bouwregelgeving in Europa meer op elkaar wordt afgestemd, zal de internationale samenwerking in civiele technologie tussen bedrijven toenemen.

BIJLAGEN



Bijlage I. Strategische technologieën internationale studies

GROEP	SUBGROEP EN MEEST GENOEMDE TECHNOLOGIEËN
GEAVANCEERDE MATERIALEN	<p><i>Elektronische en optische materialen:</i> Optische materialen; Magnetische materialen; Gallium Arsenide; Supergeleidende materialen; Elektronische keramiek</p> <p><i>Geavanceerde structurele en functionele materialen:</i> geavanceerde polymeren, polymeer-matrixcomposieten, structurele en functionele keramische materialen, metaalmatrixcomposieten</p> <p><i>Biomaterialen:</i> bio-actieve/biocompatibele materialen, bio-elektronische materialen, biomimetische materialen</p>
PROCES-TECHNOLOGIEËN	<p><i>Nieuwe materiaalsynthese- en verwerkingstechnologieën:</i> katalyse/biokatalyse, chemische synthese, scheidings-technologie, bioprocesontwikkeling, unit operations.</p> <p><i>Processtechnologieën:</i> procesontwerp, procesregeling, proceskunde, apparaatontwerp.</p>
GEAVANCEERDE ELEKTRONICA	<p><i>Opto-elektronica, fotonica:</i> laser diodes en arrays, optische switches, optische opslagsystemen, optische fiber, geïntegreerde optische circuits</p> <p><i>Micro-elektronica:</i> signaalverwerking, informatie-opslag, materialen, ontwerpmethoden, verbindingstechnologie, vermogenselektronica (low power)</p> <p><i>Bio-elektronica</i></p> <p><i>Geavanceerde processing:</i> parallelle processing, data-/signal processing hardware/software architecturen</p> <p><i>Geavanceerde sensoren, microsystemen:</i> architecturen, (micro-)verbindingstechnologieën, intelligente sensorsystemen</p>
INFORMATIE-SYSTEEMTECHNOLOGIEËN	<p><i>Geavanceerde software:</i> hoog-niveau software talen, hergebruik modulaire software</p> <p><i>Geavanceerde informatieverwerking:</i> spraakherkenning, computer modellering en simulatie, beeldverwerking, datafusie, virtual reality, vertaalsystemen</p> <p><i>Informatiesysteemcomponenten en randapparaten:</i> geavanceerde database systemen, display technologie, data-opslagsystemen</p> <p><i>Computers:</i> neurale computers, parallelle computers, supercomputers</p> <p><i>Communicatiesystemen:</i> draadloze telecommunicatie, multimedia, breedband ISDN</p>

GROEP	SUBGROEP EN MEEST GENEEMDE TECHNOLOGIEËN
BIOTECHNOLOGIE	<i>Biotechnologie:</i> Eiwitontwikkeling, membranen, geneesmiddelenontwikkeling, bioprocessing, genetic engineering, scheidingstechnologie
MILIEU-TECHNOLOGIE	<i>Milieu-technologie:</i> bioprocessing, monitoring en informatiesystemen, afvalzuivering via biotechnologie, scheidingstechnologie
MEDISCHE TECHNOLOGIE	<i>Medische technologie:</i> medische beeldvorming, kunstmatige organen
TRANSPORT-TECHNOLOGIE	<i>Transporttechnologie:</i> intelligente voertuigen, verkeersinformatiesystemen, hoge snelheidssystemen
ENGINEERING EN PRODUCTIE-TECHNOLOGIE	<i>Engineering/productietechnologie:</i> kunstmatige intelligentie, micro- en nanofabricage van machines, robotica, CIM, intelligente CAD, hoge precisie/hoge snelheids machines
ENERGIE EN VOORTSTUWINGSTECHNOLOGIE	<i>Energie/voortstuwing:</i> electrical storage, high-power motoren, brandstofcellen, fotovoltaïsche energiegeneratie, elektrische motoren en aandrijvingen, alternatieve brandstofmotoren, compacte energiebronnen
LUCHT- EN RUMTEVAARTECHNOLOGIE	<i>Lucht-/ruimtevaart:</i> Ruimte observatietechnieken, vliegtuigproductietechnologie, test- en onderzoekstechnieken, avionica

Bronnen: Diverse internationale studies, STB-TNO analyses en -aanvullingen.

Bijlage II. Emerging technologies

In deze toelichting zullen een aantal emerging technologies besproken worden. Dit zijn terreinen waar op dit moment vooral wetenschappelijk onderzoek plaatsvindt. In het begin van de volgende eeuw (tussen 2000 en 2020) kunnen uit deze onderzoeksgebieden mogelijk belangrijke toepassingen voortvloeien. De betreffende onderzoeksterreinen zijn in hoofdzaak verbonden met vier onderzoeksgebieden: geavanceerde elektronica, nieuwe materialen, biotechnologie en engineering- en produktietechnologie. Op het gebied van de geavanceerde elektronica gaat het met name om het ontwerpen van zeer kleine structuren en schakelingen. De producten, die hieruit voortkomen, zijn vooral bestemd voor toepassingen in communicatie- en informatie technologie. Van de nieuwe materialen zullen implantaat-, keramische- en nanomaterialen besproken worden. De technologieën, die gerelateerd zijn aan biotechnologie, maken gebruik van biologische structuren en mechanismen. Dit gebruik kan zowel direct (gebruik van biologisch materiaal) als indirect zijn. In het laatste geval wordt de kennis uit de biologie benut bij het maken van stoffen en structuren met soortgelijke (biologische) eigenschappen. Nieuwe technologieën op het gebied van de productie zijn microfabricage, biologische productiesystemen en rapid prototyping.

BRONNEN

- * Grupp, H., *'Technologie am Beginn des 21. Jahrhunderts'*. Physica Verlag (1993).
- * IFTECH (Institute for Future Technology), *'Future Technology in Japan, Toward the year 2020'* (1993).
- * ISI (Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung), *'Mini-Delphi Topics (German)'*. (1994)
- * ISI (o.l.v. H. Grupp), *'Deutscher Delphi-Bericht zur Entwicklung von Wissenschaft und Technik'*. BMFT (1993)
- * ISI, *'Technology at the beginning of the 21st Century'*. BMFT (1993)
- * Jager, P.J. de, *'What is Rapid Prototyping'*. Internet-search: Rapid Prototyping
- * Kürten, L., *'Technologien des 21. Jahrhunderts'*. BMFT (1993)
- * Merkle, R.C., *'Nanotechnology'*. Internet-search: Nanotechnology
- * NWO, *'Trends in de wetenschap'*. NWO (1995)
- * Whirter, W. MC, *'Smart's the word in Detroit'*. Internet-search: Smart systems
- * Wintermantel, E., *'Chair of Biocompatible Materials Science and Engineering'*. Internet-search: Bionics

Tabel 1: Overzicht van emerging technologies

GEBIED	CENTRALE THEMA'S (VOOR- BEELDEN)	RELATIEF JONGE THEMA'S
NIEUWE MATERIALEN	Keramische materialen Polymeren Metalen Functionele gradiëntmaterialen Micro-elektronica materialen (b.v. opto-elektronische materi- alen, nanomaterialen) Implantaatmaterialen Katalyse, biokatalyse	Nanomaterialen Implantaatmaterialen
NANOTECHNOLOGIE	Nano-elektronica Nanomaterialen Microfabricage	Nano-elektronica Nanomaterialen Microfabricage
MICRO-ELEKTRONICA	Signal processing Informatie-opslag Nano-elektronica Plasmatechnologie	Nano-elektronica Plasmatechnologie
FOTONICA	Opto-elektronica Informatie-opslag Lasertechnologie	Materialen voor informatie-op- slag Microfabricage
MICROSYSTEEM- TECHNOLOGIE	Micro-actuatoren, -sensoren Verbindingstechnologieën] Microfabricage	Microfabricage
SOFTWARE EN SIMULATIE	Software ontwikkeling Modelbouw, simulatie Molecular modelling Neuro-informatica	Neuro-informatica
MOLECULAIRE ELEKTRONICA	Bio-elektronica Bionica (neuro-informatica, Bi- omimetische materialen)	Bio-elektronica Bionica (neuro-informatica, Bi- omimetische materialen)
CELBIOTECHNOLOGIE	Moleculaire biotechnologie	Moleculaire biotechnologie Neurobiologie Biologische productiesystemen Bionica (neuro-informatica, bi- omimetische materialen)
PRODUKTIETECHNOLOGIE	Modelbouw voor de productie Milieuvriendelijke productie	Rapid prototyping

Bron: Gebaseerd op H. Grupp, Technologie am Beginn des 21. Jahrhunderts (1993); enkele aanvullingen van TNO-STB

Bij de bespreking van de *emerging technologies* zal steeds aangegeven worden welk (maatschappelijk) belang deze technologieën in de toekomst kunnen hebben. Voorbeelden van onderwerpen waarvoor een nieuwe technologie van belang kan zijn, zijn communicatie, economie, gezondheidszorg, milieu, sociale vooruitgang en technologie-ontwikkeling. Voor wat betreft 'technologie-ontwikkeling' wordt hier geduid op technologie die nuttig is voor het verder ontwikkelen van andere technologieën. Daarbij valt bijvoorbeeld te denken aan *molecular modelling*, een technologie die een belangrijke rol speelt bij het kunnen ontwerpen van zeer kleine structuren (*molecular engineering*). Tevens zal aangegeven worden, waar aanknopingspunten zijn tussen een *emerging technology* en de Nederlandse onderzoekinfrastructuur zoals deze in dit rapport is beschreven. Tenslotte zal bij elke nieuwe technologie de termijn waarop specialisten de eerste commerciële toepassingen verwachten vermeld worden. Bij de schatting van deze jaartallen is gebruik gemaakt van het recent uitgevoerde Japanse en de Duitse Delphi-onderzoek. Al deze gegevens zijn aan het eind van deze bijlage weergegeven in een tabel.

1. Bio-elektronica en bio-sensoren

In dit technologiegebied gaat het om inzet van biologische kennis om macromoleculen met bijzondere elektronische eigenschappen (geleiding, schakeling en opslag) te fabriceren cq. aan te wenden. Deze technologie wordt nu al op kleine schaal toegepast bij de productie van sensoren voor het omzetten van chemische of fysische kwaliteiten in meetbare signalen. Deze biosensoren kenmerken zich door hun zeer hoge selectiviteit. In de toekomst zullen mogelijk ook biologische diodes, transistoren en processoren gemaakt kunnen worden, wat uiteindelijk kan leiden tot bio-chips en zelfs de biomoleculaire computer. Gezien de huidige stand van zaken liggen dergelijke ontwikkelingen nog ver in de toekomst.

Verdere ontwikkeling van bio-elektronica hangt nauw samen met de groei van kennis in de neurobiologie en neuro-informatica. Verder zullen methoden ontwikkelt moeten worden waarmee de verschillende componenten (macromoleculen) geschakeld kunnen worden (op membranen). Ook is nog onderzoek nodig naar de levensduur en bio-comptabiliteit (als ze bestemd zijn voor implantatie) van bio-elektronica. Mogelijke toepassingen voor bio-sensoren liggen op het gebied van de gezondheid (diagnose, patiënt-bewaking) en milieu (meting van vervuiling). Bio-elektronica kan in principe in het gehele gebied van de elektronica ingezet worden. Een belangrijke mogelijke toepassing ligt op het gebied van neurale netwerken. Het onderzoek sluit nauw aan bij de volgende onderzoeksgebieden: moleculaire biotechnologie, neurobiologie, elektrotechniek en nanotechnologie.

2. Moleculaire biotechnologie

Moleculaire biologie is een van de velden, waarin de laatste jaren veel onderzoek heeft plaatsgevonden. Daardoor is veel bekend geworden over de makromoleculaire processen, die zich in de cel voordoen. Een belangrijk onderwerp van studie is de wijze waarop dergelijke processen het gedrag van cellen (en daarmee het organisme) sturen. Deze kennis gecombineerd met kennis uit DNA onderzoek kunnen tot belangrijke ontwikkelingen leiden. De moleculaire biotechnologie benut deze kennis op twee manieren. De eerste is gericht op het toepassen van kennis omtrent de mechanismen in de cel. Een voorbeeld hiervan is het synthetisch produceren van allerlei stoffen (al dan niet m.b.v. recombinant DNA technologieën). Voor een verdere uitwerking hiervan zie hieronder bij biologische produktiesystemen. Een andere belangrijke toepassing ligt op het gebied van de medische technologie. Een voorbeeld daarvan is het veranderen van DNA om daarmee ziektes te bestrijden.

De tweede vorm van moleculaire biotechnologie benut biologische (macro) moleculen in technologische toepassingen. Zo kan bakteriorhodospine (een kleurstof afkomstig uit bacteriën die leven in een zoute omgeving) mogelijk gebruikt worden om informatie op te slaan. Als deze kleurstof namelijk bestraald wordt met licht van een bepaalde golflengte verandert deze van kleur. Zo kan de stof functioneren als een bit. Een voordeel van dit proces is dat het volledig reversibel is en dat het opslagmedium langer intact blijft dan b.v. magnetisch materiaal. Momenteel loopt er onderzoek, dat er op gericht is dit materiaal (bakteriorhodospine) stabiel te maken qua temperatuurgevoeligheid. Het onderzoek op het gebied van de moleculaire biotechnologie sluit nauw aan bij onderzoek in de moleculaire biologie, celbiologie (human genome) en medische technologie (zowel diagnose als farmacie).

3. Biologische produktiesystemen

Dit is technologie, waarbij stoffen geproduceerd worden met behulp van biologische systemen. Op deze wijze worden reeds bepaalde enzymen en antibiotica geproduceerd. De biologische productie kan zowel plaatsvinden met behulp van biologische organismen als in celvrije systemen. In het tweede geval is een bepaalde stof (b.v. een enzym) geïsoleerd uit de cel. Een voordeel van deze celvrije productie is de mogelijkheid producten te produceren, die toxisch zijn voor de cel. Een belangrijk onderzoeksgebied is de biokatalyse, waarbij enzymen en micro-organismen benut worden als katalysator. Deze zijn veel selectiever en werken bij relatief lage temperaturen zodat ze minder belastend zijn voor het milieu. Biologische produktiesystemen zijn voor een belangrijk gedeelte gebaseerd op kennis uit DNA technologie, omdat erfelijke eigenschappen vaak gemanipuleerd moeten worden wil een hoge conversie bereikt worden.

Een van de meest aansprekende voorbeelden uit dit veld is het onderzoek naar biologische productie van waterstofgas ten behoeve van toekomstig transport/energievoorziening. Daartoe wordt gebruik gemaakt van fotosynthetische processen bij micro-organismen. Belangrijke onderzoeksvelden op dit gebied zijn: voorkoming van schadelijke nevenproducten, optimalisering van de productie m.b.v. DNA technologie, fixatie van de micro-organismen op matrijzen en het zoeken naar sturingsmogelijkheden voor deze complexe processen. Daarnaast is er onderzoek dat probeert de processen in een celvrij systeem te imiteren (bionica). Voor verder ontwikkeling van biologische productiesystemen is inbreng nodig vanuit de moleculaire- en de celbiologie. Bovendien kan gebruik gemaakt worden van kennis vanuit de procestechnologie.

4. Bionica

Bionica is de verzamelnaam voor technologie, die er op gericht is via kunstmatige weg natuurlijke systemen en processen na te bootsen. Daarin zijn twee belangrijke subgebieden te onderscheiden: Neuro-informatica en biomimetische materialen. Deze zullen hieronder besproken worden.

Neuro-informatica. De neuro-informatica onderzoekt het menselijke hersen-en zenuwstelsel om van daaruit kennis te kunnen toepassen bij het ontwikkelen van informatiesystemen (o.a. kunstmatige intelligentie). Anderzijds wordt waar dat mogelijk is, informatietechnologie ingezet om dit onderzoek te kunnen verrichten. Daarbij is o.a. te denken aan het opzetten van simulaties. De neuro-informatica (-biologie) onderzoekt zowel gedrag van afzonderlijke cellen als grotere samenhangende systemen (zoals bijvoorbeeld het gehoor). Neuro-informatica kan bijdragen aan systemen voor kunstmatige intelligentie, methoden van informatie-opslag, neurale netwerken en systemen t.b.v. spraakherkenning. Belangrijke gebieden van onderzoek zijn: signaaloverdracht tussen zenuwcellen, mechanismen die een rol spelen bij logisch redeneren en leerprocessen in het menselijk brein. Inzicht in deze gebieden kan mogelijk benut worden in computers.

Biomimetische materialen. Dit onderzoek is gericht op het mogelijk maken van de productie van materialen (met bijzondere eigenschappen), die in biologische organismen reeds geproduceerd worden. Voorbeelden van dit soort materialen zijn spinnezijde en pantsers van insecten. Het doel is daarbij niet om een natuurgetrouwe kopie te maken van het natuurproces, maar om een materiaal te produceren met eigenschappen, die gelijkwaardig zijn aan de natuurlijke equivalent. Relatief nieuw onderzoek richt zich op kleurstoffen die in bepaalde bacteriën voorkomen. Deze veranderen in aangeslagen toestand van kleur, en kunnen dankzij die eigenschap als bit functioneren bij informatie-opslag (zie moleculaire biotechnologie). Mogelijkerwijs kan via synthetische weg een variant gevonden worden die stabiel is dan de natuurlijke kleurstof.

Onderzoek op het gebied van biomimetische materialen maakt gebruik van de technologische principes, die bij de natuurlijke productie een rol spelen. Door (cel)biologisch onderzoek is de afgelopen decennia veel bekend geworden met betrekking tot deze natuurlijke mechanismen. Op de manier kunnen materialen op een selectieve en energiezuinige wijze verkregen worden. Belangrijke gebieden (naast celbiologisch onderzoek) voor verder onderzoek zijn: syntheseroutes, productiesnelheid en het economisch rendabel maken van productie.

5. Computational intelligence

Computational intelligence is een systeemtechnologie, waarbij via informatisering een machine zelfstandig een taak kan uitvoeren, die voorheen menselijk handelen veronderstelde. Voorbeelden op dit gebied zijn (medische) beeldverwerking en datafusie bij gedistribueerde systemen. Een populaire toepassing van computational intelligence zijn de smart systems. Dit zijn systemen, die zelfstandig bepaalde functies kunnen verrichten. Voorbeelden daarvan zijn de boordcomputer die automatisch de afstand tot de auto ervoor regelt en het beeldscherm waarvan de intensiteit, afhankelijk van het omgevingslicht, verandert. In het algemeen bestaan smart systems uit drie componenten: sensor(en), een informatieverwerkende eenheid en een actuormechanisme dat eventueel ingrijpt. Met behulp van dergelijke systemen kan het gemak thuis of de veiligheid in het verkeer worden vergroot. Om smart systems daadwerkelijk te laten functioneren is verbetering van sensoren en integratie van verschillende componenten nodig. Daarnaast moet nog gewerkt worden aan gebieden waar sturing alleen via niet-lineaire logica mogelijk is. Zeer nieuw op dit gebied is het onderzoek naar micromachines, die zelfstandig kunnen functioneren. Belangrijk is daarbij het onderzoek dat gericht is op de smart sensor, een sensor + chip ter grootte van een speldeknop. Micromachines zouden b.v. ingezet kunnen worden om het insulinepeil te regelen. Een dergelijke machine zou dan in het lichaam gebracht worden, waar het suikergehalte gemeten wordt en zonodig bijgesteld wordt door de afgifte van insuline. Onderzoek op het gebied van smart systems is sterk interdisciplinair en steunt dan ook op vele disciplines.

6. Implantaatmaterialen

Onder implantaatmaterialen vallen alle materialen, die geschikt (kunnen) zijn voor implantatie in het menselijk lichaam. Daarbij kan het gaan om metalen, polymeren, keramische-, composiet of bio-materialen. Belangrijke doelen daarbij zijn biocompatibiliteit en het beperken van (zwaar) operatief ingrijpen. Daarnaast zijn factoren als levensduur, corrosiviteit en stevigheid van het implantaat van belang. Het grote maatschappelijke belang van onderzoek en technologie-ontwikkeling op dit gebied ligt in het verbeteren van de gezondheid. Zo is het m.b.v. implantaten (b.v. kunstheup) nu reeds mogelijk ouderen beter te laten functioneren. Door ontwikkeling van nieuwe

implantaatmaterialen kan een aantal verbeteringen worden gerealiseerd. Onderzoek was tot voor kort vooral gericht op materialen met betere bio-comptabiliteit, zodat minder medicijnen nodig zijn.

Relatief nieuw is het onderzoek naar materialen die door het lichaam worden afgebroken, zodat deze niet operatief verwijderd hoeven te worden. Deze kunnen toegepast worden in platen die gebruikt worden om botbreuken te laten helen. Een ander nieuw gebied is gericht op het ontwikkelen van materialen (tissues), die bij implantatie het aangetaste orgaan stimuleren om gezonde cellen aan te maken. Daarbij wordt gebruik gemaakt van keramische materialen, als drager voor te implanteren cellen. Een groot voordeel van deze technologie is de mogelijkheid het materiaal via een injectie rechtstreeks in het orgaan te brengen. Het verst is deze technologie ontwikkelt op het gebied van leverziektes. Voor het onderzoek naar implantaten is inbreng vanuit de volgende disciplines van groot belang: materiaalkunde, biologie en geneeskunde.

7. Keramische materialen

Nieuwe keramische materialen kunnen verdeeld worden over twee hoofdgroepen. Bij de eerste groep ligt het belang in de chemische, thermische of mechanische eigenschappen van het materiaal. Deze materialen kunnen toepassing vinden in b.v. reactoren waarin extreme omstandigheden heersen. Daarbij valt o.a. te denken aan kolenvergassing (temperatuur) en chemische reacties onder zeer corrosieve omstandigheden. Hoewel het in principe mogelijk is keramische materialen met dergelijke eigenschappen te produceren, worden ze nog niet breed ingezet vanwege de hoge kosten die aan de productie verbonden zijn. Onderzoek naar grootschaliger produktiemethoden is dan ook gewenst.

In de tweede groep gaat het om keramische materialen, die bijzondere functionele eigenschappen hebben. Daarbij valt met name te denken aan elektromagnetische en katalytische eigenschappen. Toepassingen op dit gebied zijn resp. halfgeleiders (GaAs en Si verbindingen) en dragers voor cellen, die in het lichaam geïnjecteerd dienen te worden. Deze tweede groep van materialen wordt veelal toegepast in kleine structuren. Toepassingen hiervan zijn al terug te vinden op biomedisch en elektrotechnisch gebied. De verwachting is dat keramische materialen in het volgende decennium breed toepassing zullen vinden. Het onderzoek op het gebied van keramische materialen sluit nauw aan bij energietechnologie, geavanceerde elektronica, produktietechnologie en medische technologie.

8. Mescoscopische- en nanomaterialen

Bij deze materialen gaat het om zeer kleine structuren variërend van enkele tienduizenden tot enkele tientallen atomen. Een aantal toepassingen op het gebied van de elektronica is elders (nano-elektronica) besproken. Het belangrijkste onderzoeksgebied is gericht op het maken van materialen voor informatie-opslag. Daarbij worden afzonderlijke atomen of moleculen aangebracht in een isolerend materiaal. Daarbij kan het zowel om organisch als om biologisch materiaal (zie bio-elektronica) gaan. Deze zogenaamde quantumputten kunnen functioneren als een bit (ze zijn wel of niet in aangeslagen toestand). Deze aangeslagen toestand kan gecreëerd worden m.b.v. gerichte lasers of door het tunnel-effect. Opslag van informatie in dergelijke materialen kan een miljoen maal dichter gepakt worden dan in conventionele transistoren. Er is nog veel onderzoek nodig naar de stabiliteit (o.a. temperatuurgevoeligheid) van dergelijke opslagsystemen, voordat deze daadwerkelijk toepasbaar zijn.

Mescoscopische materialen vinden daarnaast ook toepassing in de fijnchemie. Met name de eigenschappen van katalysatoren kunnen via nanotechnologie belangrijk verbeterd worden. Een ander toepassing is het aanbrengen van dunne polymere grenslagen. Mogelijke toepassingen zijn lijmen, lakken en smeermiddelen. Wat dit laatste betreft is het onderzoek naar mogelijkheden om clusters van moleculen om te zetten in harde keramische bolletjes van belang. Deze minuscule keramische deeltjes kunnen als kogellagertjes een belangrijke rol spelen bij de verdere ontwikkeling van zogenaamde micro-machines. Het onderzoek naar mescoscopische materialen leunt zowel op fysische als op chemische methoden. Bovendien spelen technieken uit de modern(st)e elektronica een belangrijke rol (zie microfabricage).

9. Micro-en nanofabricage

Deze technologie is een vorm van productie-technologie, die betrekking heeft op de fabricage van micro-systemen, nanostructuren e.d. Aangezien het om zeer kleine structuren met hoge precisie (nanometers) gaat, schieten conventionele technieken tekort. Een belangrijke technologie is lithografie, waarbij met behulp van lasers, elektronen-lasers en ionen-lasers een prototype wordt geproduceerd. Dit kan zowel een 'echt' prototype als een negatief opleveren. In het laatste geval wordt de gewenste structuur chemisch opgedampt. Andere technologieën zijn het trekken van een film en het met lasers afvlakken (tot 0,1 nm nauwkeurig) van oppervlakken. Een zeer belangrijk nieuw technologiegebied is Raster Tunnel Microscoping (en aanverwante technologieën) waarmee structuren met een nauwkeurigheid van meer dan 0,1 nm in beeld gebracht kunnen worden. Deze technologie biedt in principe de mogelijkheid afzonderlijke atomen te verplaatsen. Daarmee komt het uiteindelijke doel van de nanotechnologie, molecular engineering, in zicht. Om dit doel te bereiken dienen de technologieën zowel verbeterd te worden qua prestaties, als op het gebied van de

kosten, die er aan verbonden zijn. Er is nog veel onderzoek nodig om de productie van nano-structuren op een economische wijze te kunnen automatiseren. Vooral nog is het benodigde onderzoek grotendeels fundamenteel gericht.

10. Molecular modelling

Molecular modelling heeft als doel om m.b.v. computers het gedrag van materialen (en afzonderlijke atomen daarin) zo natuurgetrouw mogelijk te simuleren. Bestaande systemen op dit gebied worden in bijna alle technologiegebieden (o.a. in de lucht- en ruimtevaarttechnologie, materiaalkunde en de civiele technologie) benut. Ook de onderzoekers op relatief nieuwe gebieden zoals neurobiologie, molecular drug design (medicijnen) en nanotechnologie maken gebruik van dergelijke systemen. Zo speelt molecular modelling een centrale rol in de moleculaire (gen) biotechnologie. Door simulatie en modellering kan het onderzoek sneller en doelmatiger plaatsvinden. Op de verschillende gebieden van molecular engineering (nanotechnologie, biotechnologie) spelen specifieke fenomenen een belangrijke rol. Daarbij gaat het om oppervlakteverschijnselen en quantumeffecten in kleine structuren. Daarnaast vertonen biologische systemen nog weer ander gedrag. Op deze beide gebieden zijn de gebruikte modellen nog sterk voor verbetering vatbaar. Het verbeteren van deze modellen vereist inbreng vanuit de volgende disciplines: wiskunde, informatica, fysica, fysische chemie en informatica. Daarnaast zullen ook ontwikkelingen op het gebied van informatietechnologie (parallel processing, high performance computing) een bijdrage leveren aan het verbeteren van molecular modelling.

11. Nano-elektronica

Het onderzoek op het gebied van de nanotechnologie bestaat uit een drietal sterk samenhangende gebieden: nanomaterialen, nano-elektronica en microfabricage. (De eerste en de laatste zullen ook als zelfstandig item aan bod komen.) Er is sprake van nanotechnologie als het gaat om het creëren van structuren kleiner dan 0,1 micrometer. Dat betekent dat het gaat om structuren die opgebouwd zijn uit slechts zeer weinig (enkele tientallen tot duizenden) atomen. Quantum-effecten spelen een belangrijke rol bij het gedrag van dergelijke structuren. Zo heeft de overgang van één elektron al meetbare gevolgen. Dit noemt men Single Electron Tunelling (SET). Deze eigenschap biedt mogelijkheden voor het ontwikkelen van zeer snelle (en minuscule) schakelingen. Bovendien zullen dergelijke schakelingen aanmerkelijk minder energie verbruiken dan de huidige. Een tweede belangrijk quantum-eigenschap ligt op het gebied van straling. Met behulp van nanomaterialen is het mogelijk om zeer nauwkeurig licht van een bepaalde golflengte te produceren (squeezed light). Dit kan o.a. toepassing vinden bij optische communicatie.

Bij het ontwikkelen van nano-elektronica kunnen zowel biologische makromoleculen (zie bio-elektronica en neuro-informatica) als anorganische structuren benut worden. Het meest van belang is nanotechnologie op het gebied van de geavanceerde elektronica. De technologie kan met name ingezet worden t.b.v. snellere informatie-verwerking en betere informatie-overdracht. Daarmee is nanotechnologie indirect een stimulans voor toepassingen op het gebied van multimedia e.d. Toepassingen van nanotechnologie t.b.v. opto-elektronica worden al binnen enkele jaren verwacht. Het benutten van nano-elektronica t.b.v. geïntegreerde schakelingen vergt nog veel onderzoek naar het gedrag en de fabricage van dergelijke schakelingen. Industriële toepassingen worden pas na 2010 verwacht.

12. Plasmatechnologie

Plasma's zijn geïoniseerde gassen, die zowel eigenschappen hebben van gassen als van vloeistoffen. Zo kunnen ze in een magnetisch veld vastgehouden worden, waarbij dan onder hoge temperatuur chemische reacties (of kernfusie) kunnen plaatsvinden. Een tweede belangrijke eigenschap is, dat ze relatief gemakkelijk elektronen afstaan. Dit laatste gebeurt onder invloed van elektromagnetische straling (of ultraviolet licht). - Plasmatechnologie vindt toepassing in velerlei vooraanstaande technologiegebieden zoals: lasertechnologie, kernfusie, chemie, materiaalbewerking en sensoren. Een belangrijk nieuw onderzoeksgebied is materiaalbewerking waarbij oppervlakte-eigenschappen m.b.v. plasma-ionen gemanipuleerd worden. Deze technologie heeft in de vervaardiging van micro- en nano-elektronica een belangrijk werkgebied. Als basis voor deze en andere toepassing is onderzoek nodig naar de eigenschappen van verschillende plasma's. Het onderzoek naar plasma's sluit nauw aan bij het onderzoek naar geavanceerde elektronica en de (fijn)chemie. Daarnaast vindt in Nederland onderzoek plaats aan het FOM-instituut voor Atoom- en Molecuulfysica (AMOLF). Dit onderzoek is met name gericht op het gebruik van hete plasma's bij kernfusie.

13. Rapid prototyping

Rapid prototyping (ook wel DeskTop Manufacturing) is technologie, waarbij artefacten rechtstreeks vanuit CAD-data worden geproduceerd. Daarbij gaat het meestal om vormen van materiaalbewerking, waarbij zowel gebruik gemaakt kan worden van technieken die materie toevoegen als technieken die materie verwijderen. Daarbij wordt o.a. gebruik gemaakt van lasers en robottechnologie. De produkten, die hieruit voortkomen, kunnen gebruikt worden voor test-situaties. Daarnaast worden ook modellen t.b.v. kleine series (10 tot 1000) rechtstreeks via rapid prototyping geproduceerd. Rapid prototyping heeft als belangrijk voordeel dat modellen snel beschikbaar zijn, waardoor produktie en onderzoek sneller voortgang kunnen vinden. Het onderzoek naar Rapid Prototyping is al enkele decennia oud. Het emerging karakter ligt op een aantal nieuwe gebieden. Zo is er onderzoek naar rapid prototyping

van elektronische componenten en systemen waarbij alleen de specificaties van het produkt opgegeven hoeven te worden. De machine neemt daarbij een groot gedeelte van de ontwerpfase voor zijn rekening. Daarnaast is meer onderzoek nodig om harde materialen of complexe componenten rechtstreeks met CAD informatie te kunnen produceren.

Rapid prototyping maakt het mogelijk een artefact snel in productie brengen. Dit is van belang omdat op een aantal gebieden een produkt al na korte tijd verouderd is. Een tweede belangrijke trend is de steeds verdergaande flexibilisering, waardoor produkten in een lage oplage worden geproduceerd, en waardoor er minder ontwerptijd is. Een van de gebieden waar rapid prototyping wordt gebruikt is dat van de medische technologie (prothesen, implantaten). In Nederland is er onderzoek op dit gebied bij de faculteit voor industriële vormgeving aan de TUD. De TUD is met IPSE (Frankrijk) in een onderzoek betrokken naar ultra rapid prototyping. Daarbij worden prototypes geproduceerd met behulp van CAD ontwerpen uit de eerste fasen van ontwikkeling. Een bijkomend probleem hierbij is, dat de CAD modellen in die fase niet altijd volledig en coherent zijn.

Tabel 2. Karakterisering van Emerging Technologies

ONDERWERP	WETENSCHAPS- EN TECHNOLOGIEGEBIEDEN	BELANG VAN DE TECHNOLOGIE	NEDERLANDS ONDERZOEK	EERSTE COMMERCIELE TOEPASSING
BIO-ELEKTRONICA	geavanceerde elektronica; sensor-technologie; biologie	informatieverwerking; medische kennis; elektronica	UT	2001-2009 (sensoren)
BIOLOGISCHE PRODUCTIE-SYSTEMEN/BIOKATALYSE	biotechnologie; katalyse; milieu-technologie	milieu; economie; farmacie; energie	LWU	2001-2010 (waterstof productie)
BIOMIMETISCHE MATERIALEN	geavanceerde materialen; biotechnologie	nieuwe materialen; milieu; informatie-opslag	LWU	2006-2015
COMPUTATIONAL INTELLIGENCE	informatie- en communicatietechnologie; sensortechnologie; robotica	automatisering; datafusie; beeldverwerking; smart systems	TUD	2001-2008 (beeldverwerking en spraak → schrift) Voor 2010 (smart car)
IMPLANTAAT-MATERIAAL	medische technologie; materiaal-kunde; biologie	botprothesen; kunstmatige organen; toediening medicamenten		2001-2006
KERAMISCHE MATERIALEN	energietechnologie; geavanceerde materialen; chemie	gezondheid; chemische reactoren; informatie-opslag; energie-opwekking		2004-2011
MESOSCOPISCHE MATERIALEN	geavanceerde elektronica; geavanceerde materialen; lasertechnologie; katalyse	informatie-opslag en -verwerking; katalysatoren; fijnchemie opto-elektronica (squeezed light)		Voor 2010 grote ontwikkeling
MICRO- EN NANOFABRICAGE	geavanceerde elektronica; engineering en productietechnologie; Tunnel Microscoping	technologie-ontwikkeling micro- en nano-elektronica productie nanomaterialen materiaalbewerking		2000-2007 (materiaalbewerking) 2005-2016 (micro machines in bloedbaan)
MOLECULAIRE BIOTECHNOLOGIE	biologie; gentechnologie	productie; farmacie; bestrijding ziektes		1999-2010 (veel vooruitgang, o.a. aanpak aids en malaria)

ONDERWERP	WETENSCHAPS- EN TECHNOLOGIEGEBIEDEN	BELANG VAN DE TECHNOLOGIE	NEDERLANDS ONDERZOEK	EERSTE COMMERCIELE TOEPASSING ¹⁾
MOLECULAR MODELING	computational modellering; chemie; fysica	moleculaire biotechnologie bio-elektronica moleculair drug design katalysatoren nanotechnologie		±2000 volwassen technologie
NANO-ELEKTRONICA	geavanceerde elektronica; geavanceerde materialen; quantum fysica	computers (Gigabyte) elektronica (snelle schakelingen)	TUD	2000-2004 (GB opslagchip) 2001-2009 (schakelsnelheden in orde van ps)
NEURO-INFORMATICA	Informatie- en communicatietechnologie; biologie; sensortechnologie	computers; medische kennis; overname gestoorde lichaamsfuncties		2006-2018 (systemen equivalent aan 10.000 zenuwcellen) 2010-2018 (koppeling sensoren aan zenuwcellen lichaam)
PLASMA-TECHNOLOGIE	energietechnologie; geavanceerde materialen; lasertechnologie	lasers; materiaalbewerking; kernfusie; chemische reacties (aflopende)	FOM (AMOLF)	2010-2020 (hoge temperaturen)
RAPID PROTOTYPING	engineering en productie Informatie- en communicatietechnologie	productie; onderzoek	TUD	2000-2005 (alleen specificatie van eigenschappen voldoende)

¹⁾ De schattingen zijn gebaseerd op de jaartallen zoals die genoemd zijn in de Delphi onderzoeken (IFTECH en ISI). Het eerst genoemde jaar kan gezien worden als tijdstip van doorbraak van de technologie, het laatste geeft een schatting van het jaar van volledige benutting wereldwijd. Een indicatie over de betrouwbaarheid geeft IFTECH (1993). Van de in 1971 (1^e Delphi onderzoek) genoemde ontwikkelingen was in 1992 64 % (gedeeltelijk) gerealiseerd.

Bijlage III. Onderzoekscholen op technologiegebieden

TECHNOLOGIE	ONDERZOEKSCHOLEN	THEMA'S
MATERIALEN	Debye Onderzoekschool Materials Science Center MIDEG Research Instituut voor Materialen Polymeren PTN Centrum voor Materialen Onderzoek Onderzoekschool Supramoleculaire Chemie en Technologie	Oppervlakten, katalyse, materialen Materiaalwetenschappen Materiaaltechnologie Materiaalwetenschappen Polymeren Materiaalwetenschappen Supramoleculaire chemie, sensor technologie, membranen, moleculaire materialen
PROCESTECHNOLOGIE	Onderzoekschool Procestechnologie OSPT Nederlands Instituut voor Onderzoek in de Katalyse NIOK Polymeren PTN Voeding, Levensmiddelentechnologie, Agrobiotechnologie en Gezondheid VLAG Research School Biotechnological Sciences Delft Leiden	Chemical engineering Heterogene en homogene katalyse, katalyse engineering Polymeertechnologie Voedingsmiddelentechnologie Bioprocestechnologie
ELEKTRONICA	Delft Institute voor Micro-elektronica en Submicronotechnologie DIMES Communication technology: Basic Research & Applications COBRA Onderzoekschool Micro-Electronics, materials engineering, Sensors and Actuators MESA	Micro-elektronica, submicronotechnologie, informatietechnologie Opto-elektronica, communicatietechnologie Micro-electronics, micro engineering
KATALYSE	Nederlands Instituut voor Onderzoek in de Katalyse NIOK	Heterogene en homogene katalyse, katalyse engineering
COMPUTATIONAL MODELLING & SIMULATION	JM Burgerscentrum Onderzoekschool voor stromingsleer Hydrologie Centrum voor Technische Geowetenschappen Advanced School for Computing & Imaging	Computational fluid dynamics, aërodynamica, hydrodynamica, reologie Hydrologie, stromingen Geofysische beeldvorming, exploratie Computational sciences, imaging

TECHNOLOGIE	ONDERZOEKSCHOLEN	THEMA'S
INFORMATIE- EN COMMUNICATIETECHNOLOGIE	<p>Onderzoekschool Telematica en Informatietechnologie</p> <p>Advanced School for Computing & Imaging</p> <p>Nijmeegs Instituut voor Cognitie en Informatie Perception and Technology</p> <p>COBRA</p> <p>IPA</p> <p>HASR</p>	<p>telematica, informatietechnologiesystemen, integratie in gebruikersomgevingen</p> <p>Computational sciences, image processing</p> <p>Cognitieve wetenschappen en informatieverwerking</p> <p>Waarnemingstechnologie, psychologie, fysica</p> <p>Opto-communicatietechnologie</p> <p>Computing sciences</p> <p>Informatica, autonome systemen</p>
BIOTECHNOLOGIE	<p>Voeding, Levensmiddelentechnologie, Agrobiotechnologie en Gezondheid VLAG</p> <p>Groningen Biomolecular Sciences and Biotechnology GBB</p> <p>Research School Biotechnological Sciences Delft Leiden EPW</p>	<p>Voedingstechnologie, agrobiotechnologie</p> <p>Moleculaire biologie, biotechnologie, moleculaire genetica, microbiologie</p> <p>Biotechnologie</p> <p>Plantenontwikkeling, ziekte en resistentie</p>
VOEDINGSMIDDELENTECHNOLOGIE	<p>Voeding, Levensmiddelentechnologie, Agrobiotechnologie en Gezondheid VLAG</p> <p>Groningen Biomolecular Sciences and Biotechnology GBB</p>	<p>Voedingsmiddelentechnologie</p> <p>Moleculaire wetenschappen, biotechnologie</p>
PRODUKTIETECHNOLOGIE	<p>Institute for Business Engineering & Technology Application</p>	<p>Productie, logistiek, kwaliteitscontrole</p>
MEDISCHE TECHNOLOGIE	<p>Biomedical Science and Engineering BMSE</p> <p>Leiden Amsterdam Institute for Drug Research LACDR</p> <p>GUIDE</p>	<p>Biomedische technologie</p> <p>Geneesmiddelenontwikkeling</p> <p>Geneesmiddelenontwikkeling</p>
ARBEID EN GEZONDHEID	<p>Instituut voor Fundamentele en Klinische Wetenschappen</p> <p>Kurt Lewin Instituut</p> <p>Extramurale en Transmurale Gezondheidszorg</p>	<p>Bewegingswetenschappen</p> <p>Arbeid, organisatiepsychologie</p> <p>Gezondheidswetenschappen, eerste lijn</p>
LUCHT- EN RUIMTEVAARTTECHNOLOGIE	-	-

TECHNOLOGIE	ONDERZOEKSCHOLEN	THEMA'S
MILIEUTECHNOLOGIE	GEM (i.o.) Onderzoekschool Milieuwetenschappen (i.o.) Onderzoekschool Milieuchemie en Toxicologie (i.o.)	Procesintegratie, grondstoffen, energie Milieuwetenschappen Bodemchemie, toxicologie, microbiologie
ENERGIE-TECHNOLOGIE	Centrum voor Technische Geowetenschappen Grondstoffen, Energie, Milieu (i.o.)	Geofysica, beeldvorming, exploratie-engineering Procesintegratie
CIVIELE TECHNOLOGIE	Centrum voor Technische Geowetenschappen Onderzoekschool Integraal Construeren voor de Bouw Waterbouw Hydrologie J.M. Burgerscentrum voor Stromingsleer TRAIL	Geofysica, beeldvorming, exploratie-engineering Ontwerp en engineering in de bouw Natte waterbouw Hydrologie, stroming Stromingen Transp orttechnologie
TRANSPORTTECHNOLOGIE EN LOGISTIEK	Onderzoekschool Transport, Infrastructuur en Logistiek	Transport- en verkeersttechnologie, infrastructuren

Bron: BIOS (1995)

Bijlage IV. Lijst van afkortingen

ABON	Associatie van Biotechnologie Onderzoekscholen in Nederland
AGM	Advies Groep Materialen
AMOLF	FOM-instituut voor Atoom- en Molecuulfysica
ASCI	onderzoekschool Advanced School for Computing and Imaging
AWT	Adviesraad voor het Wetenschaps- en Technologiebeleid
BCRS	Beleidscommissie Remote Sensing
BSDL	Onderzoekschool Biotechnological Sciences Delft Leiden
CEC	Commission of the European Communities
COBRA	onderzoekschool Communication technology: Basic Research and Applications
COPI	Collectief Onderzoek programmerende Instelling
COSIGN	Dutch Institute for Silicon-based Signal Processing
CPB	Centraal Planbureau
CROW	Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water- en Wegenbouw
CTG	Onderzoekschool Centrum voor Technische Geowetenschappen
CUR	Stichting Civieltechnisch Centrum Uitvoering, Research en Regelgeving
CWI	Centrum Wiskunde en Informatica
DIMES	Delft Instituut voor Micro-Elektronica en Submicrontechnologie
DLO	Dienst Landbouwkundig Onderzoek
ECN	Energie-onderzoek Centrum Nederland
EET	onderzoekprogramma Economie, Ecologie en Technologie
ESA	European Space Agency
EU	Europese Unie
EZ	Ministerie van Economische Zaken
FOM	Fundamenteel Onderzoek der Materie
GBB	onderzoekschool Groningen Biomolecular Sciences and Biotechnology
GD	Grondmechanica Delft
GUIDE	onderzoekschool Groningen Utrecht Institute for Drug Exploration
GTI's	Grote Technologische Instituten
GWV	Grond-, Water- en Wegenbouw
HOOP	Hoger Onderwijs- en Onderzoeksplan
HPC	High-Performance Computing
ICES	Interdepartementale Commissie voor Economische Structuur
IOP	Innovatiegericht Onderzoekprogramma
KEMA	Instituut voor Keuring van Elektrotechnische Materialen Arnhem
KNAW	Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen
KNCV	Koninklijke Nederlandse Chemische Vereniging
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
LUW	Landbouw Universiteit Wageningen
LACDR	onderzoekschool Leiden Amsterdam Centre for Drug Research
MARIN	Maritiem Research-Instituut Nederland
MESA	onderzoekschool Micro-Electronics, Materials Engineering, Sensors and Actuators
MIBITON	Stichting Materiële Investerings in Biotechnologisch Onderzoek in Nederland
MIDEG	onderzoekschool voor materiaaltechnologie
LNV	ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij
LUW	Landbouwuniversiteit Wageningen
LWI	Land Water Impuls

NIABA	Nederlandse Industriële en Agrarische Biotechnologie Associatie
NIOK	Nederlands Instituut voor Onderzoek in de Katalyse
NKI	Nederlands Kanker Instituut
NOBIS	Nederlands Onderzoekprogramma Biotechnologische in-situ Sanering
NIL	Nederlands Instituut voor Lastechniek
NIVR	Nederlands Instituut voor Vliegtuigontwikkeling en Ruimtevaart
NLR	Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium
NRLO	Nationale Raad voor Landbouwkundig Onderzoek
NVR	Nederlandse Vereniging voor Ruimtevaart
NVZP	Nederlandse vereniging voor Zaaï- en Pootgoed
NWO	Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek
OESO	Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling (OECD)
OCV	Overleg Commissie Verkenningen
OC&W	ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen
PBTS	Programmatische Bedrijfsgerichte Technologie Stimulering
ProRISC	Program for Research on Integrated Systems and Circuits
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne
RIZA	Rijksinstituut Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling
RUG	Rijksuniversiteit Groningen
RUL	Rijksuniversiteit Leiden
RWS	Rijkswaterstaat
SCOM	Stichting Collectief Onderzoek Metaal
SER	Sociaal Economische Raad
SOMT	Stichting Ondernemingen Medische Technologie
SON	NWO-Stichting Scheikundig Onderzoek in Nederland
SRON	Stichting (NWO) Ruimte Onderzoek
STW	Stichting voor de Technische Wetenschappen
SWOV	Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid
TNO	Nederlandse Organisatie voor Toegepast natuurwetenschappelijk Onderzoek
-GG	TNO Grondwater en Geo-energie
-FEL	TNO Fysisch en Elektronisch Laboratorium
-KRI/BC	TNO Kunststof en Rubber Instituut/Branche Centra
-MEP	TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie
-PG	TNO Preventie en Gezondheid
-TPD-TUD	TNO Technisch-Physische Dienst TU Delft
-TM	TNO Technische Menskunde
-WT	TNO Wegtransportmiddelen
TRC	Telematica Research Centrum
TUD	Technische Universiteit Delft
TUE	Technische Universiteit Eindhoven
UT	Universiteit Twente
UU	Rijksuniversiteit Utrecht
UVA	Universiteit van Amsterdam
V&W	ministerie van Verkeer en Waterstaat
VNCI	Vereniging van Nederlandse Chemische Ingenieurs
VROM	ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
VSNU	Vereniging van Samenwerkende Nederlandse Universiteiten
WL	Waterloopkundig Laboratorium

DEEL II

DE TECHNOLOGISCHE KENNISINFRASTRUCTUUR

Inhoudsopgave

DEEL II DE TECHNOLOGISCHE KENNISINFRASTRUCTUUR

1. MATERIAALTECHNOLOGIE
2. PROCESTECHNOLOGIE
3. KATALYSE
4. ELEKTRONICA
5. INFORMATIE- EN COMMUNICATIETECHNOLOGIE
6. COMPUTATIONAL MODELLING & SIMULATION
7. BIOTECHNOLOGIE
8. VOEDINGSMIDDELENTECHNOLOGIE
9. MILIEUTECHNOLOGIE
10. MEDISCHE TECHNOLOGIE
11. ARBEID EN GEZONDHEID
12. TRANSPORTTECHNOLOGIE EN LOGISTIEK
13. PRODUKTIETECHNOLOGIE
14. ENERGIETECHNOLOGIE
15. LUCHTVAART- EN RUIMTEVAARTTECHNOLOGIE
16. CIVIELE TECHNOLOGIE



1. Materiaaltechnologie



1. Omschrijving technologiegebied

1.1 Technologiegebied, disciplines

Materiaaltechnologie is opgebouwd uit drie onderling gerelateerde kernen: materiaaleigenschappen, materiaalgrootheden en maakbaarheid (van producten). Indien deze 'materialendriehoek' wordt verbonden met het programma van eisen voor een concreet produkt, ontstaat wat in de Engelse taal wordt genoemd *materials engineering*. Uit deze verwijzing blijkt reeds hoe nauw materiaaltechnologie verweven is met ontwerpen produktietechnologie (met name fabricage en bewerking). Tabel 1 geeft een overzicht van de relevante disciplines, technologieën en toepassingen.

Tabel 1. *Materiaaltechnologie: disciplines, technologieën, toepassingen*

DISCIPLINES	TECHNOLOGIEËN	TOEPASSINGEN
<p><i>fysica</i> (materiaalkunde, vastestoffysica, mesoscopische fysica, computational physics, grenslagenfysica)</p> <p><i>chemie</i> (fysische chemie, grensvlakchemie, chemische fysica, biochemie, supramoleculaire chemie, polymeerchemie, vastestofchemie, anorganische chemie)</p> <p><i>werktuigbouwkunde</i> (technische mechanica, tribologie, fabricage-engineering)</p> <p><i>elektrotechniek</i> (opto-elektronica, supergeleiding, materiaalkunde)</p> <p><i>halfgeleidertechnologie</i>: optische, magnetische materialen, GaAs, supergeleiding</p> <p><i>voorts</i>: biotechnologie, biomechanica, moleculaire biologie</p>	<p><u><i>ontwikkelen van functionele materialen:</i></u> o.a. functionele polymeren</p> <p><u><i>ontwikkelen van structurele materialen:</i></u> o.a. composieten (van metalen, kunststof- en agrovezels, hybride), technische keramiek, technische polymeren</p> <p><u><i>ontwerpmethoden:</i></u> computational modelling, simulatie, CAD</p> <p><u><i>be- en verwerkingstechnieken:</i></u> dunnelaagtechnieken, oppervlaktetechnologie; vormgevingstechnieken, moleculaire oppervlakten</p>	<p>functionele materialen met optische, elektrische, magnetische etc. eigenschappen t.b.v. halfgeleiders, lasers, nanomaterialen, sensoren, filters, actuatoren</p> <p>anorganische en organische biomaterialen, bijv. implantaten, kunstbot en -huid</p> <p>gradiëntmaterialen</p> <p>structurele materialen t.b.v. hittebestendige materialen, coatings, auto-, vliegtuig-, bouwmaterialen, betonconstructies</p> <p>intelligente materialen</p> <p>katalysatoren in de chemische technologie</p>

Binnen de materiaaltechnologie kunnen, in aansluiting op de materialendriehoek, *drie kennisdomeinen* worden onderscheiden. Het *eerste* kennisdomein betreft de *systeemeigenschappen* van materialen (corrosie, slijtage, erosie, vermoeiing, kruip). Deze worden bepaald door de samenstelling van het milieu, de produktgeometrie en de belastingstoestand, en vertonen dynamisch gedrag. Binnen dit aspectdomein wordt veel aandacht besteed aan het modelleren en voorspellen van systeemeigenschappen van materialen, bijvoorbeeld met betrekking tot duurzaamheid.

Het *tweede* kennisdomein richt zich op de *materiaalgrootheden* van mechanische, fysische, optische, elektrische, magnetische en chemische aard. Hier krijgen drie aspecten veel aandacht: de samenstelling (incl. onzuiverheden), de structuur op micro- en macroschaal en de inwendige spanningstoestand. Steeds belangrijker wordt het niveau van de moleculaire structuur van materialen. In dit kennisdomein wordt ook onderzoek verricht naar specifieke functies die samenhangen met de samenstelling en structuur van materialen, bijvoorbeeld elektrische en optische geleiding van materialen.

Het *derde* kennisdomein betreft de *maakbaarheid van produkten* uit bepaalde materialen. Hier worden de volgende aspecten onderzocht: de produceerbaarheid van een materiaal met de gewenste produktietechniek en de gewenste produktsamenstelling, de verwerkbaarheid van een materiaal in een produkt via verbindingen en additionele bewerkingen en het vraagstuk van onderhoud, ontmanteling (herverwerkbaarheid, scheidbaarheid) en milieu-emissies.

Materiaaltechnologie omvat hiermee in principe ontwerp, ontwikkeling en be- en verwerking van alle materialen ten behoeve van industriële toepassingen. De meest recente onderzoeks- en ontwikkelingsinspanningen zijn echter gericht op ontwikkeling van zogenaamde *geavanceerde materialen*. Doordat verschillende indelingsprincipes voor materialen gehanteerd worden (levend - niet levend, structureel - functioneel) naast materiaalcategorisering naar toepassingen (b.v. 'halfgeleidermaterialen') is het moeilijk een sluitende indeling te maken. Daarbij komt dat het veelvoorkomende onderscheid tussen functionele en structurele materialen niet altijd echt scherp valt te trekken. Enkele *bijzondere typen materialen* zijn echter de volgende:

1) *Structurele materialen* (voorbeeld: composietmaterialen). Hierbij gaat het vooral om de constructieve eigenschappen en daarop gebaseerde toepassingen. Het kan hier gaan om hybride materialen, metaal/kunststof-composieten, technische kunststoffen en keramische materialen (vliegtuigbouw, woningbouw, auto's). Composietmaterialen die hun toepassing vinden in de lucht- en ruimtevaart zijn kunststof vezels of laminaten die eigenschappen van polymeren en andere materialen in een materiaal combineren.

2) *Functionele materialen* (voorbeeld: functionele polymeren). Hierbij ligt het accent op nieuwe functionele eigenschappen (elektrisch, magnetisch, optisch, biologisch). De aandacht in het wetenschappelijk onderzoek is onder meer gericht op bijzondere

functies in transmissie van elektriciteit, licht en materie door polymeren met speciale fysische en chemische eigenschappen en moleculaire structuren. Een voorbeeld ligt in de ontwikkeling van halfgeleidercomponenten met bijzondere fysische-elektrische eigenschappen. Een bijzondere categorie functionele materialen wordt gevormd door de *biomaterialen*, die toegepast worden ten behoeve van de humane en diergeneeskunde vanwege hun bijzondere biochemische eigenschappen.

Van groot belang is de opkomst van krachtige rekenkundige analysemethodieken, waarmee het mogelijk is om stappen in een productieproces of de eigenschappen van een produkt te simuleren en te voorspellen (computational modelling, molecular modelling). De inzet van computers heeft de kennis over materiaalgedrag op *micro-niveau* verbeterd. De relatie tussen dit *micro-niveau* en het *macro-niveau* van constructies dat met andere methoden wordt bestudeerd - zoals eindige-elementenmethoden - is slechts gedeeltelijk tot stand gebracht. Belangwekkend is voorts het onderzoek naar mesoscopische verschijnselen dat voor toepassingsterreinen als elektronica (halfgeleidermaterialen, microsystemen), en proceskunde (katalytische materialen en processen) grote betekenis heeft.

1.2 Relatie met andere technologiegebieden

In Tabel 2 is aangegeven welke relatie er is met andere in dit rapport besproken technologiegebieden. Materiaaltechnologie vormt voorwaarde voor een groot aantal andere technologiegebieden zoals elektronica, medische technologie, procestechnologie en produktietechnologie. Daarnaast zijn er technologieën die op hun beurt de voorwaarde vormen voor de verdere ontwikkeling van materialen, zoals computational modelling. Materiaaltechnologie is nauw gerelateerd aan materiaalbewerkingsmethoden en daarmee aan produktietechnologie. Het onderzoek naar materiaalbewerking heeft vaak betrekking op de oppervlakte-eigenschappen van materialen en op de manier waarop deze beïnvloed kunnen worden (conventionele materiaalbehandelingstechnieken, CVD/PVD, oppervlaktemodificatie, ion-implantatie, laserbehandeling). Uit de omschrijving blijkt dat het technologiegebied een veelvoud van invalshoeken kent: vanuit een discipline; vanuit systeemeigenschappen; vanuit een materialenindeling, waarbij met name de 'nieuwe' materialen in de belangstelling staan. Deze diversiteit aan invalshoeken wordt gereflecteerd in de institutionele inbedding van het technologiegebied (zie onder). Meerdere en geheel verschillende disciplines zijn belangrijk, de materialen zijn verschillend en ook de toepassingsvelden lopen sterk uiteen.

Tabel 2. *Materiaaltechnologie en andere technologiegebieden (voorbeelden)*

TECHNOLOGIEGEBIED	SAMENHANG MET MATERIAALTECHNOLOGIE
Procestechnologie	Katalytische materialen en oppervlaktematerialen in bijvoorbeeld scheidings- en syntheseprocessen
Elektronica	Halfgeleidermaterialen, optische materialen (fiber optics)
Katalyse	Katalysatorontwikkeling, katalytische processen
Computational modelling & Simulation	Computational Material Science; toepassing van High Performance Computing als onderzoekshulpmiddel
Milieutechnologie	Gebruik katalysatoren t.b.v. milieu, recycling, hergebruik
Medische Technologie	Biomedische materialen (implantaten)
Voedingsmiddelentechnologie	Verpakkingsmaterialen
Produktietechnologie	Materiaalbewerking
Energietechnologie	Hoge temperatuur keramische materialen (hittebestendig)
Lucht- en ruimtevaart	Metalen, composietmaterialen, aluminiumlegeringen
Civiele Technologie	Betonconstructies, staalconstructies

1.3 Belang van het technologiegebied

Het belang van materiaaltechnologie berust op het belang van de materiaalkeuze tijdens het ontwerpen van een produkt. Primaire randvoorwaarden daarbij zijn zo laag mogelijke kosten, een optimale levensduur, betrouwbaarheid, milieubelasting en maakbaarheid. Er zijn drie aandachtsvelden binnen materiaaltechnologie die direct van belang zijn voor de industrie én de gebruikers van eindprodukten:

1. *Inzicht in de systeemeigenschappen.* Hierbij gaat het bijvoorbeeld om de toepasbaarheid van materialen in produkten en processen en om de relatie materiaal-milieu.
2. *Reductie van materiaal- en produktiekosten.* Materiaalkosten bepalen een groot deel van de kostprijs van industriële produkten. Onderzoek van Philips heeft bijvoorbeeld uitgewezen dat 40 % van de kostprijs van massaprodukten bestaat uit materiaalkosten. Voor samengestelde produkten kan dit oplopen tot 55 % van de kostprijs. Verder is voor eindgebruikers van industriële installaties en nutsbedrijven inzicht in de systeemeigenschappen cruciaal voor bijvoorbeeld de reductie van onderhoudskosten.

3. *Ontwikkeling van nieuwe materialen voor grensverleggende toepassingen.* De in internationaal verband als 'strategisch' aangeduide materiaaltechnologieën komen alle vooral voort uit de zoektocht naar materialen voor complexe toepassingen, voor bijvoorbeeld implantaten in het menselijk lichaam of constructies onder hoge belasting of agressieve omgevingen. Toch blijkt uit de selectie van onderzoeksthema's in de IOP- en PBTS-programma's op het gebied van materiaaltechnologie dat de eerste twee aandachtsgebieden, inzicht op systeemniveau en reductie van materiaal- en/of produktiekosten, in de praktijk meer aandacht krijgen.

De genoemde materiaaltechnologieën en -toepassingen zijn van belang voor een aantal economisch zeer belangrijke sectoren zoals de polymeerindustrie (productie en verwerking van polymeren; jaaromzet ongeveer 30 mrd), metaalproducerende en -verwerkende industrie (vergelijkbare omzet), de bouw (bouwmaterialen zoals voor betonconstructies), de energiesector (bijvoorbeeld keramische materialen), de vliegtuigen- en autoindustrie (metalen zoals aluminium en staal, kunststoffen, composietmaterialen), de gezondheidszorg (implantaatmaterialen, biomedische materialen), en de elektronica (halfgeleidermaterialen, elektrokeramiek).

2. De onderzoeksinfrastructuur

2.1 Actoren in de onderzoeksinfrastructuur

2.1.1 Algemeen

De kennisopbouw op het brede gebied van materiaaltechnologie is in Nederland grotendeels georganiseerd naar expertise-/kennisgebied en naar toepassingsmarkten. Dit traditionele gegeven werkt 'verzuiling' in de onderzoebsprioritering in de hand. In de overheidsstimuleringsprogramma's wordt getracht de branche- of produktgerichte insteek te verruimen. Overigens is de grens tussen produktietechnologie en materiaaltechnologie diffuus. Projecten waarin de maakbaarheid centraal staat, vallen onder beide categorieën. Ook in het midden- en kleinbedrijf zijn de activiteiten op het vlak van materiaaltechnologie nog aanzienlijk. Een indicatie daarvoor is de deelname in het PBTS-programma Materiaaltechnologie. In Tabel 3 wordt een overzicht gegeven van actoren in de kennisinfrastructuur. De belangrijkste kenniscentra zijn een achttal onderzoekscholen, gericht op fundamentele en technische materiaalwetenschappen, en enkele TNO-instituten. Overigens vindt materiaalonderzoek op meer gespecialiseerde terreinen ook plaats in andere onderzoekscholen of instituten.

Tabel 3. Overzicht van de onderzoeksinfrastructuur materiaaltechnologie

CENTRA	ACCENTEN	FTE's (AIO's, staf)
<u>UNIVERSITAIR</u> <i>Onderzoekscholen:</i> CMO (UT) BMSE (UT) PTN (TUE, TUD) RIM (KUN) MSC (RUG) Debije (UU) MIDEG (TUD) SCT (UT)	Materiaalwetenschappen Bio-engineering, -materialen Polymeren Materiaalkunde Materiaalkunde (fysica) Oppervlakte, katalyse, materialen Materiaaltechnologie Supramoleculaire chemie, moleculaire materialen, sensoren, membranen	(totaal: > 730) 118 106 108 30 98 130 95 49
<u>FUNDAMENTEEL</u> FOM-AMOLF	Moleculaire modellering	-
<u>TOEGEPAST</u> TNO-MI TNO-KRI/BC TNO-TPD TNO-PrC TNO-MEP ECN NLR ATO-DLO	Metaalkunde, materiaalbewerking Polymeren, coatings, corrosie, membranen Halfgeleidermaterialen, technische keramiek (samen met TUE, in het CTK) Produktontwikkeling Membranen, milieu-aspecten Technische keramiek Vliegtuigmaterialen, ruimte-instrumentatie Bioplastics	TNO plm. 300 50 (CTK) - - -
<u>INDUSTRIËLE R&D</u> Philips (NatLab, CFT, CCP) Stork FDO, Hoogovens, Billiton Fokker Avebe Cordis Océ Nedcar, VDT DSM, GE Plastics, Akzo Nobel, Shell, Dow KEMA	Halfgeleiders, fabricagetechnologie, technische keramiek, elektrokeramiek Metalen/aluminiumlegeringen Vliegtuigbouw Zetmeelplastics Biomaterialen Apparaatgericht Automotive Functionele polymeren, katalysatoren Corrosie, elektrische geleiding	onbekend: veelal geïntegreerd in produktgerichte R&D-budgetten
<u>OVERIG</u> Stichting PTN	Tweede fase opleiding, onderzoeksafstemming	-

2.1.2 Universitair onderzoek

Materiaalkunde is door de bank genomen in elke universiteit met een bèta-faculteit aanwezig. Tabel 3 noemt de belangrijkste onderzoekscholen en trekkers. Daarnaast vindt materiaalonderzoek plaats op meer gespecialiseerde terreinen in onderzoekscholen als MESA (micro-elektronica, UT). De hiernavolgende universiteiten hebben evenwel een trekkende rol op het gebied van materiaaltechnologie, doordat ze penvoerder zijn van een onderzoekschool op dit gebied of een groot onderzoekscentrum herbergen. In het Hoger Onderwijs- en Onderzoek Plan 1994 is materiaalonderzoek tot prioriteit voor het universitaire onderzoek verklaard met als streven een uitbreiding van de onderzoekcapaciteit met 20 Mf per jaar.

TU Delft. Het onderzoek op het gebied van metaalkunde was in Delft georganiseerd in het interfacultaire Laboratorium voor Metaalkunde, dat nu is ondergebracht bij de faculteit Scheikundige Technologie en Materiaalkunde (STM). De TU Delft trekt de onderzoekschool MIDEG (materiaaltechnologie), neemt deel aan de onderzoekschool Polymeren PTN en heeft in bepaalde toepassingsmarkten een sterke reputatie in materiaalonderzoek, met name op het gebied van lichte constructies, composietmaterialen en hechtingstechnologie (Faculteit Lucht- en Ruimtevaarttechniek). Op het vlak van vliegtuigconstructies wordt samengewerkt met het NLR en Fokker. Op het vlak van functionele polymeren en corrosiepreventie werkt de faculteit STM samen met het TNO-KRI/BC. Daarnaast wordt onderzoek verricht naar nieuwe bouwmaterialen en materiaalgedrag in constructies aan de faculteit Civiele Techniek. Het aldaar verrichte onderzoek valt onder de onderzoekschool Bouw (zie verder technologiegebied 14. Civiele Technologie).

De *Universiteit Twente* is penvoerder van drie onderzoekscholen (CMO, SCT, BMSE). Onderzoek is gericht op onder andere de ontwikkeling van organische biomaterialen, membraantechnologie en gedrag van grenslagen (faculteit Chemische Technologie) en op materialen ten behoeve van halfgeleidertechnologie: dunne-lagenfysica en supergeleiding bij lage-temperaturen (faculteit Technische Natuurkunde). Tevens is de UT betrokken bij het PTN-netwerk via werktuigbouwkunde (ontwerpen in kunststoffen). In de onderzoekschool MESA is voorts het materiaalonderzoek ten behoeve van micro-elektronica ondergebracht (onder meer sensoren en actuatoren).

De *TU Eindhoven* is penvoerder vanuit de faculteit Scheikundige Technologie van de onderzoekschool Polymeren, die weer nauw verbonden is met de Stichting Polymeer Technologie Nederland (PTN). Aan deze onderzoekschool nemen ook de TUD, RUG, RUL, UT en LUW deel. Aandacht gaat vooral uit naar modellering van polymeergedrag in be- en verwerkingsprocessen. Bij de andere faculteiten (Werktuigbouwkunde, Bouwkunde) is het materiaalonderzoek niet gebundeld. Wel wordt met de vestiging van TNO-TPD in Eindhoven samengewerkt in het Centrum voor Technische Keramiek (CTK, 50 FTE), op ondermeer geavanceerde keramiek, klassieke keramiek en glastechnologie.

De *Universiteit Utrecht* is penvoerder vanuit de fysisch-kristallografische invalshoek van de Debye-onderzoeksschool, opgericht in nauwe samenwerking met het FOM-instituut AMOLF. Aandachtsgebieden zijn lasertechnologie, instrumentatie, dunnelaag micro-structuren, materiaalkunde in relatie tot energietechnologie.

De *Katholieke Universiteit Nijmegen* heeft het materiaalonderzoek rondom onder andere vaste-stoffysica ondergebracht in de onderzoeksschool RIM. Aandachtsgebieden zijn dunne lagen, materiaaleigenschappen bij fase-overgangen, supergeleiding, instrumentatie en magnetisme. Samenwerking vindt plaats op het gebied van halfgeleideroppervlakken met onder andere Philips, divisie Componenten en ontwikkeling van zonnecellen en vaste-stoflasers.

De *RU Groningen* beschikt over de onderzoeksschool MSC (Materials Science Centre), hetgeen een voortzetting is van een voorwaardelijk gefinancierd onderzoekprogramma op dit terrein vanuit de afdelingen natuur- en scheikunde, en farmacie. Onderzoek met name gericht op fysisch-chemische eigenschappen en de structuur van (bio)materialen, met een brede optiek van micro- tot macroscopisch. Beheersing van het materiaalgedrag voor technische toepassingen en innovaties maken deel uit van onderzoekprogramma.

Opvallend bij de onderzoeksscholen is de splitsing tussen 1-universiteitscentra (MSC, RIM) en de scholen waarin verschillende universiteiten of onderzoeksinstituten participeren (PTN, Debye, MIDEG).

In totaal wordt aan universiteiten en onderzoeksinstituten ruim 2.000 mensjaren besteed aan materiaalkundig onderzoek. De onderzoeksscholen aan de universiteiten bundelen hiervan nu meer dan 600 fte (tijdelijk personeel en vaste staf; inclusief MIDEG). Jaarlijks studeren circa 500 academici af op een materiaalkundig onderwerp, waarvan 70 % aan één van de technische universiteiten. Overigens vindt ook op HBO-niveau activiteit plaats, met name in het Post-Tertiair Onderwijs (PTO).

2.1.3 Fundamentele instituten

De NWO-stichtingen FOM (natuurkunde) en SON (scheikunde) zijn actief op het gebied van materiaalonderzoek. Zij participeren - naast STW - in een omvangrijk door NWO gestart materiaalonderzoekprogramma, medegefinancierd door OC&W en EZ. Het FOM-instituut AMOLF voert onderzoek uit op terreinen zoals katalytische materialen, oppervlakteverschijnselen en moleculaire materialen.

2.1.4 Instituten voor toegepast onderzoek (TNO, GTI's, departementale instituten)

Bij TNO wordt met ingang van 1996 het industriële materialenonderzoek gebundeld binnen het nieuwe instituut TNO Industrie, waarin TNO Metaalinstituut, TNO Produktcentrum en TNO Kunststoffen en Rubber Instituut/Branche Centra (KRI/BC) opgaan. Hiernaast wordt materiaalonderzoek verricht met name door TPD, MEP en ook FEL. Van de TNO-marktomzet voor materiaaltechnologie wordt circa 50 % direct door bedrijven gefinancierd. Hieronder valt evenwel veel produkt- en schadebeoordelingsonderzoek. Daarnaast wordt een kwart door (collectieven van) bedrijven aangestuurd, terwijl de financiering door of via derden plaats vindt. Het budget voor strategisch materiaalonderzoek uit de TNO-doelsubsidie afkomstig van EZ bedraagt ongeveer Mf 9. Er zijn zes generieke thema's binnen het materialenonderzoek van TNO:

- Functionele materialen, met name functionele polymeren, onder andere geleidende polymeren.
- Oppervlaktemodificatie en coatings.
- Fabricage en verwerking van metalen, polymeren, klassieke materialen, met veel aandacht voor modellering van materiaalgedrag tijdens processen.
- Materialen en milieu.
- Composieten en nieuwe materialenontwikkeling; met name vezelversterkte kunststoffen.
- Construeren en ontwerpen.

TNO participeert relatief veel in projecten van de IOP-programma's en het PBTS Materiaaltechnologie alsmede Europese programma's zoals Brite-Euram. Er is veel samenwerking met genoemde universitaire onderzoeksgroepen.

Voor wat betreft de GTI's zijn vooral het ECN en het NLR actief op het terrein van materiaalonderzoek. Het *Energie-onderzoek Centrum Nederland* verricht materiaalonderzoek onder meer op het vlak van technische keramiek. De activiteiten van het door OC&W gesteunde Nationaal Keramisch Atelier zijn hierin opgegaan. Voorts wordt onderzoek verricht naar hoge temperatuur materialen (Joint Research Centre, Petten). Het *Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium* ontwikkelt en test materialen die worden gebruikt in de vliegtuigbouw en ruimte-instrumentatie. Ook composietmaterialen voor de wieken van windturbines worden hier onderzocht.

Het *Agrotechnologisch Onderzoeksinstituut* van de Dienst Landbouwkundig Onderzoek (ATO-DLO) van het ministerie van LNV is, gesteund door het Agrificatie-programma, bezig met het ontwikkelen van industriële toepassingen voor landbouwgewassen. Op het vlak van zetmeelplastics en hennepvezels wordt goede vooruitgang geboekt.

2.1.5 Industrie

Concerns zoals Shell, DSM, GE, Dow, Akzo Nobel, Hoogovens, Stork en Philips hebben eigen research-faciliteiten op het vlak van materialenonderzoek. De aandachtsgebieden zijn verschillend van aard. De kunststofchemie-bedrijven hebben hun onderzoek ondermeer gericht op het opwaarderen van de materiaaleigenschappen van bulkpolymeren. De trend naar steeds meer nieuwe soorten plastics wordt hierdoor enigszins omgebogen. Een tweede belangrijk onderzoeksthema is het milieu: thermische recycling en hergebruik van produkt- en materiaalafval. Verschillende bedrijven werken voorts aan processen voor materiaalbewerking (Hoogovens), materiaalsubstitutie en -aanpassing ten behoeve van transportmiddelen (Fokker, NedCar) of materiaalkeuze voor procesinstallaties (de procesindustrie). Materialenonderzoek ten behoeve van halfgeleidertechnologie voor ondermeer consumentenelektronica en communicatietechnologie wordt verricht vooral bij Philips en, in veel mindere mate, Akzo Nobel, voor een deel in samenwerking met onderzoeksscholen als MESA in Twente en DIMES in Delft. Op het gebied van materiaalbewerking wordt veel R&D verricht (op een gebied als lassen bijvoorbeeld door Smit-Weld, Philarc).

Er is een trend waarneembaar dat meer contract-onderzoek door de grote research-labs (Philips Centrum voor Fabricage Technologie, Philips Competence Center Plastics, Hoogovens-ETS, DSM) voor derden wordt uitgevoerd, waarmee zij dus opschuiven in de richting van de publieke onderzoeksinstituten en ingenieursbureaus. Aanknopingspunten hier zijn de externe commercialisatie van voornamelijk fabricagetechnieken die voor interne doeleinden zijn ontwikkeld.

De *KEMA* is als onderzoeksinstituut van de elektriciteitsbedrijven gespecialiseerd in materiaaltoepassingen in de elektriciteitsvoorziening en verricht vanuit die invalshoek onderzoek op het gebied van corrosie en kunststoffen en ook in hoge temperatuur materialen.

Tot slot wordt de kennis van materiaaleigenschappen en maakbaarheidsaspecten in toenemende mate geïntegreerd in produkt(ie)simulatie-software, die door industrieel ontwerpbureaus wordt aangeboden. Bijvoorbeeld Van Dijk/ Eger/Associates en BPO.

2.1.6 Overig (branche-organisaties, intermediairs)

Het enige specifiek op materiaaltechnologie gericht collectief is *de Bond voor Materialenkennis* (BvM). Deze organisatie met een federatief karakter bestaat uit materiaalkundigen uit bedrijven en onderzoeksinstituten en is verdeeld in secties en verenigingen op circa 15 aandachtsgebieden, zowel materiaalgericht (sectie Kunststoffen en Rubber, Metalen, Papier en Druk, Verf), aspectgericht (Geluid, Corrosie) als op nieuwe technieken (Lasertechnologie). De activiteiten van de BvM zijn primair

gericht op kennisoverdracht in expert-netwerken en aan geïnteresseerden via lezingen, workshops en exposities. De organisatie verenigt echter geen bedrijven.

Op het terrein van het metaalonderzoek beogen enkele grote industriële bedrijven in het *Industrieel Platform Metalen* (IPM) onderzoeksprioriteiten vast te stellen en kennislacunes onder de aandacht te brengen van het onderzoeksbestel. Het Projectbureau voor Materiaal- en Produktietechnologie (PMP), waarin partijen zoals TNO en NIL samenwerken, voert onderzoeksprojecten uit ten behoeve van de kleine en middelgrote industrie.

Op het terrein van polymeren is, vanuit de onderzoekswereld, de *Stichting PTN* actief (TU's, RUG, TNO-KRI). Ook hier worden onderzoeksinspanningen gecoördineerd en overlegd met de grotere kunststof- en verfproducenten. In haar Adviesraad hebben alle belangrijke bedrijven zitting op het gebied van kunststoffen. De stichting richt zich ook op 2e fase onderwijs op post-HBO en post-universitair niveau door opleidingen tot bijvoorbeeld register-polymeertechnoloog, coatingtechnoloog.

EZ heeft voorts de oprichting van *Branche-Technologie-Centra* (BTC's) ondersteund om de kennisoverdracht van en naar branches te versterken.

Voor het overige wordt teruggevallen op de activiteiten van de diverse materiaalgeoriënteerde branche-organisaties, zoals de NFK in de kunststoffensector en de FME, CWM en Metaalunie in de metalektro. In deze organisaties is materiaaltechnologie slechts één van de (vele) aandachtspunten.

2.1.7 Stimulering van onderzoek en technologie

Het gebied van de materiaaltechnologie kent een relatief lange staat van beleidsaandacht en stimuleringsmaatregelen door de overheid. Tussen 1986 en 1991 heeft de Adviesgroep Materialen (AGM) het belang van materiaaltechnologie verkend en acties rondom kennisoverdracht, institutionele verankering en onderwijsvernieuwing opgezet. In sterke mate is dit gebeurd via het stimuleringsbeleid van de ministeries van Onderwijs & Wetenschappen en Economische Zaken. OC&W steunde vooral de intensivering van materialenonderzoek aan de universiteiten, NWO en GTI's en ontwikkeling van specifieke materiaaltechnologie-modules in het technisch HBO. EZ heeft inmiddels door middel van het nationale programma Materiaaltechnologie meer dan 0,5 miljard gulden geïnvesteerd in kennisontwikkeling. Daarvan is het PBTS-programma Materiaaltechnologie de belangrijkste component voor toegepast onderzoek. In het PBTS-MT werd gemiddeld f 40 miljoen besteed aan toegepast materialenonderzoek door bedrijven. In 1993 bestond 70 % van de aanvragers uit MKB-bedrijven. Het aantal aanvragen is sinds 1987 bijna verdubbeld tot 230 in 1993.

Het strategische materialenonderzoek is vooral gestimuleerd door de verschillende IOP-programma's in dit gebied. Het gaat om:

- *IOP Technische Keramiek*. Looptijd: 1985-1995. Omvang: Mf 29,6. Thema's: poedertechnologie, vormgeving, ontwerp/constructie, verbindingstechnologie en deklagen.
- *IOP Polymere Composieten en Bijzondere Polymeren*. Looptijd: 1985-1994. Omvang: Mf 30. Topics: spuitgieten, hechting van vezels/matrices in composieten, RTM-techniek, rubbertechnologie, niet-lineaire optische polymeren, elektrisch actieve polymeren en vloeibaar-kristallijne polymeren.
- *IOP Metalen*. Looptijd: (I) 1988-1994 (II) -1998. Omvang: Mf 32. Topics: eerste fase: plaatbewerking, oppervlaktetechnologie, verbindingstechnieken en poedermetallurgie. Tweede fase: plaatbewerking.
- *IOP Oppervlaktetechnologie*. Looptijd: 1993-1997. Omvang: Mf 15. Thema's: ondergrond staal (constructies, machinebouw), ondergrond aluminium (toepassingen in bouw en transportindustrie) en ondergrond kunststof(elektro-/ optische eigenschappen).

Daarenboven is materialenonderzoek ook een belangrijke component geweest in het IOP Recycling (ontmanteling, herkenning, herverwerking), het IOP Membraantechnologie, het IOP Verf (coatings) en het IOP Opto-elektronica (opto-elektronische materialen).

Binnen het 2-de geldstroomonderzoek heeft STW relatief veel geld geïnvesteerd in materiaaltechnologie: in 1993/1994 circa 20 % (10,3 Mf, 112 mensjaren) van het totale budget. Ook bij de andere natuurwetenschappelijke stichtingen van NWO (FOM, SON) is de aandacht voor materialenonderzoek versterkt. NWO heeft sinds 1990 een prioriteitsprogramma op dit terrein (circa 2 Mf per jaar). Een breed opgezet Stimuleringsprogramma, waarin OC&W, EZ en de NWO-stichtingen FOM, SON en STW participeren, is van start gegaan. De omvang ervan bedraagt bijna 70 mln voor 5 jaar, met inbegrip van IOP-middelen ten behoeve van 'Computational Materials Science'.

De IOP- en PBTS-programma's en de kennisintensivering van OC&W hebben sterk bijgedragen tot een betere institutionele verankering van de kennisuitwisseling op het gebied van de materiaaltechnologie. Zo zijn in de afgelopen jaren de eerder genoemde Stichting Polymeertechnologie Nederland (PTN) en het Industrieel Platform Metalen ontstaan.

Vermeldenswaard is dat de Innovatiecentra in 1991 een platform Materiaaltechnologie hebben ingesteld. Innovatiecentra zijn in enkele regio's actief in zogenaamde 'Materialenkringen', waarin bedrijven ervaringen uitwisselen.

2.2 Relatienetwerken

Er bestaat een aantal relatienetwerken, van verschillende aard en doelstelling. Tabel 4 geeft een overzicht. Rond de IOP's zijn de afgelopen jaren nieuwe netwerken ontstaan op het gebied van onderzoek waarbij universiteiten, bedrijven en kenniscentra hebben samengewerkt. Alle kennisinstellingen onderhouden intensieve externe relaties.¹

Tabel 4. Relatienetwerken Materiaaltechnologie

KADER	RELATIENETWERKEN
IOP Oppervlaktetechnologie	TU's, TNO, ECN, diverse bedrijven (o.a. DSM, Fokker, Hoogovens, Océ, Reynolds Aluminium, Stork-FDO)
IOP Polymere Composieten	FOM-AMOLF, KUN, LUW, RUG, RUL, TNO-KRI/BC, TNO-TPD, TUE, UT, RUU
IOP Metalen	TUD, TUE, TUE, FOM-AMOLF, FME, Fokker, Hoogovens, TNO Metaalinstituut, NLR
STW	Netwerken van universitaire instellingen en bedrijven rond projecten
Stichting PTN	TUE plus TUD, UT, RUL, LUW, RUG, TNO KRI/BC. Tevens opleiding tot registerpolymeertechnoloog
Projectbureau Materialen en productietechnieken (PMP)	AluCentrum, Bond voor Materialenkennis, Stichting Kwaliteitstoezicht en Non-destructief Onderzoek, Nederlands Corrosiecentrum, Nederlands Instituut voor Lastechniek, FME, CWM, TNO
Branchetechnologiecentra	Metaalunie, FME/CWM, VNCI
Industrieel Platform Metalen	Grote metaalverwerkende bedrijven (trekkers Hoogovens, Fokker, Philips)
SCOM	Collectief onderzoek op het gebied van metaal (fabricage-, productie- en materiaaltechnologie)
Bond voor Materialenkennis (BvM)	Federaties van secties en verenigingen op het vlak van warmtebehandeling, corrosie, metalen, oppervlaktetechnologie, kunststoffen, coatings, verf, hechting, geluid en milieutechniek, lasertechnologie.

¹ Uit een op basis van publikatiegegevens uitgevoerd onderzoek van CWTS (1995) dat overigens sterk op de fundamentele aspecten van materiaalkunde was gericht blijkt dat het netwerk van kenniscentra een relatief hechte structuur vertoont met een duidelijk herkenbare kern van universiteiten, bedrijven en ook overige publieke kennisinstellingen. De kern wordt gevormd door Philips en DSM, voorts een achttal universiteiten (TUD, TUE, UT, RUL, UvA, RUG, KUN, UU) en twee publieke kenniscentra (FOM, ECN).

3. Evaluatie onderzoeksinfrastructuur

In zijn eindrapportage uit 1991 constateerde de Adviesgroep Materialen (AGM) enkele knelpunten omtrent het materiaalkundig onderzoek die nog steeds grotendeels gelden. Zo is de verhouding publiek en privaat materialenonderzoek te scheef ten nadele van de publieke kennisopbouw. Deze wordt nu enigszins rechtgetrokken door de IOP-gelden, het NWO Stimuleringsprogramma (onlangs gestart) en door de prioriteitsstelling in het HOOP 1994. Het universitaire onderzoek is echter nog sterk gericht op enkel materiaaleigenschappen, systeemeigenschappen (vanuit disciplines) dan wel maakbaarheid. De multidisciplinaire slag naar concrete produkttoepassingen en daarmee de interesse van bedrijven is daarmee nog steeds groot.

Wel blijkt uit publikatieonderzoek van CWTS (1995) dat Nederland zeker op het fundamentele terrein van materiaalonderzoek sterke kenniscentra heeft. Sterke instellingen - op grond van publikaties - zijn bijvoorbeeld de UvA (*thermal properties of condensed matter*), Philips - dat ook in sterke mate samenwerkt met andere instellingen - en de drie TU's (*materials science*). Binnen de universitaire sector is de TUD de meest actief publicerende instelling.

Ondanks de bundeling van het materialenonderzoek op de diverse universiteiten in onderzoeksscholen kan de onderlinge afstemming van het materialenonderzoek verder worden verbeterd. De sturing via afzonderlijke IOP-programma's in plaats van via twee of drie grote velden (bijvoorbeeld Polymeren, Metalen/legeringen, eventueel Keramiek/glas) bevordert mogelijk het voortbestaan van versnippering. De laatste jaren is de vorming van netwerken verder voortgeschreden. De genoemde centra voor materiaaltechnologie hebben alle nauwe relaties met het bedrijfsleven. Externe experts hebben zitting in adviesraden, maar er zijn ook relaties door samenwerkingsprojecten en -programma's. Sterke netwerken zijn gevormd rond de IOP's en de door STW gefinancierde projecten. Platforms zoals de Stichting PTN, het IPM en de Bond voor Materialenkennis vervullen een belangrijke functie in het vaststellen van kennislacunes, en het bevorderen van afstemming, kennisoverdracht en samenwerking van onderzoeksgroepen onderling en met het bedrijfsleven.

Bronnen

Advies Groep Materialen, Eindrapportage (1991).

Bond voor Materialenkennis, '*Kunststoffen uit de Kunst of uit de Gunst?*', Zwijndrecht (1993)

CWTS, *'Actoren in de wisselwerking tussen wetenschap en technologie: Nederlandse technologiegerichte kennisnetwerken op het gebied van milieutechnologie, procestech- nologie en materiaaltechnologie'*. Concept (1995).

Ministerie van Economische Zaken, *'Materiaaltechnologie in Nederland'*, brochure (1992)

Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen, *'Beleidsrapportage n.a.v. eindrapport AGM'*, Zoetermeer (1993)

Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen, *'Wetenschapsbudget 1995'*, Zoetermeer (1995)

Senter, *'IOP-Metalen Meerjarenplan 1994-1998'*, Den Haag (1994)

Senter, *'IOP-programma-omschrijvingen'* (1990-1994)



2. Procestechnologie



1. Omschrijving technologiegebied

1.1 Technologiegebied, disciplines

Procestechnologie is een belangrijke technologie met een integrerend karakter (materiekennis, proceskennis, modelbouw etc). Een rapport van de KNAW-commissie ACCENT¹ onderscheidde vijf belangrijke aandachtsgebieden, die tezamen de basis vormen voor het vakgebied procestechnologie (zie ook Tabel 1): fysische technologie van stof-, warmte- en impulsoverdracht; scheidingstechnologie; apparaatkunde (grensgebied met de werktuigbouwkunde); chemische reactorkunde; procesintegratie en -ontwikkeling.

Tabel 1. Procestechnologie: disciplines, technologie, toepassingen

DISCIPLINES	TECHNOLOGIEËN	TOEPASSINGEN
Meet- en regeltheorie; procesoptimalisatie-methoden Materiaalkunde Dynamica van chemische processen Katalyse Scheidingssystemen Fysische transportverschijnselen Thermodynamica Polymeren Stromingsverschijnselen	Proceskunde (met name procesontwerp) Scheidingstechnologie Apparaatontwerp (reactoren, kolommen etc.) Modellering van dynamische processen Procesbeheersing en -sturing Unit operations; opschaling Sensoren en actuatoren Computational modelling (molecular modelling, computational chemistry, flowsheeting, simulatie) Bioprocestechnologie	Produktsynthese Optimaliseren en bewaken - van continue processen (chemie, voeding etc) Ontwikkelen van energiezuinige, veilige en milieuvriendelijke processen Zuivering gassen en vloeistoffen Betere benutting grondstoffen

Een aantal belangrijke trends in de industrie en in de onderzoekswereld doet zich voor rond procesontwikkeling, grondstofgebruik en procesintegratie. Op het gebied van *grondstofgebruik* worden in toenemende mate grondstoffen aangewend die zijn geselecteerd op toegevoegde waarde, milieuverdienste en energieaspecten. Op het gebied van *procesintegratie* staat het integreren van energieaspecten, milieuaspecten en economische aspecten van productieprocessen in toenemende mate in de belangstelling. Van belang is bijvoorbeeld het integreren van energieopwekking en procesindustrie. De procesindustrie verzorgt steeds meer haar eigen energiebehoefte

¹ KNAW-rapportage ACCENT (1987), 'Scheikundig universitair onderzoek in Nederland in de jaren tachtig'.

terwijl de elektriciteitsproducenten meer processen introduceren om hun restwarmte te benutten. Ook grote energieverbruikende bedrijven besteden steeds meer aandacht aan de benutting van restwarmte. Voor wat betreft *procesontwikkeling* is de aandacht gericht op het ontwikkelen van zeer selectieve, hoogrenderende, milieuvriendelijke en energiezuinige productieprocessen (bijvoorbeeld scheiding integreren met warmtewisseling; het integreren van chemische omzettingen verbeteren door toepassing van scheidingstechnologie zodat een hoger rendement en lager energieverbruik mogelijk wordt); optimaal procesontwerp; en de integratie van kennisgebieden zoals katalyse, transportverschijnselen, scheidingstechnologie, proces- en apparaatontwerp en procesbeheersing ten behoeve van selectieve, energiezuinige en milieuvriendelijke processen.. Van belang is ook de trend naar 'precision process technology': van standaard apparaten naar tailor-made oplossingen, soms te bereiken onder extreme condities.

1.2 Samenhang met andere technologiegebieden

Voor het realiseren van nieuwe producten of procesroutes is integratie van vele disciplines, technologieën en toepassingsgebieden essentieel. Tabel 1 maakt duidelijk dat vanuit een groot aantal disciplines en technologiegebieden een bijdrage geleverd wordt aan de verdere ontwikkeling van het gebied procestechnologie.

Tabel 2. *Relaties procestechnologie met andere besproken technologiegebieden*

TECHNOLOGIEGEBIED	SAMENHANG MET PROCESTECHNOLOGIE
Materiaaltechnologie	Productie van materialen
Katalyse	Katalysatoren in procesindustrie
Computational modelling & Simulation	Processimulatie, flowsheeting als instrument voor procesontwerp
Biotechnologie	Bioprocestechnologie
Voedingsmiddelentechnologie	Apparatenbouw, onderhoudstechnologie
Informatie- / communicatietechnologie	Systemen voor (decentrale) procescontrole en -besturing, interactieve mens-computer systemen
Milieutechnologie	Schone processen, procesintegratie
Medische Technologie	Processen voor de farmaceutische Industrie
Energietechnologie	Processen zoals vergassing en verbranding; procesintegratie

De belangrijkste relaties met de andere in dit rapport besproken technologiegebieden betreffen biotechnologie, milieutechnologie, energietechnologie, katalyse, materiaal-technologie en computer aided modelling (Tabel 2). Op onderzoeksniveau is reeds de koppeling tussen procestechnologie en katalyse terug te vinden in de nauwe verwevenheid van de beide onderzoekscholen OSPT en NIOK.

1.3 Belang van het technologiegebied

Procestechnologie is een kerntechnologie in economisch belangrijke sectoren zoals de chemie (produktiewaarde 55 mrd), de aardolie (25 mrd) en voeding (produktiewaarde 64 mrd). Daarnaast is het een belangrijke technologie op het gebied van energie (bijvoorbeeld kolenvergassing, conversieprocessen) en milieu (primaire processen, end-of-pipe oplossingen en recycling). De Nederlandse chemie is sterk in basischemie, een positie die alleen behouden kan blijven bij voortdurende procesvernieuwing en -verbetering. Op dit terrein doen zich ook vele belangrijke nieuwe ontwikkelingen voor. Het TCO-rapport 'Toekomstig Chemisch Onderzoek' (1994) rangschikt het gebied procestechnologie onder de 5 belangrijkste thema's voor de toekomst. In Nederland gevestigde grote chemische industrie (Shell, Unilever, AKZO-Nobel, DSM, Dow, GE) met een besteding aan R&D van jaarlijks 2 mld voert belangrijke R&D uit op dit gebied. De Stichting voor de Technische Wetenschappen STW ziet het als één der 13 gebieden met hoge prioriteit. Procestechnologie is van groot belang bij ontwikkeling van milieuvriendelijke processen en bij zuivering van gassen en vloeistoffen. Illustratief is de aanwezigheid van belangrijke items in Europese onderzoeksprogramma's zoals energiebesparing (Joule, Thermie), afvalstromen (Life) en procesintegratie.

2. De onderzoeksinfrastructuur

2.1 Actoren in de onderzoeksinfrastructuur

2.1.1 Algemeen

Het Nederlandse procestechnologische onderzoek (Tabel 3) kan verdeeld worden in:

- Universitair onderzoek, met name in de TUD, TUE en UT. Van belang is met name de bundeling van onderzoek binnen de Onderzoekschool Procestechnologie (OSPT).
- Het onderzoek binnen de instituten voor toegepast onderzoek: TNO en GTI's (met name ECN, WL) met zwaartepunten op energie- en milieutoepassingen, alsmede ATO-DLO op het gebied van bioprocessen en voeding.

- Het industriële onderzoek; met name verricht door de grote chemische industrie, voorts betreft het ook onderzoek voor specifieke collectieven (voor de zuivel: NIZO).

Tabel 3. *Onderzoeksinfrastructuur Procestechnologie*

CENTRA	ACCENTEN	FTE'S (incl. AIO'S)
UNIVERSITAIR		
<i>Onderzoekscholen:</i>		<i>Totaal plm. 800</i>
OSPT (UT)	Procestechnologie	264
NIOK (TUE)	Katalyse	96
PTN (TUE)	Polymeren	49
J.M. Burgers Centrum (TUD)	Stromingen	123
BSDL (TUD)	Bioprocestechnologie	156
VLAG (LUW)	Food technology	105
TOEGEPAST		
TNO-MEP	Procesintegratie, energie, milieu, membraanscheiding	250 (MEP)
TNO-KRI/BC	Membraanontwikkeling	-
TNO-TPD-TU Delft	Stromingsdynamica, procesmodellen	-
TNO Voeding	Voedingstechnologie, sensoren, biokatalyse	-
ECN	Optimalisering energieprocessen, gasscheiding, conversie, membranen	-
WL	Stromingsleer, industriële hydrodynamica	-
ATO-DLO	(Bio-)procestechnologie voedingssector	-
INDUSTRIE		
Shell	Olie, polymeren	onbekend
Esso	Olie	
DSM	Olie, polymeren	
Dow Chemical	Olie, polymeren	
Gist Brocades	Bioprocessen	
Organon	Bioprocessen	
Unilever	Bioprocessen	
AKZO	Polymeren	
Comprimo	Engineering	
KEMA	Engineering	
NIZO	Zuivel	

2.1.2 Universitair onderzoek

Centrale onderzoekschool op het gebied van de procestechnologie is de OSPT (OSPT; 213 AIO's en 51 staf) waarin de drie TU's, de RUG, de UvA en de LUW samenwerken. Daarnaast is op het gebied van katalyse van groot belang de onderzoekschool NIOK (96 FTE's incl. AIO's). Ook binnen de onderzoekscholen J.M. Burgerscentrum

voor Stromingsleer (123 FTE's), PTN (polymeertechnologie; 49 FTE's), BSDL (biotechnologie, met name de bioprocestechnologie), en VLAG (food technology) wordt procestechnologisch onderzoek verricht.

Bijzondere zwaartepunten zijn aanwezig op het gebied van procesintegratie (TUD, UT), scheidingstechnologie (TUD, TUE) en chemische reactorkunde (UT). Belangrijke aandachtsgebieden zijn verder katalyse, fysische technologie, apparatuurkunde en procesontwikkeling. In het universitaire onderzoek zijn twee hoofdstromen te onderkennen.

In de tweede geldstroom gaat het om het chemisch-technologisch relevante onderzoek van de Stichting Technische Wetenschappen (STW) en de Stichting Scheikundig Onderzoek in Nederland (SON). Overigens is het vanwege de manier van rapportage niet eenvoudig een uitsplitsing te maken naar het onderzoek dat als procestechnologisch kan worden getypeerd. Momenteel lopen er binnen het onderzoek van STW geen prioriteitsprogramma's met een bijzondere insteek naar procestechnologie. Het IOP Membraantechnologie, in beheer van STW, werd in 1991 beëindigd. Wel behoort procestechnologie tot de gebieden die duidelijk naar voren komen in STW-jurybeoordelingen. Voor 1993/1994 werd een bedrag van 4.8 mln (van in totaal 60 Mf) ingezet op procestechnologie; op scheidingstechnologie nog eens 3.8 mln en op katalyse 3.4 Mf. Dit onderstreept het belang van procestechnologisch onderzoek.

Bij het verder typeren van het actornetwerk beperken we ons tot de onderzoeksschool procestechnologie (OSPT). In deze onderzoeksschool wordt door zes universiteiten geparticipeerd. Uit het onderstaande overzicht wordt echter duidelijk dat de zwaartepunten te vinden zijn bij de UT, TUD en TUE.

Tabel 4. *Onderzoeksschool Procestechnologie (OSPT)*

UNIVERSITEITEN	AIO's	STAF (FTE)
RUG	18	2.8
UvA	15	6.3
TUD	81	22.8
TUE	42	8.5
UT	55	8.2
LUW	2	1.8

De onderzoeksschool heeft zich ten doel gesteld onderzoek te entameren op alle subgebieden van het vakgebied procestechnologie (zie 1.1). Binnen de eerder genoemde hoofdaandachtsgebieden is gekozen voor de volgende speerpunten.

- A. Introductie van geavanceerde concepten in de fysische transportverschijnselen en de toepassing ervan. Onder andere Maxwell-Stephan beschrijving van meercomponenten transport; beschrijving van gelijktijdig transport van massa, energie en impuls.
- B. Sturing van chemische omzetting door beheersing en manipulatie van massa, impuls en energietransport (beschrijving en nieuwe methoden).
- C. Fysische scheidingen (membranen, drogen, adsorptie, superkritische media, kristallisatie, scheidingen met bijzondere velden (magnetisch en elektrisch), deeltjesscheiding).
- D. Procesintegratie/ -ontwikkeling (inlopen achterstand op deelgebieden, procesdynamica, regeling in procesintegratie).
- E. Inbreng onderzoekschool procestechnologie in multidisciplinair onderzoek (relaties met katalyse, stromingsleer, biotechnologie, levensmiddelentechnologie, polymeertechnologie).

De hierboven genoemde hoofdassen in het onderzoek zijn vervolgens door de onderzoekschool Procestechnologie uitgesplitst naar een gedetailleerde prioriteitenlijst. Deze lijst is hieronder weergegeven (Tabel 5a-5d). Deze lijst is ook voorgelegd aan de GTI's en het bedrijfsleven vertegenwoordigd in de Industriële Raad van de onderzoekschool. De Raad heeft aan de afzonderlijke onderzoeksgebieden een gewenste intensiteitsscore toegekend (de intensiteit loopt op in intensiteit van 1 tot 5 op een 5-punts schaal).

Tabel 5a. Fundamenteel universitair onderzoek

THEMA	INTENSITEIT
Thermodynamics	2
Transport phenomena	2
Reaction kinetics	1
Multiphase flow	1
Computational fluid mechanics	2
Surface, colloidal and interface phenomena	3
Particle technology	3

Tabel 5b. *Universitair onderzoek reactor technologie*

THEMA	INTENSITEIT
Packed beds and multiphase reactors	3
Innovative reactor configurations	4
In-situ separation and reaction	1
Reactors for extreme conditions	3
Polymerization reactors	3
Electrochemical, photochemical and CVD reactors	n.a.
Bioreactors	n.a.
Reactor safety	1
Combustors	1
Expert system for reactor selection	n.a.

Tabel 5c. *Universitair onderzoek scheidingstechnologie*

THEMA	INTENSITEIT
Tradional separations	4
Membrane separations	3
Separations involving dilute mixtures	
Separations involving external fields	1
Scaling-up of analytical separation techniques	
Particle separations	
Innovative separations	4
Expert system for separation process selection	1

Tabel 5d. *Universitair onderzoek procesintegratie*

THEMA	INTENSITEIT
Pilot plant and commercial process plant flowsheeting, simulation and design	5
Expert systems	1

De onderzoekschool OSPT probeert met haar onderzoek nauw aan te sluiten bij de behoeften van de industrie. Het ambitieniveau daarbij is onderzoek van topniveau te realiseren. Het is niet mogelijk gebleken om met één generiek onderzoekprogramma de gehele relevante procesindustrie aan te spreken. Daarom heeft men in nauwe samenspraak met de Industriële raad een grove classificatie in vijf toepassingsgebieden ontwikkeld. Binnen elk van die gebieden bevinden zich bedrijven die in belangrijke mate een gedeelde interesse hebben. De vijf toepassingsgebieden bestaan uit: gebruik en verwerking van olie, nafta en gas; hoge temperatuurprocessen; bioprocestechnologie; polymeren; procesontwerpen. Aan elk van de toepassingsgebieden kunnen een reeks grote bedrijven worden toegerekend, alsmede een reeks onderzoeksgebieden.

2.1.3 Instituten voor toegepast onderzoek (TNO, GTI's, departementale centra)

Binnen TNO is het procestechnologisch onderzoek in enge zin geconcentreerd binnen de instituten *TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie* (TNO-MEP; procestechnologie voor milieu- en energietoepassingen; membraanscheiding), TNO-Kunststoffen en Rubber Instituut/Branche Centra (KRI/BC; procestechnologie voor toepassingen als mengen en extrusie; membraanontwikkeling), TNO-TPD-TU Delft (stromingsdynamica ten behoeve van ontwerp procesinstallaties) en *TNO Voeding* (voedingstechnologie). Belangrijke thema's hangen samen met energie- en milieu-onderzoek (verbrandingstechnologie, procesintegratie, scheiding), en met voedingstechnologie. TNO heeft in het verleden de keuze gemaakt om niet op alle sub-gebieden van de procestechnologie actief te zijn met onderzoek. Anders dan het universitaire onderzoek heeft het zich teruggetrokken op de toepassingsgerichte ontwikkeling van nieuwe, specifieke scheidingsmethoden en de bijbehorende apparatuur. TNO wil de nieuwe scheidingsmethoden vooral toepassen binnen het terrein van de *milieutechnologie*, maar is ook bezig met toepassingen in het energieveld. Binnen het spectrum van de scheidingstechnieken richt men zich vooral op het ontwikkelen van nieuwe technieken binnen de volgende gebieden kristallisatie; membraantechnologie; selectieve scheidingen (ad-/absorptie en extractie).

Het *Waterloopkundig Laboratorium* bezit kennis op het gebied van stromingsleer en industriële hydrodynamica en verricht op dat terrein onderzoek en advies óók voor de procesindustrie. Bij *ECN* vindt procestechnologisch onderzoek plaats in hoofdzaak op het terrein van hoge temperatuur gasscheiding, conversie en keramische membranen. Bij *ATO-DLO* vindt procestechnologisch en biotechnologisch onderzoek plaats op het gebied van voeding.

2.1.4 Industriële R&D

De belangrijkste spelers zijn actief in de *chemische industrie* (Shell, AKZO, DSM, Dow, GE), de voedingsindustrie (o.a. Unilever, zuivelindustrie) en in de *biotechnolo-*

gie-industrie (onder meer Gist-Brocades). Het is in het kader van dit onderzoek niet mogelijk om te achterhalen welke industrieën welke inspanningen (FTE's, R&D-budgetten) leveren op het vlak van procestechnologisch onderzoek. Wel is het mogelijk om aan een vijftal globale toepassingsgebieden de belangrijkste industriële actoren te koppelen (Tabel 6). Voorts vindt op verwante sectoren zoals de voeding/zuivel collectief onderzoek plaats; het *NIZO* is een collectief laboratorium van de zuivelindustrie. Hier vindt onderzoek plaats op het gebied van membraanfiltratie, warmtewisseling en indamping. Ook bij de *KEMA* vindt procestechnologisch getinte research plaats.

Tabel 6. Toepassingsgebieden procestechnologie en relevante actoren

TOEPASSINGSGEBIEDEN	INDUSTRIËLE ACTOREN
Gebruik en verwerking van olie, nafta en gas	Shell, Esso, DSM en Dow
Hoge temperatuurprocessen	Gasunie, Pechiney, Hoogovens, AKZO Zout Chemie, Budelco
Bioprocestechnologie	Unilever, Gist Brocades, Organon
Voedings- en genotsmiddelenindustrie	Nutricia, Gist-Brocades, Unilever
Energiesector	Shell, AKZO, SEP
Polymeren	AKZO, Dow, General Electric Plastics, Du Pont, Shell
Apparatenbouw	Stork, AKF
Procesontwerpen	Grote in Nederland gevestigde ingenieursbureaus zoals Comprimo; grote chemische bedrijven

2.1.5 Stimulering van onderzoek en technologie

Procestechnologie is tot nog toe geen expliciet onderwerp voor technologiestimulering geweest. Het belang van procestechnologie ligt in hoofdzaak bij de grote chemische industrie. Uitzondering was het in 1991 afgesloten IOP Membraantechnologie.

2.2 Relatienetwerken

Anders dan in de ons omringende landen is er in Nederland altijd sprake geweest van een nauwe band tussen het industriële en universitaire onderzoek. Deze band is vooral ontsproten aan persoonsgebonden relaties: veel (deeltijd-) hoogleraren en stafmedewerkers bij universitaire vakgroepen zijn voorheen werkzaam geweest bij grote

Nederlandse bedrijven in de procesindustrie of hebben een omgekeerde weg afgelegd. Deze persoonsgebonden relaties waren in het verleden al een belangrijke basis voor het genereren van een derde geldstroom: universitaire vakgroepen kregen vaak een behoorlijke pot met geld om daar 'leuke dingen' mee te doen. Alles wijst erop dat de kanalisering van het universitaire onderzoek binnen de Onderzoekschool Procestech-nologie logisch voortbouwt op het reeds bestaande relatienetwerk.

Op deelterreinen zijn specifieke relatienetwerken ontwikkeld, zoals op het gebied van industriële kristallisatie door bedrijven, STW en de TU Delft.

In een onderzoek van CWTS (1995) is op basis van publicatie-activiteit nagegaan welke instellingen centrale posities in het netwerk innemen. Hieruit blijkt dat met name de TUD, TUE en de UU spilfuncties innemen, terwijl DSM, LUW, RUG en UT een veel beperktere netwerkfunctie (althans in relatie tot andere kenniscentra) vervullen.

3. Evaluatie onderzoeksinfrastructuur

Van de stand van het industrieel onderzoek en de instituten voor toegepast onderzoek (met uitzondering van TNO) bestaat geen systematisch overzicht. In dit verband zal dan ook vooral nader worden ingegaan op het universitaire onderzoek en het onderzoek dat bij TNO plaatsvindt.²

Voor wat betreft het universitaire onderzoek geldt dat alle vijf genoemde hoofdgebieden bij de verschillende universiteiten vertegenwoordigd zijn. Vanuit de onderzoek-school OSPT bestaan geïstitutionaliseerde samenwerkingen met aanpalende technologiegebieden/disciplines waarvoor afzonderlijke onderzoekscholen zijn opgericht. Een beoordeling is mogelijk van de stand van het procestechnologisch onderzoek op de vijf hoofdgebieden (Tabel 7). Met name transport- en stromings-verschijnselen, hydrodynamica, grensvlakverschijnselen en innovatieve reactoren worden gezien als sterke Nederlandse gebieden.

² In een onderzoek van CWTS (1995) op basis van aantallen publicaties wordt geconcludeerd dat er in slechts weinig deelgebieden van de procestechnologie sprake is van substantiële Nederlandse publicatie-activiteit. Een bovengemiddelde inbreng vindt plaats op terreinen *physical chemistry, ferrous metals, water, en catalysis and reaction kinetics*. Beneden het gemiddelde is de bijdrage in het kerngebied *apparatus and plant equipment*. Sterke instellingen zijn - althans wat betreft de publicatie-maatstaf - op het gebied apparaatontwikkeling de UT en de TUD (en bedrijven als Dow Benelux, Shell, Philips, Stork); op het gebied *unit operations and processes* de TUD, UT en TUE met DSM, Shell, Philips en TNO.

Voor wat betreft de onderzoekschool OSPT is het alleen mogelijk iets te zeggen over de reactie van de Industriële Raad over de door de onderzoekschool geselecteerde gebieden. De belangrijkste conclusies van de Industriële Raad waren de volgende.

Tabel 7. *Beoordeling procestechnologisch onderzoek*

Nr.	AANDACHTSGEBIED	STATUS
1	FYSISCHЕ TECHNOLOGIE VAN STOF-, WARMTE- EN IMPULSOVERDRACHT	Nederland pioniersactiviteiten Nieuwe golf uitstekend Nederlands werk op het gebied van multi-component transport
2	SCHEIDINGSTECHNOLOGIE	Redelijke aandacht. Membranen uitstekend.
3	APPARAATKUNDE	Weinig omvangrijk. Industriële achterland relatief zwak in Nederland.
4	CHEMISCHE REACTORKUNDE	Erkend internationaal zwaartepunt te handhaven.
5	PROCESONTWIKKELING / PROCESINTEGRATIE Procesontwerp, -regeling en -optimalisatie	Redelijk ontwikkeld. Belangrijke achterstand op een aantal onderdelen. Achterstand ten opzichte van industriële ontwikkelingen in zowel onderwijs als onderzoek.
6	OVERIGE ACTIVITEITEN Stromingsleer Polymeertechnologie Katalyse Biotechnologie	Aparte onderzoekschool Aparte onderzoekschool Aparte onderzoekschool Aparte onderzoekschool

Bron: Strategisch plan Onderzoekschool Procestechnologie - UT 1993

- In de lijst van prioriteiten van de onderzoekschool zijn geen belangrijke onderwerpen over het hoofd gezien.
- Beheer en uitbreiding van de basiskennis op een goed (hoog) niveau op vrijwel alle genoemde gebieden wordt als een belangrijke taak van de OSPT aangemerkt. Dit wordt ook als een taak gezien bij een goed opleiding van academici (AIO- en ontwerpersopleidingen).
- Reactor-studies moeten zich blijven richten op innovaties en op werkgebieden waar de omstandigheden complex zijn en de systemen niet eenvoudig te modelleren zijn.
- Geavanceerde scheidingen, maar ook traditionele scheidingen komen frequent in de suggesties van de industrie voor. Speciaal membranen worden als deelgebied meerdere malen genoemd. Procesintegratie wordt ook door de industrie als één van de belangrijkste thema's gezien.

- Product engineering wordt nog weinig aan de Nederlandse universiteiten beoefend en onderwezen, terwijl dit gebied zich naar verwachting sterk zal ontwikkelen.
- De veiligheid- en milieu-aspecten worden primair gezien als een verantwoordelijkheid van de industrie zelf, waarbij moet worden aangetekend dat dit tevens belangrijke opleidingsaspecten zijn. De vraag van de industrie is vooral gericht op vernieuwende concepten en deels op uitbreiding van mogelijkheden van recycling c.q. benutting van afvalstoffen (afvalchemie).
- Het beperkt aantal prioriteiten van de onderzoekschool procestechnologie dat geen sterke weerklank gevonden heeft in vragen vanuit de industrie betreffen deels activiteiten die wel elders in de wereld worden toegepast en deels nieuwe zaken die (nog) niet als potentieel belangrijk worden gezien.

Een externe evaluatie van de *sterkte van TNO* op de eerdere genoemde terreinen is niet beschikbaar. TNO beoordeelt haar eigen positie op het terrein van scheidingstechnologie en kristallisatietechnieken (met name smeltkristallisatie) als sterker dan dat van binnen- en buitenlandse aanbieders (universiteiten en zelfstandige onderzoeksorganisaties). De sterkte ten aanzien van de membraantechnologie doet niet onder voor die van andere aanbieders, maar onderscheidt zich juist door haar toepassingsgerichte karakter.

Bronnen

CWTS, *'Actoren in de wisselwerking tussen wetenschap en technologie: Nederlandse technologiegerichte kennisnetwerken op het gebied van milieutechnologie, procestechnologie en materiaaltechnologie'*. Concept. Auteurs: R.J.W. Tijssen, J.C. Korevaar (1995).

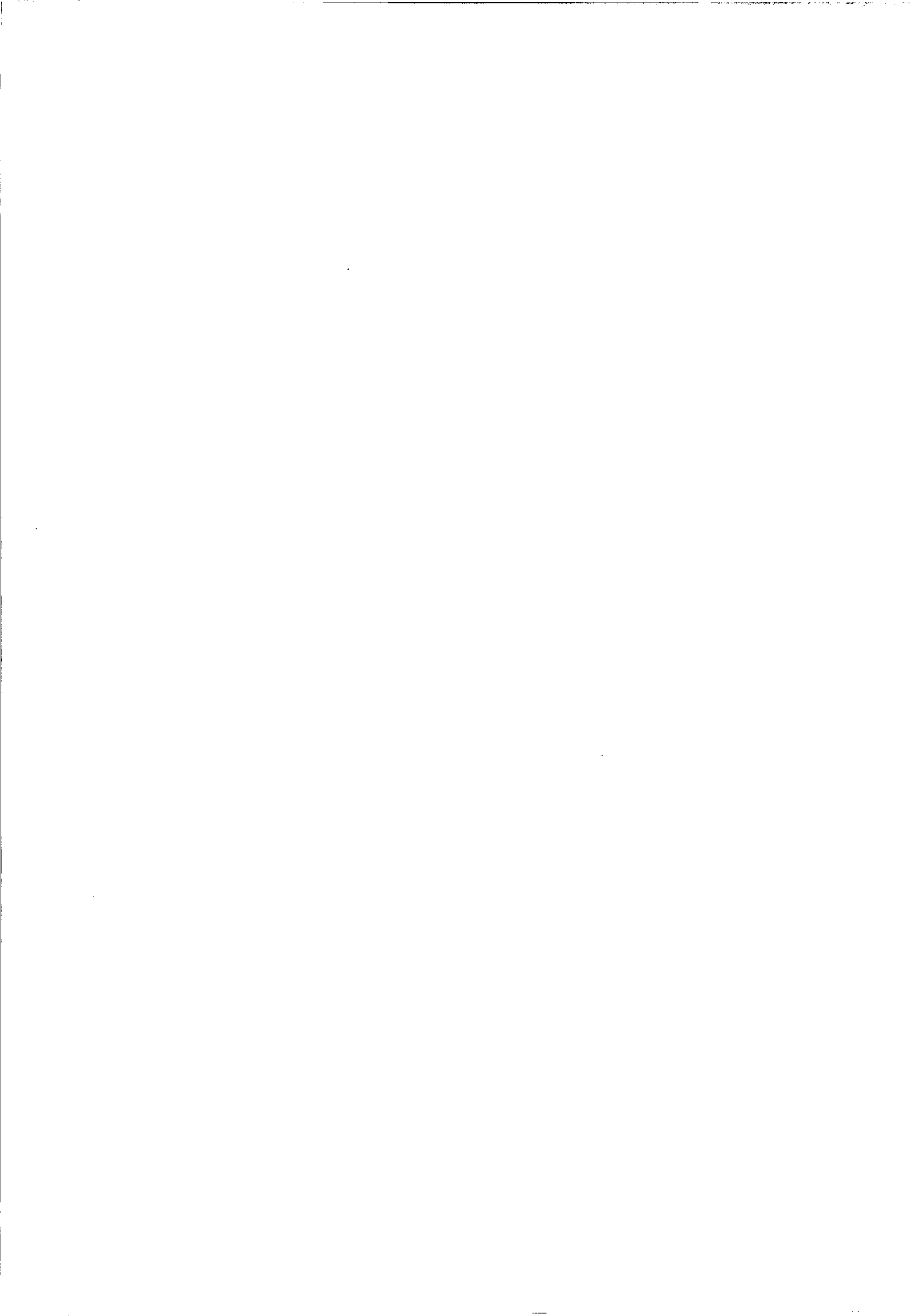
Jaarverslagen van universitaire instellingen, STW, Waterloopkundig Laboratorium etc. (1992, 1993, 1994)

KNCV, VNCI, *'Toekomstig Chemisch Onderzoek. Universitair fundament voor industriële meerwaarde'* (1994).

Onderzoekschool Procestechnologie, *'Strategisch Plan'* (1993).

VSNU, *'BIOS 1994. Research Schools in the Netherlands'* (1994).

3. Katalyse



1. Omschrijving technologiegebied

1.1 Technologiegebied, disciplines

Katalyse is een sterk interdisciplinaire technologiegebied. Op basis van inputs uit verschillende chemische disciplines wordt aan de ontwikkeling van drie groepen technieken gewerkt: heterogene katalyse, homogene katalyse en recenter ook aan biokatalyse. Katalysatoren worden in de chemische industrie ingezet, vooral in de olieraffinage en de basischemie, en ook in de voedingsindustrie (bijvoorbeeld oliën, vetten). Toepassingen in de fijnchemie en farmaceutisch industrie staan nog in de kinderschoenen, maar zijn vanwege milieu-redenen zeer gewenst. Een voorbeeld van een belangrijke toepassing is het gebruik van katalysatoren in de milieutechnologie: in uitlaten van auto's, gericht op het beperken van NOx en CO uit stationaire verbrandingsbronnen. Enzymen worden in de voedings- en genotmiddelenindustrie gebruikt voor productie- of afbraakprocessen van specifieke inhoudstoffen. De belangrijkste markten voor biokatalyse zijn wasmiddelen, zetmeelverwerking en melkproducten.

Tabel 1. *Katalyse: disciplines, technologieën en toepassingen*

DISCIPLINES	TECHNOLOGIEËN	TOEPASSINGEN
organometaalchemie coördinatiechemie organische synthese bio-organische chemie katalytische proceskunde enzymologie microbiologie vastestofchemie en materiaal- kunde; oppervlakten computational chemie molecuulspectroscopie biochemie, bioproceskunde (bio)reactortechnologie	<u>kerngebieden:</u> heterogene katalyse homogene katalyse biokatalyse enzymtechnologie oppervlakteprocessen <u>specifieke processen:</u> oxydatie, emissie, verbran- dingsprocessen, polymerisatie, conversieprocessen, katalyti- sche kraakprocessen	olieraffinage basischemie fijnchemie farmaceutische industrie schone verbranding voedings- en genotmiddelenindustrie milieutechnologie

De milieutechnologie vormt een belangrijke markt voor katalysatoren. De afgelopen 10 jaar zijn de katalysatorsystemen voor het regelen van de uitstoot van verbrandingsmotoren voortdurend verbeterd. Ook de katalytische verbranding van vluchtige organische verbindingen (luchtverontreiniging) is een voorbeeld van het gebruik van katalysatoren. Het veelvuldig gebruik van zware metalen in katalysatoren brengt echter eigen milieuproblemen mee. Milieutechnologische toepassingen vormen de grootste uitdaging voor de katalysetechnologie. Met name voor het zuiveren van verontreinigde

gas- en waterstromen kunnen heterogene katalysatoren die de verontreiniging omzetten in onschadelijke stoffen nuttig zijn. Ook de ontwikkeling van katalytische processen voor de omzetting van gechloreerde en gefluorideerde koolwaterstoffen heeft hoge maatschappelijke en economische prioriteit. Voorbeelden van de toepassingsmogelijkheden van verbeterde en nieuwe katalysatoren zijn de meer selectieve omzetting van aardgas en oliefracties, het maken van nieuwe producten in de petrochemie, de synthese van functionele polymeren, het vervaardigen van chemische specialiteiten, het produceren van chirale (ruimtelijk specifieke) stoffen en de katalytische verbranding in brandstofcellen. De afgelopen jaren is ook grote vooruitgang geboekt op het gebied van katalysatoren voor de olieraffinage, met name voor het afbreken van zware residuen (hydrocracking).

1.2 Samenhang met andere technologiegebieden

Tabel 2 geeft een overzicht van relaties met andere onderzoeksgebieden. Door middel van katalyse kan een hogere en selectievere conversie gerealiseerd worden. Wanneer deze selectievere conversie er op gericht is schadelijke bijproducten te voorkomen is dat een vorm van milieutechnologie. Daarnaast kunnen katalysatoren ook gebruikt worden in processen, die gericht zijn op het schoner maken van afvalstromen. Een relatief nieuw gebied is dat van de biokatalyse, waarbij het gaat om enzymen en micro-organismen. Deze biokatalysatoren hebben het voordeel dat zij zeer selectief en energie-zuinig kunnen werken.

Tabel 2. *Relaties Katalyse met andere besproken technologiegebieden*

TECHNOLOGIEGEBIED	SAMENHANG MET KATALYSE
Materiaaltechnologie	Nieuwe katalytische materialen; oppervlaktetechnologie
Procestecnologie	Toepassing van katalyse in de procestecnologie
Computational modelling	Reken- en simulatietechnieken bij de ontwikkeling van katalysatorsystemen
Biotechnologie	Biokatalyse, enzymen
Milieutechnologie	Vermindering emissies door katalyse; katalysatoren in schoonmaaktechnologie (rookgasreiniging)
Medische Technologie	Katalyse in de farmaceutische industrie
Transporttechnologie en logistiek	Schonere uitlaatgassen door katalysatoren
Voedingsmiddelentechnologie	Productie van oliën en vetten
Energietechnologie	Katalyse bij verbranding/vergassing, ontzwaveling

Een laatste verbinding is het gebruik van simulatietechnieken bij het ontwerp en de ontwikkeling van katalysatorsystemen.

1.3 Belang van het technologiegebied

Katalyse is de hoeksteen van de chemische industrie: 90% van alle chemische processen, voornamelijk in de basischemie, maakt gebruik van katalysatoren. De chemische industrie is verantwoordelijk voor een belangrijk aandeel in de Nederlandse economie. In 1991 bedroeg de omzet van de chemische industrie f 45,5 mrd, waarvan f 43,3 mrd export (inclusief doorvoer) en f 25,9 mrd import en waren er ongeveer 90.000 mensen werkzaam in deze sector. Nederland is ook een belangrijke producent van heterogene katalysatoren (omzet f 500 à 600 mln, op een wereldomzet van \$ 3 mrd). Het gebruik van katalysatoren zal in de toekomst zowel om economische als om milieu-redenen groeien. Katalytische omzettingen bieden een schoon perspectief voor tot nu toe inefficiënte en vervuilende productieprocessen in de fijnchemie en farmaceutische industrie, alhoewel het om kleine hoeveelheden gaat. De belangrijkste groei zal in de milieu- en energiesector optreden: reinigen van uitlaatgassen en vervaardigen van geoxygeneerde brandstoffen. Tenslotte: door de vraag naar 'natuurlijke produkten' zal de toepassing van biokatalysatoren naar verwachting groeien. Deze vinden hun toepassing in de voedings- en genotmiddelensector (zuivel, zetmeelverwerking), maar ook in wasmiddelen, in veevoeders en in toenemende mate in de fijnchemie.

2. De onderzoekinfrastructuur

2.1 Actoren in de onderzoeksinfrastructuur

2.1.1 Algemeen

De Nederlandse kennisinfrastructuur op het gebied van de katalyse is breed en diep; er zijn een groot aantal verschillende actoren bij betrokken (tien universiteiten, een dertigtal bedrijven en zes overige onderzoeksinstituten) en op de kerndisciplines van de katalyse wordt een grote en fundamentele inspanning geleverd. Er is sprake van een sterk netwerk rond met name de onderzoekschool NIOK, STW-activiteiten, het IOP-Katalyse en de SON.

Tabel 3. Overzicht van de universitaire onderzoeksinfrastructuur katalyse

CENTRA	ACCENTEN	FTE'S (incl. AIO's)
UNIVERSITAIR Onderzoekschool: NIOK: TUE (penvoerder), UVA, RUU, RUL, TUD, RUG, UT, SKTN	NIOK: Fijnchemie (TUD) Heterogene katalyse (TUE, RUU, RU Leiden) Homogene katalyse (UVA) Organometaalchemie (UU) Procestechnologie (UT) Buiten NIOK: Organische chemie (KUN, VU) Biokatalyse (LUW)	NIOK: totaal 216 TUD: 43 TUE: 55 UVA: 24 UU: 38 RU Leiden: 23 UT: 19 RUG: 14
FUNDAMENTEEL FOM-SON	Homogene en heterogene katalyse	30
TOEGEPAST (TNO, GTI's): TNO-MEP, TNO-TPD ECN	Verbranding, vergassing Verbranding, vergassing, conversie, ontzwaveling	-
INDUSTRIE Shell, Philips, AKZO, Engel- hard, Purit, Servo, Unilever, Dechema, DSM, Andeno, Dow, Exxon; voorts SEP, KEMA	Activiteit van Shell rond tal van gebieden, met name reactieprocessen, oppervlakteprocessen, verbrandingsprocessen	-
OVERIG KNCV, VNCI		-

2.1.2 Universiteiten, onderzoekscholen

Het universitaire katalyse-onderzoek wordt binnen tien Nederlandse universiteiten uitgevoerd; zie verder Tabel 3. De onderzoekschool NIOK (Nederlands Instituut voor Onderzoek in de Katalyse) met als trekker de TU Eindhoven richt zich op de kerndisciplines heterogene en homogene katalyse en op katalyseprocessen. Deelnemers zijn de TU Eindhoven, Universiteit van Amsterdam, U Utrecht, RU Leiden, TU Delft, RU Groningen, Universiteit Twente en de Stichting Katalyse Nederland. Er zijn momenteel 216 onderzoekers verbonden aan NIOK waarvan 172 promovendi (AIO's) en 44 WP's. De accenten zijn de volgende:

- TU Delft: biokatalyse, chemokatalyse, procestechnologie van katalytische fijnchemische omzettingen;
- TUE: quantumchemisch onderzoek reactiemechanismen, moleculaire dynamica, modellering, katalytische reactieprocessen;
- UVA: liganden, MCA's, metallo-enzymen (biokatalyse);
- U Utrecht: organometaalchemie, polymere dragers van katalysatoren, enzymatische oxydatie, reactiekinetiek, anorganische chemie van katalysatorbereiding;
- RU Groningen: katalytische werking van metaalhybriden bij olefinen, hydrogenering, reactiemechanismen en kinetiek. Katalytische synthese van stereospecifieke verbindingen;
- RU Leiden: heterogene katalysatoren, katalytische werking, reactiemechanismen en kinetiek van metaalcomplexen. gerichtheid op milieuvraagstukken.
- Universiteit Twente: procestechnologie, industriële katalyse.

2.1.2 Fundamentele instituten

Het NWO-SON budget voor katalyse was in 1992 ongeveer 2 Mf, verdeeld over de onderwerpen 'homogene katalyse' en 'katalyse' (30 plaatsen).

2.1.3 Instituten voor toegepast onderzoek (TNO, GTI's)

Naast de universiteiten en SON wordt nog in relatief beperkte mate binnen de overige instellingen van de publieke kennisinfrastructuur katalyse-onderzoek uitgevoerd. Het gaat met name om TNO (verbranding, vergassing) en ECN (verbranding, vergassing, conversie, ontzwoeling). Inspanningen van TNO en ECN op het fundamentele katalyseonderzoek zijn qua omvang beperkt - hoewel met regelmaat publikaties worden verricht - maar vervullen een belangrijke rol in het milieu- en energieonderzoek.

2.1.4 Industriële R&D

Daarentegen bevinden zich in de Nederlandse chemische industrie blijkend uit publikaties en octrooien zeer belangrijke katalytische kenniscentra; met name gaat het om Shell. In Nederland zijn zes katalysatorproducenten gevestigd waarvan vier ook in Nederland R&D uitvoeren. Dit zijn: AKZO Chemie Divisie, Engelhard De Meern, Purit (Norit) en Servo Delden. Ook de gebruikers van katalysatoren verrichten een belangrijke onderzoeksinspanning op het terrein van katalysator-onderzoek. De belangrijkste bedrijven, met de grootste inspanningen zijn: Shell, Unilever, Unichema Quest, DSM, DSM Andeno, Dow Chemical Nederland bv, Exxon Chemical Holland, Fluor Daniel, Solvay Duphar, Norit NV, Hercules en Gist-Brocades.

2.1.6 Technologiestimulering

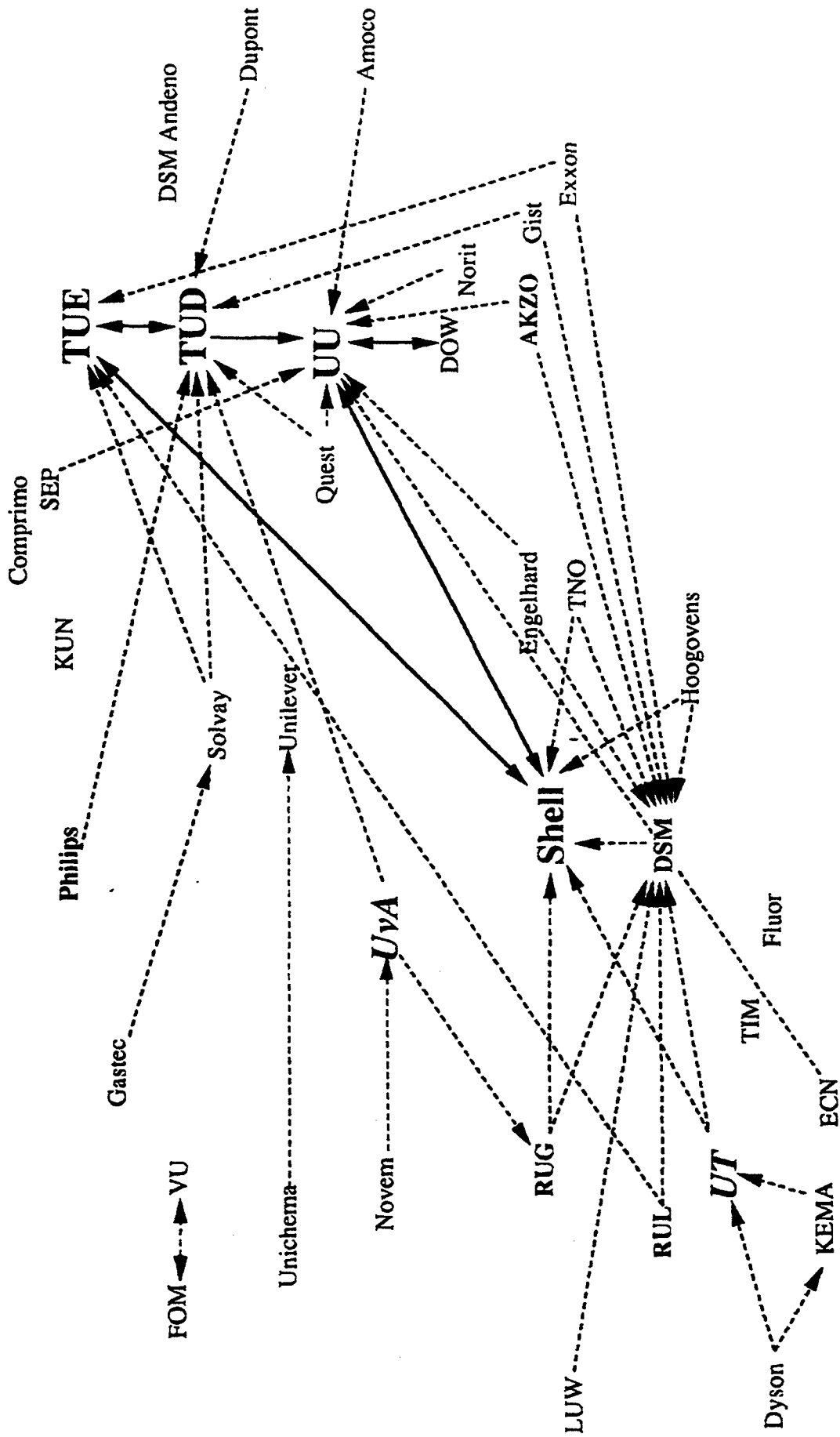
Het chemisch onderzoek in Nederland heeft met het IOP-Katalyse goed van de overheidssteun kunnen profiteren. Het IOP-Katalyse startte in 1989 met een budget van ruim f 10 mln. In de periode tot en met 1993 zijn 28 aio's en 4 post doc onderzoekers bij voornamelijk universiteiten te werk gesteld. In april 1994 is de tweede fase gestart en wel met een verdubbeld budget: f 20 mln. De kernthema's "Innovaties in de fijnchemie door toepassing van heterogeen- en homogeen-gekatalyseerde processen" en "Innovaties in katalysatorbereiding en reactortechnologie gericht op introductie van nieuw katalytisch werkwijzen in de fijnchemie" zijn in de tweede fase aangevuld met het derde kernthema: "Innovaties in de fijnchemie door toepassing van biokatalytische processen". Het IOP-Katalyse richt zich met name op het ontwikkelen van schone, selectieve en (atoom)efficiënte katalytische processen omdat dit een belangrijk middel is om de groei van de chemische industrie mogelijk te maken.

Ook hebben de katalyse-onderzoekers goed gebruik gemaakt van de stimuleringsgelden van de NWO Stichting Technische Wetenschappen (STW). Voor 1993/94 heeft STW 3.4 mln gereserveerd voor katalytisch onderzoek. Verwante gebieden waarop de STW over 1994/1994 budget heeft ingezet zijn procestechnologie (4.8 mln) en scheidingstechnologie (3.8 mln).

2.2 Relatienetwerken

Het katalyse-terrein kent vanouds een hecht netwerk van kennisinstellingen en bedrijven, zowel in kennisinhoudelijk opzicht als organisatorisch (Tabel 4). Het CWTS (1994) heeft een omvattende analyse van katalysenetwerken opgesteld waaruit Figuur 1 is overgenomen. Het netwerk is volgens het CWTS te typeren als 'sterk' en 'volledig'. Hier zal zeker het feit een rol spelen dat een belangrijk deel van de Nederlandse universitaire katalyse hoogleraren een tijd in een van de Nederlandse chemiebedrijven hebben gewerkt.

Figuur 1: Het Nederlands katalyse-netwerk (CWTS, 1994)



Structuur van het netwerk van wetenschappelijke, technologische en organisatorische relaties tussen actoren m.b.t. katalyse-onderzoek in Nederland vanaf 1991.

Per actor zijn -indien mogelijk- de twee meest frequente co-activiteiten getekend. De pijl geeft de richting aan vanuit welke actor dit een zeer frequente co-activiteit is.

Bij actoren zonder verbindingen was het niet mogelijk de twee belangrijkste relaties te bepalen. De onderlinge ligging van de actoren is gebaseerd op alle relaties tussen die actoren. Eén activiteit is bv. 1 publicatie of 1 STW-, IOP- of NIOK-project. Eén co-activiteit is 1 activiteit tezamen met een ander actor.

A: ≥ 100 activiteiten **A:** ≥ 50 activiteiten **A:** ≥ 20 activiteiten ——— ≥ 10 co-activiteiten - - - - - < 10 co-activiteiten.

Tabel 4. Relatienetwerken katalyse

KADER	RELATIENETWERK
IOP-Katalyse	<u>Universiteiten:</u> TUE, TUD, RUU, UvA, RUG, KUN, RUL, LUW, UT <u>Onderzoeksinstituten:</u> TNO <u>Bedrijven:</u> AKZO, Exxon, Unilever, DSM, Shell, DOW, Engelhard, Norit, Quest, Solvay-Duphar, Comprimo, Gist-brocades, DSM Andeno, Hercules, IFF, Organon, Tastemaker,
STW	<u>Universiteiten:</u> UvA, TUD, TUE, UT, RUL, RUU, <u>Onderzoeksinstituten:</u> TNO, ECN <u>Bedrijven:</u> Shell, Philips, Unilever, Solvay-Duphar, Quest, DSM, DSM Andeno, AKZO, DOW, Fluor Daniel, Hoogovens, TIM, Exxon, Dyson Refr., KEMA.
NIOK	TU's, universiteiten (zie 2.1.2). Het netwerk omvat de Industriële Adviesraad.
SON	Werkgemeenschap Katalyse. Netwerk van wetenschappelijke onderzoekers.
INTERMEDIARIS	KNCV, VNCI (industrie), KIVI (ingenieurs)
CLUSTERPROJECTEN	TNO, DSM etc.

Er is een aantal kernactoren aan te wijzen die een centrale rol in het katalysenetwerk innemen: dit zijn Shell, DSM, RU Utrecht, TU Delft en de TU Eindhoven. Daarna komen: Exxon, AKZO, Universiteit Twente, RU Groningen en Universiteit van Amsterdam. De meeste actoren hebben direct dan wel indirect contact met andere actoren in subnetwerken. De belangrijkste subnetwerken zijn gegroepeerd rond STW-projecten de NIOK onderzoekschool, IOP Katalyse en SON-activiteit (Tabel 4). Voor SON en NIOK geldt dat het voornamelijk om netwerken van wetenschappelijke onderzoekers gaat. NIOK heeft een Raad van Advies bestaande uit vrijwel uitsluitend leidende functionarissen uit de industriële research.

Ook volgens het genoemde CWTS-onderzoek blijkt het vakgebied katalyse een hecht en sterk netwerk te zijn. De meeste actoren hebben indirect of direct contact met anderen en vervullen daardoor een brugfunctie. Het is niet mogelijk om duidelijk afgebakende deelgroepen binnen het netwerk te identificeren. Er is sprake van veel interactie tussen universiteiten en industrie.

3. Evaluatie onderzoekinfrastructuur

Het Nederlandse wetenschappelijke heterogene katalyse onderzoek heeft een gevestigde traditie en een internationale reputatie: "*The Dutch School of Catalysis*". Het feit dat in Nederland in Europees opzicht een aanzienlijke en in de ogen van sommigen excellente katalyse capaciteit is opgebouwd is zowel te danken aan de aanwezigheid van een omvangrijke olieraffinage en basischemie industrie in Nederland maar ook aan het feit dat na de tweede Wereldoorlog de Verenigde Staten alle belangrijke Duitse en Zwitserse (heterogene)katalyse onderzoekers heeft aangetrokken.

Met name Shell KSLA en ook DSM Research zijn belangrijke industriële katalysecentra van hoog niveau. Echter die van de andere chemiebedrijven doen er, weliswaar in omvang wel, maar in kwaliteit niet voor onder. De Nederlandse chemiebedrijven hebben internationaal gezien een sterke positie, maar zijn ook sterke concurrenten van elkaar. Om evenwel voorop te kunnen lopen is men genoodzaakt om de handen ineen te slaan en dit is ook een van de belangrijkste redenen voor het succes van het NIOK.

Uit de genoemde CWTS-studie blijkt dat op wetenschapsterreinen zoals oppervlakteprocessen en toepassingen in luchtverontreiniging en verbranding Nederland gerekend naar publikatie-activiteit een relatief sterke positie heeft ten opzichte van wereldwijde activiteit. Daarentegen is Nederland op terreinen zoals elektrochemie en polymerisatie minder actief. Het Nederlandse fundamentele katalyse-onderzoek richt zich in sterke mate op de kern van het vakgebied: chemische reacties en processen. Met name de drie technische universiteiten, de RU Utrecht en de Universiteit van Amsterdam zijn gerekend naar publikatie-activiteit sterke publieke kenniscentra; aan de private kant gaat het zowel qua publikaties als octrooien vooral om Shell.

Bronnen

Enzing, C., B. Filius, R. van der Meijden, '*Tussentijdse evaluatie van het IOP katalyse 1989-1993*'. TNO-STB (1993).

KNCV, VNCI, '*Toekomstig Chemisch Onderzoek. Universitair fundament voor industriële meerwaarde*' (1994).

Korevaar, J.C., R.J.W. Thijssen, A.F.J. van Raan, '*Actoren in de wisselwerking tussen wetenschap en technologie: samenwerking en kennisnetwerken in Nederlands katalyseonderzoek*'. CWTS (1994).

Senter, '*Meerjarenprogramma IOP Katalyse*' (1994).

VSNU, '*BIOS 1994 Research Schools in the Netherlands*' (1995)



4. Elektronika



1. Omschrijving technologiegebied

1.1 Technologiegebied, disciplines

Het elektronica-onderzoek is gefundeerd op een breed scala van disciplines. De recent door de VSNU uitgevoerde onderzoekbeoordeling voor *Electrical Engineering* geeft een redelijk compleet beeld van de in Nederland aan de technische universiteiten bewerkte onderzoeksgebieden en kiest als brede indeling de gebieden micro-elektronica (inclusief de materiaal- en procestechologieën die noodzakelijk zijn voor het realiseren van componenten), sensoren en actuatoren, vermogenselektronica (*power engineering*), signalen en systemen, en telecommunicatie. Dit laatste gebied rekenen wij meer tot de toepassingsterreinen van elektronica en wordt verder behandeld bij het technologiegebied 'Informatie- en Communicatietechnologie' (Bijlage 7). Onze bespreking van geavanceerde elektronica bakenen we af tot de terreinen micro-elektronica, opto-elektronica en microsystemen. Tabel 1 geeft een overzicht van het technologiegebied op hoofdlijnen.

Tabel 1. Disciplines, technologieën, toepassingen

DISCIPLINES	TECHNOLOGIE	TOEPASSINGEN
Materiaalkunde, -fysica, oppervlakteverschijnselen Numerieke wiskunde Operationele analyse Systeemtheorie Informatietheorie en signaalbewerking Netwerktheorie Informatica Digitale elektronica Analoge elektronica Micro-optica, -mechanica Vermogenselektronica Information processing Biologie Chemie Fijnmechanica	<u>Micro-elektronica /signaalverwerking</u> ontwerpkunde (architecturen, CAD-tools, VHDL-talen, synthese hulpmiddelen, chip compilers, testen/reliability) proces-/fabricagetechnologie apparatenbouw <u>Opto-elektronica</u> (optische circuits en componenten, fiber optics, lasersubsystemen) <u>Microsystemen</u> (sensoren, actuatoren, micromachining, microfabricage, micropackaging, signal processing) <u>Bio-elektronica</u> (biosensoren, moleculaire geheugens)	Chipsystemen voor vele signaalverwerkingstoepassingen: telecom (draadloze communicatie, ISDN, compressie, fiber optics); multimedia; consumentenelektronica (CD-speler, digitale TV, graphics), auto-industrie, instrumentatie, proces-industrie, defensie (radar/sonar) etc. Microsystemen in gezondheidszorg (micro-diagnose, -robotica etc), consumentenelektronica (etc) Mechatronicasystemen Meten en sturen

Aan de basis van de ontwikkeling van de moderne elektronica liggen disciplines en technologieën die een steeds verdergaande *miniaturisering* en *vergroting van rekenkracht* mogelijk maken: nieuwe materialen, oppervlaktetechnieken, computer-

architecturen, procestechnologieën, op den duur het gebruik maken van verschijnselen op atomair en moleculair niveau (nano- en moleculaire elektronica).

Opto-elektronica biedt de basis voor geavanceerde telecommunicatiesystemen (transmissie- en switchingsystemen) en omvat terreinen zoals laser diodes en arrays, optische switches, optische opslagsystemen, fiber optics en geïntegreerde optische circuits.

Bij *micro-elektronica* gaat het om het realiseren van signaaltransport- en signaalbewerkingsfuncties - geformaliseerd in algoritmen - in geïntegreerde circuits en processoren met specifieke architecturen onder toepassing van materiaal- en procestechnologieën en VLSI-ontwerpmethoden.

Microsysteemtechnologie is een bundeling van technologieën zoals signaalbewerking, sensoren, actuatoren en packaging gericht op miniaturisatie (kleiner dan enkele millimeters). Voor het realiseren van microsystemen zijn technologieën vereist die ten dele afgeleid zijn uit de micro-elektronica (zoals micromachining¹).

Tabel 2. Geavanceerde elektronica en gerelateerde technologiegebieden

TECHNOLOGIEGEBIED	SAMENHANG MET ELEKTRONICA (VOORBEELDEN)
Materiaaltechnologie	Optische materialen; IC-materialen, oppervlakteverschijnselen, mesoscopische fysica
Informatie- en communicatietechnologie	Geavanceerde elektronica in de vorm van chip- en processorsystemen vormt de kern van informatie- en communicatiesystemen
Medische technologie	Toepassingen van geavanceerde elektronica: micro-diagnose, micro-robotica, beeldverwerkende systemen
Transporttechnologie en logistiek	Signaalverwerkingstoepassingen in o.a. fleetmanagement, tracking & tracing, autonome systemen
Produktietechnologie	Procesautomatisering, geavanceerde CAD tools, machine vision (sensoren, image processing, meten en regelen)
Energietechnologie	Sensorsystemen voor monitoring
Lucht- en ruimtevaart	Remote sensing toepassingen

¹ Bekend is het zgn. LIGA-proces (Lithographie Galvanoformung und Abformung). Zie voor een omvattende beschrijving van microsysteemtechnologie: G. Klein Lebbink, 'Microsystem Technology' (1994).

Daarnaast zijn er evenwel veelbelovende langere termijn gebieden zoals *bio-elektronica* (moleculaire geheugens, biosensoren en andere componenten) die vooral in Japan - maar ook in Nederland - veel aandacht krijgt. Het gebied van de signaalverwerking zien we als een *systeemtechnologie*. Realiseren van signaalverwerkende systemen - op het niveau van IC's dan wel microsystemen - vereist de gecombineerde inzet van materiaal- en procestechnologieën, ontwerphulpmiddelen, systeemarchitecturen, algoritmen en sensoren.

1.2 Relatie met andere technologieën

Ontwikkeling van geavanceerde elektronicasystemen is niet denkbaar zonder *basisdisciplines* als materiaaltechnologie (halfgeleidermaterialen, dunne filmtechnologie, sensormaterialen, aan materialen zoals silicium, polymeren en metalen gerelateerde microsysteemprocestechnologieën), procestechnologieën (bijvoorbeeld lithografische technieken bij micro-elektronica), digitale en analoge elektronica, fijnmechanica (bijvoorbeeld bij het maken van microsystemen), informatietheorie (benodigd bij de ontwikkeling van signaalverwerkingsalgoritmen) en software engineering (benodigd bij ontwikkeling en toepassing van CAD-tools). CAD-technologieën, afkomstig uit de engineering- en produktietechnologie, spelen een belangrijke rol bij ontwerp van VLSI-systemen. Geavanceerde elektronica vormt de *basis voor toepassingen* op tal van terreinen als informatie- en communicatiesystemen en medische technologie (beeldverwerking, microdiagnose, ultrageluid). Tabel 2 geeft een beeld van de relaties.

1.3 Belang van het technologiegebied

Geavanceerde elektronica vormt de basis voor wereldwijd zeer omvangrijke groeimarkten zoals telecommunicatie (equipment en diensten), computers, multimedia en consumentenelektronica, maar ook defensie, industriële automatisering en de 'automotive' sector. De groei van de elektronica-componentensector bedraagt, na een inzinking eind tachtiger jaren, nu ongeveer 10 % per jaar en heeft momenteel een omvang van ongeveer 90 mrd \$. De marktomvang van de belangrijke hiervan direct afhankelijke telecom- computer- en multimediamarkt bedraagt zelfs ongeveer 1000 mrd \$. Ook deze markt groeit met rond 10 % per jaar.

Micro-elektronica vormt nu een zeer belangrijk technologiegebied ten behoeve van producten en systemen in bijvoorbeeld de telecommunicatie en multimedia. Daarbij gaat het om functies zoals multiplexing, kanaalcodering, audiosignaalbewerking en compressie die toegepast worden in onder meer cellulaire draadloze telefonie, ISDN, -randapparatuur zoals modems en telefoons. Andere toepassingen liggen in de computersector (disk control, videoconferencing systemen, parallelle processing, real

time computing), consumentenelektronica (televisie, audio, video), de maakindustrie (procesautomatiseringssystemen, CIM), gezondheid (beeldverwerkende systemen, diagnostische apparatuur), transportsectoren (tracking en tracing) en defensie (radar, sonar). Uit een recent onderzoek uitgevoerd door EZ (1994) blijkt dat de verkoopwaarde van in Nederland geproduceerde apparatuur met IC's erin ongeveer 5.5 mrd gulden per jaar bedraagt; de verkoopwaarde van de IC's op zich zo'n 350 mln jaarlijks. Het aantal IC- en systeemontwerpers in Nederland bedraagt volgens genoemd onderzoek ongeveer 1300. Krachtige ontwerpmethodieken kunnen de hoge ontwikkelkosten van chipsystemen verkleinen en de time to market aanzienlijk verkorten. Ook ontwerp van low-power, high-performance IC's vormt een belangrijk gebied. D. Dunn (Chairman, CEO Philips Semiconductors) noemt als karakteristieken van de micro-elektronica industrie de volgende: *'het is de meest innovatieve industrie; de meest omvangrijke vanaf 2000, de snelst groeiende, strategisch, wereldwijd van belang, en gebaseerd op een belangrijke enabling technology'*.

Microsysteemtechnologie is een veelbelovende technologie voor toepassingen in bijvoorbeeld de gezondheidszorg (diagnostische systemen), multimedia, maakindustrie (microrobots). Toepassingen vereisen een aanzienlijke mate van interdisciplinariteit (micro-elektronica, sensoren en actuatoren, interconnect/verbindingstechnologie, systeemarchitecturen, signaalverwerkingsalgorithmen).

Opto-elektronica vormt basistechnologie voor een groot aantal bedrijven zoals AT&T (telecommunicatiesystemen), AMP (connectoren), Philips, Matrix (meet- en inspectiesystemen), KPN (telecommunicatie en multimedia), AKZO (optische polymeren), HSA (radarsystemen), Océ (laserprinters), DIS (industriële sensoren).

2. De onderzoeksinfrastructuur

2.1 Actoren in de onderzoeksinfrastructuur

2.1.1 Algemeen

Tabel 3 geeft een globaal overzicht van de onderzoekinfrastructuur. De universitaire onderzoekinfrastructuur is geconcentreerd rond de drie onderzoekscholen DIMES (TUD), COBRA (TUE, TUD) en MESA (UT). Naast deze onderzoekscholen en de industriële R&D spelen alleen TNO en AMOLF een rol van betekenis.

Tabel 3: Overzicht van de onderzoeksinfrastructuur geavanceerde elektronica

CENTRA	ACCENTEN	FTE'S (incl. AIO's)
<u>UNIVERSITAIR</u> Onderzoescholen: DIMES (TUD) MESA (UT) COBRA (TUE)	VLSI ontwerp, circuits en systemen, procestechnologie, fysica van componenten en materialen, sensoren en instrumentatie, nanofabricage. VLSI-ontwerp, microelektronica, micro-engineering, bioelektronica, digitale signaalbewerking, micromechanica. Opto-elektronica, netwerken.	<i>totaal: pm. 500 FTE</i> DIMES: 260 (35 Mf) MESA: 140 (19 Mf) COBRA: 116
<u>FUNDAMENTEEL</u> FOM-AMOLF	Opto-elektronica	-
<u>TOEGEPAST</u> TNO-FEL TNO-TPD	Ontwerpen van digitale signaalverwerkende systemen, EMC, opto-elektronica, toepassingen (radar, telecom)	TNO: ruim 100 onderzoekers (m.n. TNO-FEL)
<u>INDUSTRIE</u> Philips AT&T Ericsson Océ Signaal KPN Research ASM Catena, Pijnenburg, Arcobel (e.a.)	VLSI-ontwerptechnologie Opto-elektronica RF-communicatie ASIC's Hybrides, ASIC's, low-power IC's Opto-elektronica Lithografie Ontwerp van chipsystemen	
<u>OVERIG</u> CME	Voorlichting, demonstratieprojecten	25

Micro-elektronica. De kennisbasis in Nederland is geconcentreerd rond de drie TU's, bij grote electronicabedrijven zoals vooral Philips en - in mindere mate - Ericsson, AT&T, Signaal (sinds enkele jaren een dochter van Thomson CSF), Océ van der Grinten, en bij TNO. De onderzoekschool DIMES (Delft Instituut voor Micro-Elektronica en Submicrontechnologie, TU Delft) speelt een belangrijke rol en is vooraanstaand op gebieden als circuits en systemen, VLSI-ontwerpmethodieken en IC-gerelateerde proces- en materiaaltechnologie. Ook in de onderzoekscholen MESA (UT) en COBRA (TUE, TUD) worden belangrijke activiteiten ontplooid op het gebied van micro-elektronica, ontwerpen van circuits en systemen, en signaalbewerking. Vanuit de industrie speelt Philips een belangrijke rol in R&D op het gebied van IC-technologie.

Microsysteemtechnologie. Op het gebied van microsysteemtechnologie is de Nederlandse kennisbasis van hoog niveau. De onderzoeksschool MESA van de Universiteit Twente (biosensoren, microsystemen) is met DIMES (sensoren, instrumentatie) toonaangevend. Ook TNO-FEL speelt een rol op dit onderzoeksgebied.

Opto-elektronicasystemen. De belangrijkste kennisaanbieders zijn universiteiten (faculteiten elektrotechniek, natuurkunde), KPN Research, TNO-FEL, TNO-TPD, Philips en AMOLF. Op het gebied van systeemonderzoek met betrekking tot telecommunicatie is de TU Delft en de TU Eindhoven actief. COBRA is een interuniversitaire onderzoeksschool met de TU Eindhoven als penvoerder.

2.1.2 Universitair onderzoek

TU Delft. De onderzoeksschool DIMES (260 onderzoekers waarvan 80 AIO's) is internationaal vooraanstaand op thema's zoals het ontwerpen van VLSI-systemen, halfgeleiderfysica en IC-materialen, IC-procestechnologieën, nanofabricage en geïntegreerde sensorsystemen. Het DIMES-budget over 1994 bedroeg ongeveer 35 Mf, waarvan 25 % extern gefinancierd. DIMES heeft vele onderzoeksrelaties met een aantal belangrijke bedrijven zoals Philips (Philips Semiconductors, Philips Research, Philips NatLab, Philips Components), voorts bijvoorbeeld met ASM, Océ en Ericsson. Daarnaast zijn er relaties met kleinere ontwerpbedrijven zoals Pijnenburg (ASIC's) en Catena (analoog ASIC-ontwerp, RF-communicatie). Enkele belangrijke onderzoekthema's bij DIMES zijn:

- Op het gebied van *circuits en systemen*: algoritmen en architecturen voor snelle digitale signaalverwerking; modelleren en verificatie van lay-out afhankelijke effecten in VLSI systemen; ontwikkeling van geavanceerde CAD-tools; circuits en systemen voor analoge signaalverwerking; microgolf IC's.
- Op het gebied van *IC componenten en processen*: geïntegreerde sensoren, elektronica-componenten voor zonnecellen en displays.
- Op het gebied van *fysica van componenten en materialen*: nanotechnologie, mesoscopische fysica, nieuwe IC-materialen.

De TU Delft ontplooit op het gebied van elektronica naast de genoemde voorts belangrijke activiteiten in elektromagnetisme, telecommunicatie- en radartechnologie, en *power electronics*.

De *Universiteit Twente*, met de onderzoeksschool MESA (plm. 140 FTE), is op het gebied van elektronica-onderzoek met name actief op de gebieden mechatronicasysteem, digitale signaalverwerking en VLSI-ontwerp, micro-elektronica, biosignalen en biosensoren, micromechanica, micro-engineering. Het totaal aantal FTE's (incl. AIO's) bedraagt rond 130. Net als DIMES neemt MESA deel in een groot aantal Europese

projecten (ESPRIT, BRITE-EURAM, JESSI, EUREKA e.a.) en beschikt zij door uitvoering van contractonderzoek over een sterk netwerk (voorbeelden: AKZO, Philips, Sentron, Océ, Bronkhorst High-Tech, ESA).

De *TU Eindhoven* is op het gebied van elektronica actief in gebieden als opto-elektronica, radiocommunicatie, elektronica componenten, signaalverwerkende systemen, EMC, power electronics, VLSI-ontwerp. Ze is penvoerder van de onderzoeksschool COBRA (Communication Technology: Basic Technology and Applications) met een speerpunt in opto-elektronica en communicatienetwerken, waarin de drie TU's participeren. COBRA speelt een belangrijke rol in de verankering van het IOP Electro-Optics.

Uit gegevens van onderzoekscholen en van de VSNU blijkt dat de totale onderzoekscapaciteit van DIMES, MESA en COBRA in totaal rond 500 FTE's bedraagt (inclusief AIO's die immers direct tot onderzoek bijdragen).

Uit de recent verschenen VSNU-onderzoeksbeoordeling van het gebied 'Electrical Engineering' blijkt dat de totale onderzoekscapaciteit op het gebied elektronica - evenwel exclusief AIO's - over de periode 1989-1993 ongeveer 1660 onderzoekers bedraagt, waarvan 304 (20 %) gerelateerd aan de derde geldstroom. Het gaat hierbij om de elektronicafaculteiten van de drie TU's; inspanningen van de faculteiten Technische Natuurkunde zijn niet meegenomen.² De cijfers zijn inclusief het onderzoek op toepassingsgeoriënteerde gebieden zoals telecommunicatiesystemen, medische elektrotechniek. Onderstaande Tabel 4 geeft op basis van de VSNU-beoordeling een overzicht van de onderzoeksinspanning van universiteiten over de periode 1989-1993 op een aantal voor onze definitie van 'elektronica' kenmerkende gebieden. Merkbaar is overigens een tendens tot samenvoegen van vakgroepen.

Door de NWO *Stichting voor de Technische Wetenschappen* is in de tweede geldstroom naar universiteiten op het gebied chip-design, componenten en micro-engineering voor 1994 4.4 mln ingezet, op het gebied opto-elektronica 4.3 mln en op het gebied sensoren 4.0 mln. Het totaal van 12.7 mln representeert ongeveer 20 % van het totale STW-budget. Dit vormt een goede indicatie is voor het door de STW aan dit technologiegebied gehechte belang.

² Deze inspanningen zijn aanzienlijk, hetgeen blijkt uit de deelname van faculteiten Technische Natuurkunde in MESA en DIMES. Zo houden zich bij de faculteit Technische Natuurkunde van de TU Delft ruim 90 WP's bezig met micro-elektronica.

Tabel 4. *Universitair onderzoek geavanceerde elektronica (WP's 1989-1993)*

	ACCENTEN	WP-1	WP-2	WP-3	TOTAAL
TUD	Circuits, systemen	87	53	30	170
	Sensorsystemen	40	33	4	77
	Componenten/mat.	25	12	10	47
	<i>TOTAAL</i>	<i>152</i>	<i>98</i>	<i>44</i>	<i>294</i>
TUE	Electro-optics	7		4	11
	Componenten	24	2	13	39
	Elektronicasystemen	21		10	31
	Ontwerptechnologie	26	17	19	62
	Signaalverwerking	18			18
	Materialen	18	4	6	28
	<i>TOTAAL</i>	<i>114</i>	<i>23</i>	<i>52</i>	<i>189</i>
UT	Mechatronica	68	18	14	100
	VLSI ontwerp, DSP	20	9	11	40
	Microelektronica	42	47	9	98
	Bioelektronica	47	22	17	86
	Micromechanica	16	10	10	36
	<i>TOTAAL</i>	<i>193</i>	<i>108</i>	<i>81</i>	<i>382</i>
TOTAAL		459	229	177	865

Bron: Op basis van VSNU (1995). Cijfers omvatten de totale FTE-inzet over 1989-1993, van uitsluitend elektronicafaculteiten. Enkele categorieën zijn samengevoegd.

2.1.3 Instituten voor fundamenteel onderzoek

In dit kader is eigenlijk alleen het FOM-instituut AMOLF van belang, met onderzoek op het gebied van materiaalfysica en opto-elektronica.

2.1.4 Instituten voor toegepast onderzoek (TNO, GTI's)

Met name vanuit de signaalbewerkingstoepassingen op gebieden als elektronica-producten, defensie (radar, sonar, communicatie) en informatietechnologie (image processing, beveiliging) beschikt TNO over kennis met betrekking tot VLSI-ontwerp, met name bij TNO-FEL en ook TNO-TPD. TNO Produktcentrum coördineerde het op het midden- en kleinbedrijf gerichte Mi-Toe (Micro-elektronica Toepassingen) stimuleringsprogramma, waaraan het Centrum voor Micro-Elektronica, 18 regionale innovatiecentra, Holland Elektronica, en TPD-TNO-TUD deelnamen. De activiteit van TNO (en dan met name TNO-FEL) op het gebied van elektronicasystemen omvat een activiteit van meer dan 100 onderzoekers. Het gaat hier om zowel ontwerphuisactiviteit als

sensor- en microsysteemontwikkeling, ontwikkeling van elektronica voor radiofrequente systemen etc.

2.1.5 Industriële R&D

Op het gebied van micro-elektronica, signaalverwerking, opto-elektronica zijn de belangrijke bedrijfslaboratoria die van Philips (componenten, consumentenelektronica, communicatie). Daarnaast zijn te noemen Océ (kantoorautomatisering), AT&T en Ericsson (telecommunicatie) en Signaal (radarprocessing, sonar). Het betreft bedrijven actief in ontwerp, development en ook advisering. Philips (NatLab, Semiconductors) past VLSI-ontwerpmethodieken toe die ontwikkeld zijn in samenwerking met IMEC/Leuven en met de TU Delft voor componentenontwikkeling in de consumentenelektronica. Ook Signaal kent belangrijke elektronicaontwikkelactiviteit (digitale elektronica, elektronica-assemblage, hybrides).

Voor wat betreft *kleinere bedrijven* (instrumenten, apparaten) kan worden geconstateerd dat nog slechts weinig bedrijven ervaring hebben met ontwerp van chipsystemen ten behoeve van hun toepassingen. Enkele innovatieve toepassers zijn Roto Electronics (industriële automatisering), Priva (gebouwbeheer), Nedap (identificatietechnologie), Tektronix (oscilloscopen), Triple P (radiocommunicatie), Heynen (beveiliging) en een aantal andere kleinere bedrijven in tele- en datacommunicatie (modems, telemetrie, radiocommunicatie). Er zijn relatief weinig van dit type innovatieve kleinere producenten in Nederland (plm. 20-25).

Kennis zit uiteraard ook bij specialistische *bedrijven die IC's ontwerpen, ontwikkelen en produceren*. Naast Philips Semiconductors betreft het ook Signaal, Arcobel, Pijnenburg, Catena (analoog ontwerpen), Rood Technology, Sierra Semiconductor, NEC. Bij ASM, als apparatenproducent (lithografie) is eveneens veel kennis aanwezig over micro-elektronica fabricageprocessen.

Voorts zijn er vele bedrijven die IC-ontwikkelsoftware verkopen. Voorbeelden van dergelijke bedrijven zijn Mentor Graphics (CAE/CAD software leverancier), Intergraph (CAE/CAD software leverancier), Cadence (CAE/CAD software leverancier), Racal Redac (CAE/CAD software leverancier), Sagantec (leverancier ASA silicon compiler voor lay out generatie), Transfer EDS (ontwerp en advisering met hoog-niveau talen), Catena Microelectronics (analoog ontwerp), Pijnenburg.

Het beeld is dat er nog een aanzienlijke kloof bestaat tussen a) enkele grote bedrijven met specialistische kennis op het gebied van IC-ontwikkeling maar die gesloten opereren, b) grote eindgebruikende bedrijven die weinig kennis in huis hebben, en 3) specialistische kleinere IC-ontwikkelbedrijven.

2.1.6 Overig (branche-organisaties, intermediairs)

Holland Elektronika (Vereniging FME) draagt bij tot uitwisseling van informatie tussen bedrijven in de elektronicasector en stimuleert opleiding en training. Er zijn relaties met delen van de kennisinfrastructuur (TNO, technische universiteiten) rond overheidsstimuleringsprojecten. De branchevereniging fungeert vooral als belangenbehartiger en voorlichtingsbureau.

De *Stichting Centrum voor Micro-elektronica* heeft een intermediairfunctie: het stimuleren van toepassing van micro-elektronica in producten. Een lopend project stimuleert 'digitale signaalverwerking in producten'. De SCME heeft voorts vele publikaties uitgebracht over ontwerphulpmiddelen in de micro-elektronica. De SCME beheert het ChipShop programma waarin kleine en middelgrote bedrijven relatief goedkoop chips (prototypes en kleine series) kunnen laten fabriceren. Dit bevordert de toegankelijkheid voor VLSI-ontwikkeling.

2.1.7 Stimulering van onderzoek en technologie

Het *Innovatief Onderzoeks Programma IC-technologie* liep van 1984-1992 met een budget van 27.4 mln en was vooral op het grote bedrijfsleven (Philips) georiënteerd. Het *IOP Electro-Optics*, gestart in 1989 als onderdeel van het IOP IC Technologie, liep in de eerste fase van 1992-1993 met een omvang van 4.5 mln. De tweede fase (1994-1997) met een budget van 15 mln is gericht op de accenten multifunctionele optische communicatienetwerken, geavanceerde component opties voor specifieke toepassingen en hybride technologie voor optische meet- en detectietechnieken. Momenteel participeren hierin 11 onderzoeksgroepen van de drie TU's, de KU Nijmegen, KPN-Research, TNO-FEL, TNO-TPD en AMOLF.

2.2 Relatienetwerken

Micro-elektronica. Op onderzoeksgebied zijn vele, in zwaarte variërende, netwerken ontstaan rond sterke centra. Tabel 5 geeft hiervan een - overigens zeker niet compleet - overzicht. Zo heeft *DIMES* rond haar specialisatiegebieden (met name halfgeleiderfysica, systemen en circuits, componenten en processing) talrijke universitaire zowel als industriële contacten, zowel nationaal als internationaal.

Tabel 5. Relatienetwerken geavanceerde elektronica

KADER	RELATIENETWERK
IOP Electro-Optics	TU's, AMOLF, KUN, TNO-FEL, TNO-TPD, AT&T, KPN, Philips, AKZO (etc.). Drie groepen participeren in RACE.
MESA	Deelname in Europese en andere projecten (ESPRIT, BRITE-EUR-AM, JESSI, EUREKA) Contractonderzoek-gerelateerd netwerk: AKZO, Philips, Sentron, Océ, Bronkhorst High-Tech, ESA etc
DIMES	Deelname in Europese programma's Projectmatige netwerken (nationaal/internationaal) rond o.a: IC-materialen (ESPRIT, Philips, ASM etc) Nanotechnologie (TUD, andere instituten, Leica Cambridge) Circuits en systemen (Philips, Smartec, Mietec e.a.) Sensoren/instrumenten (Philips, Bronkhorst, etc) Microgolf IC's (FEL-TNO, Philips, HP, KPN) Advanced CAD-tools (universiteiten, TNO, Philips, IMEC etc) Signal processing (universiteiten, IMEC, IRISA, Stanford etc) Materialen/componenten (universiteiten, TNO, AMOLF., Philips, CNET, ECN etc)
COBRA	Deelname in JESSI, RACE, ESPRIT, ACTS etc Projectmatig rond o.a.: - breedband communicatie (Philips, AT&T, KPN) - satellietcommunicatie (KPN, ESTEC) - opslag van informatie (Philips CE) - automatisch IC ontwerp (IBM, ICD, Philips)
STW-projecten (voorbeelden)	<i>VLSI</i> : TUD, Philips, TNO, HCS, A&A, Silicon Graphics <i>Sensoren</i> : TUD, NLR, Philips, Pope, Bronkhorst, Sentron, TNO-KRI, Xensor Integration <i>Elektro-optics</i> : TUD, NKF, PTT, BTS, Aditel <i>Overig</i> : TUD, Philips Elcoma, Signetics
COSIGN	TNO-FEL, TNO-TPD-TU Delft
ProRisc	Onderzoekersnetwerk met deelnemers vanuit universiteiten en bedrijven. Secretariaat: STW.
ESPRIT, EUREKA	Philips + buitenlandse partijen (VLSI-chips) TU Delft +buitenlandse partijen (VLSI-architecturen) PTT Research (codering, compressie)
CLUSTERPROJECTEN	Philips, TU Eindhoven

Van een andere orde is *ProRisc*, een onderzoekersnetwerk in het kader van de NWO Stichting voor de Technische Wetenschappen op het gebied van ontwerp van micro-elektronica en signaalverwerking. Hieraan nemen met name universiteiten en in beperkte mate het bedrijfsleven deel. In dit netwerk zijn alle relevante onderzoeks-

groepen (ook Belgisch) en industriële onderzoekscentra verzameld. *COSIGN* (Dutch Institute for Silicon-based Signal Processing) is een samenwerkingsverband tussen FEL-TNO, TPD-TNO en TU Delft. Het doel is de bevordering van signaalbewerking in geïntegreerde vorm.

Belangrijke netwerken zijn ook ontstaan rond tal van individuele *STW-projecten*. Daarbij zijn naast kenniscentra steeds ook bedrijven (als gebruikers) betrokken. Vele voorbeelden zijn genoemd in de Technologieverkenning Signaalverwerking (1992) en uiteraard te vinden in STW-jaarverslagen.

Opto-elektronica. Rond het IOP Electro-Optics is een interessant en potentieel sterk netwerk ontstaan bestaande uit kenniscentra en industrie. Belangrijkste kenniscentra: AMOLF, KUN, TNO, TUD, TUE, UT. Belangrijkste industriële partijen: AKZO, AT&T, Delft instruments, DIS, DSM, HSA, KPN, Matrix, Océ, Shell, Xensor Integration. Ook rond de onderzoeksschool COBRA zijn netwerken ontstaan. Zo participeert COBRA in internationale onderzoeksprogramma's zoals JESSI, RACE, ESPRIT, en heeft COBRA bilaterale contacten met bedrijven binnen het kader van deze Europese programma's.

3. Evaluatie onderzoeksinfrastructuur

In het verleden is organisatie en de omvang van het micro-elektronica onderzoek en afstemming met industriële behoeften in Nederland sterk in discussie geweest. Zonder hier op deze discussie in te gaan kan worden gesteld dat de behoefte aan hoog opgeleiden op dit dynamische gebied de komende jaren zal toenemen (met name VLSI-ontwerp), dat de kwaliteit van micro-elektronica onderzoek in Nederland van hoog niveau is, maar dat de industriële basis in Nederland relatief betrekkelijk smal is afgezien van enkele grote ondernemingen. Het is de vraag hoe het kleinere bedrijfsleven de komende jaren in voldoende mate van het opzichzelf sterke kennisnetwerk (universiteiten, intermediairs) kan profiteren.

De recente VSNU-beoordeling van het onderzoek op het gebied van elektrotechniek komt tot de conclusie dat het algemene onderzoeksniveau hoog is, gezien vanuit internationaal perspectief. Het rapport beoordeelt het Nederlandse onderzoek op het gebied van micro-elektronica als 'goed', gegeven de aanwezigheid van enkele excellente onderzoeksgroepen. Ook het onderzoek op het gebied van sensoren en actuatoren wordt als 'goed' beoordeeld, maar hier schiet de koppeling met de industriële behoeften nog tekort. Echte uitschieters van wereldklasse vormen het onderzoek op de gebieden elektronische instrumentatie (TU Delft), systemen en circuits voor signaalbewerking (TU Delft), ontwerptechnologie voor elektronica-

systemen (TU Eindhoven), bioelektronica (Universiteit Twente) en micromechanica (Universiteit Twente).

Gerekend naar de uitstraling naar het bedrijfsleven constateert het VSNU-rapport dat er aanzienlijke mate van samenwerking is, maar dat bij dit type onderzoek een te hoge mate van industriële gerichtheid moet worden vermeden. Geconstateerd wordt overigens met enige zorg dat de industriële contacten zich beperken tot de grotere bedrijven zoals AT&T, Philips en KPN. Met duidelijke zorg wordt de aanwezigheid van budgettaire knelpunten voor het onderzoek vastgesteld.

Op het gebied van *VLSI ontwerp* zijn er volgens de IOP-voorstudie VLSI Ontwerp (1994) 'geen wezenlijke verschillen' tussen de technische universiteiten. Per universiteit bestaat volgens het rapport op dit punt geen duidelijke speerpuntvorming. Uit Tabel 4 volgt evenwel dat er in ieder geval qua omvang duidelijke verschillen zijn. Het niveau van de technische universiteiten op het gebied van VLSI ontwerp is volgens de genoemde voorstudie goed. Dit blijkt uit de waardering van het bedrijfsleven, plaatsbaarheid van studenten en resultaten van onderzoek. De universitaire staven zijn vertegenwoordigd in vele internationale gremia. Universiteiten nemen deel in 5 van de 25 lopende Esprit-projecten op het gebied van ontwerpmethoden en gereedschappen en in één JESSI-project (TUD). Wel constateert het rapport dat de derde geldstroom gering van omvang is. Dit spoort overigens niet met de conclusie in de VSNU-beoordeling, waar juist op een relatief hoog aandeel van de derde geldstroom (20 %) wordt gewezen (zie ook tabel 4).

Gegeven de drie onderzoekscholen is er sprake van een duidelijke concentratie op hoofdterreinen micro-elektronica (DIMES), opto-elektronica (COBRA) en microsyste- men (MESA, maar ook DIMES). MESA heeft een duidelijke en sterke positie op het gebied van bioelektronica en micromechanica. Het genoemde VSNU-rapport stelt vast dat er geen sprake van overbodige overlap is.

Op het gebied van *VLSI-ontwerp* is de technologie-infrastructuur van het bedrijfsleven grotendeels geconcentreerd bij Philips (Natlab, Elcoma, Consumer Products, CFT) en ook Océ, Ericsson en Signaal naast een aantal kleine maar hoogwaardige ontwerpbedrijven. Voor een deel is die infrastructuur niet commercieel beschikbaar. Dit geldt bijvoorbeeld voor de Pyramide ontwerpmethodiek van Philips. Philips heeft de laatste tijd haar IC-productie-activiteit aanzienlijk versterkt, en de ontwerpactiviteit is van onverminderd belang en zorgt voor een - zij het, afgezien van de telecommunicatie-sector, éénzijdig geconcentreerde - vraag naar ontwerpers. De infrastructuur bij de grote bedrijven kan worden beoordeeld als zeer geconcentreerd, niet publiek toegankelijk maar van hoog niveau.

Rond *opto-elektronica* is in relatie tot het IOP Electro-Optics een potentieel sterk netwerk in ontwikkeling. Het is echter de vraag of het kleinere bedrijfsleven in

voldoende mate van dat kennisnetwerk kan profiteren. Hetzelfde geldt in feite over de nog sterk academisch georiënteerde activiteiten op het gebied van microsystemen.

Is de kennisinfrastructuur opzichzelf kwalitatief sterk, ten aanzien van de rol daarvan in het geheel van industriële activiteit, dus *de benutting van kennis*, bestaan vraagtekens en uitdagingen. Zo zal de behoefte aan gespecialiseerde VLSI-ontwerpers de komende jaren nog toenemen, maar verdient ook de behoefte-ontwikkeling in andere dan de echt grote bedrijven veel meer aandacht en stimulans. Ook kan de samenwerking tussen onderzoekscholen, technologie-instituten en industrie in R&D-projecten nog verder worden versterkt. Vooral de kleinere elektronica-ontwikkelaars en de middelgrote elektronica-toepassers verdienen meer aandacht, waarbij de interesse uiteraard wederzijds moet zijn. Daarnaast ligt de vraag open of er niet met veel meer kracht moet worden gestreefd naar strategische relaties tussen elektronica-aanbieders en elektronica-toepassers, waarbij ook de vraag van bundeling van elektronica-kennis en -productiecapaciteit aan de orde is. Concluderend, de Nederlandse kennisinfrastructuur op het vlak van elektronica, telecom en media is kan effectiever worden en een voortrekkersrol gaan vervullen bij het ontwikkelen van de telecom- en multimediamarkt. De modernisering van kleinschalige industrie- en dienstensectoren op het gebied van informatietechnologie en telecom moet een prioriteit zijn. Nederland kent evenwel te weinig bedrijven in de telecom-/mediasector met eigen produktontwikkeling en moet zorgdragen dat de aanwezige publieke kennisbasis op het gebied van de basisdisciplines zoals micro-elektronica voldoende draagvlak behoudt.

Bronnen

DIMES, '*Annual Report 1994*'. TU Delft (1995).

Jaarverslagen van universiteiten (1992, 1993).

Klein Lebbink, G. (ed), '*Microsystem Technology. Exploring Opportunities*'. Samson (1994).

Schaffers, J.W.M., '*Beoordeling van de geschiktheid van een aantal technologiegebieden voor technologiestimulering*'. TNO-STB (1994).

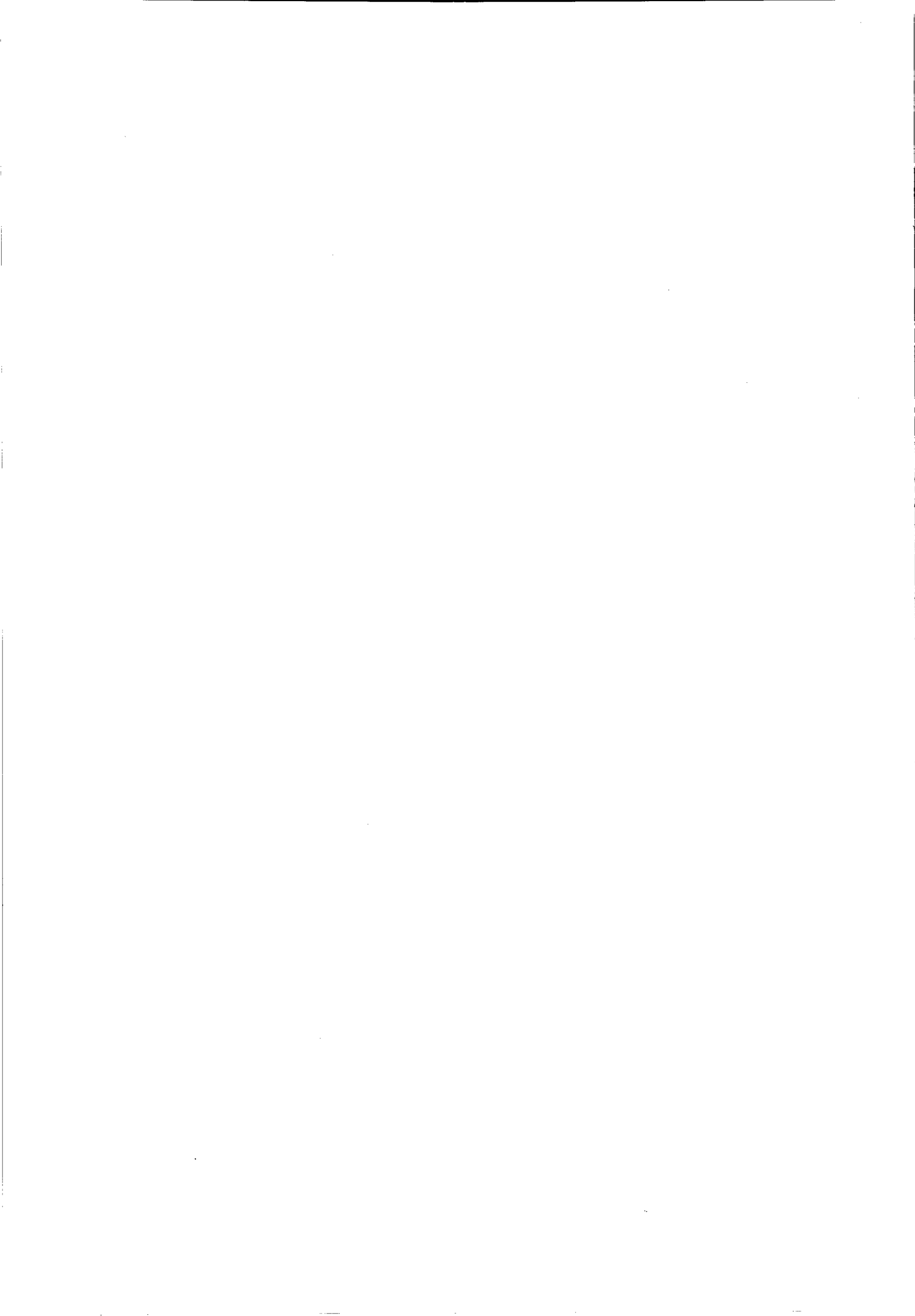
Schaffers, J.W.M. e.a. '*Technologieverkenning Signaalverwerking*'. Uitgevoerd door TNO-STB. Den Haag, Ministerie van Economische Zaken (1992).

Senter, '*Meerjarenplan Electro-Optics 1994-1997*' (1994).

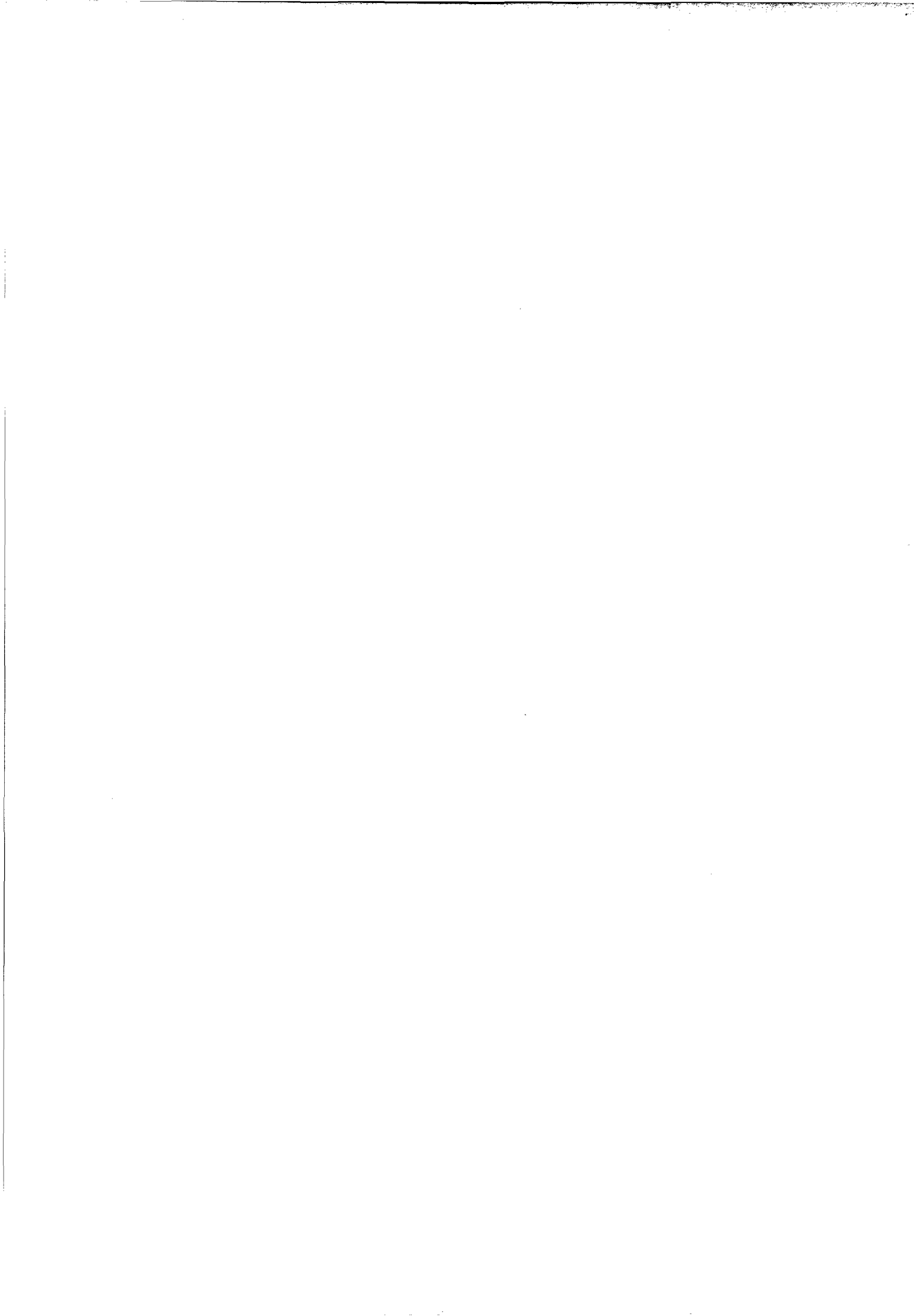
'Voorstudie IOP VLSI Ontwerpkunde'. Den Haag, Ministerie van Economische Zaken (1994).

VSNU, *'BIOS 1994. Research Schools in the Netherlands'*. Utrecht (1995).

VSNU, *'Quality Assessment of Research - Electrical Engineering'*. Utrecht (1995).



5. Informatie- en communicatietechnologie



1. Omschrijving technologiegebied

1.1 Technologiegebied, disciplines

Informatie- en communicatietechnologie omvat alle technologieën die nodig zijn voor informatietransport, -opslag, -onttrekking, -verwerking en -presentatie, en in combinatie de basis bieden voor de moderne informatie- en communicatietoepassingen en voor de 'electronic highway'. Tabel 1 presenteert een aantal relevante disciplines, kerntechnologieën en toepassingen. Voor wat betreft de kerntechnologieën valt een strikt onderscheid tussen 'hardware' en 'software' niet te maken.

Tabel 1. Informatie- en communicatietechnologie: disciplines, technologieën, toepassingen

DISCIPLINES	KERNTÉCHNOLOGIEËN	TOEPASSINGEN
(niet uitputtend) Informatica Wiskunde Elektrotechniek Telecommunicatie Micro-elektronica Processortechniek Opto-elektronica Digitale techniek Signaalverwerking Patroonherkenning en beeldvorming Ontwerpen Engineering Informatieverwerking Informatietheorie Artificial Intelligence Cognitie Ergonomie Human factors	<u>communicatiesystemen</u> telematicatechnologie; transmissie en switching <u>computers</u> parallelle gedistribueerde systemen; high-performance computing; supercomputers <u>software</u> software engineering (productie, ontwerp informatiesystemen); hoog-niveau talen; software architecturen; besturingssystemen; intelligente software <u>informatieverwerking</u> codering en compressie; database management; beeldverwerking; parallelle processing; datafusie; audio-/videosignaalverwerking <u>componenten</u> LCD-technologie; servertechnologie; database systemen; fiber optics; radartechnologie; antennetechnologie	<u>toepassingsvelden:</u> vrijwel alle economische en maatschappelijke sectoren (diensten, productie, procesindustrie, voedingsindustrie, transport, gezondheidszorg, energie, milieu) <u>traditionele toepassingen</u> telecommunicatiediensten, computersystemen, automatiseringshulpmiddelen <u>gedistribueerde interactieve systemen</u> netwerkinfrastructuren voor multimediatoepassingen <u>telematica- en multimedia-informatiediensten</u> in: publishing, reserveringen, thuiswinkelen, amusement, onderwijs <u>computers, intelligente interfaces en randapparaten</u> computers, consumentenelektronica, PDA's

We kiezen voor een indeling in redelijk onderscheidbare gebieden waarop zich belangrijke ontwikkelingen voltrekken waarvan de drijvende kracht ligt in digitalisering, groeiende rekenkracht door geavanceerde processorarchitecturen, nieuwe softwarearchitecturen, en miniaturisering. In elk van de gebieden spelen zowel hardware- als softwareontwikkelingen een rol. De gebieden vertonen door de dynamiek van de onderliggende technologieën steeds enige overlap (een moderne telefooncentrale is in feite een computer; ontwikkelingskosten worden voor 90 % bepaald door software). De belangrijkste technologieën zijn dan te vinden op de volgende vijf terreinen:

1. Communicatieinfrastructuren. Hierbij gaat het om de netwerkinfrastructuur van communicatiemiddelen. Kerngebieden zijn onder meer netwerk- en switchingtechnologieën, optische en draadloze transmissietechnologieën, satelliettechnologie, telematica-architecturen en -protocollen, technologie voor netwerkmanagement, multimedianeetwerktechnologie (ATM), breedband ISDN. Nieuwe ontwikkelingen die door deze technologieën mogelijk worden gemaakt liggen bijvoorbeeld op het vlak van intelligente netwerken en diensten.

2. Computersystemen. Een kerngebied ligt in high performance computing. Hiervan getuigt de opkomst van (massief) parallele gedistribueerde systemen en supercomputers. Op den duur valt de opkomst van neurale (bio-)computers te verwachten. Het onderscheid met 1. vervaagt als resultaat van de al vermelde convergentietrends.

3. Software technologie. Ontwerp van informatiesystemen, hoog-niveau software talen, software produktie, software architecturen, object-georiënteerde talen, computerbesturingssystemen, software modules, intelligente software.

4. Informatieverwerking. Audio- en videosignaalverwerking, signaalcodering en -compressie, database management, modellerings- en simulatietechnieken, beeldverwerkende systemen, datafusie (sensor fusie), gedecentraliseerde sensor- en control-systemen, vertaalsystemen, parallele processing, virtual reality, human factors, man-machine interface.

5. Componenten/randapparaten. Voorbeelden zijn technologieën op het gebied van fiber optics, hoge definitie displays, scanners (opto-elektronica, image processing), dataopslagsystemen, server-/database systemen, radarsystemen, antennes. Dit gebied wordt zeer direct bepaald door ontwikkelingen in de elektronica; voorbeeld is de chip-on-glas technologie bij displays.

De hier onderscheiden kerntechnologieën en de daarbinnen genoemde subtechnologieën kunnen gezien worden als "bouwstenen" die in belangrijke mate van elkaar afhankelijk zijn, op elkaar voortbouwen en alleen in combinatie met elkaar leiden tot informatie- en communicatietoepassingen. De technologische basis van moderne informatie- en communicatiesystemen wordt daarbij in toenemende mate gevormd door de digitale elektronica, de softwaretechnologie en de informatieverwerking. Hiermee samenhangend kunnen toepassingen van informatie- en communicatietechnologie het beste worden voorgesteld als een "stapel" van functies, opgebouwd uit infrastructuur, componenten, randapparatuur en softwaresystemen. Realisatie hiervan vraagt om kennis van een relatief groot en divers aantal subtechnologieën. Zo doet de ontwikkeling van nieuwe multimedia-informatieproducten en -diensten een beroep op kennis van netwerktechnologie, information processing, codering en compressie, information retrieval, database management, human factors, telecommunicatieprotocollen en objectgeoriënteerd programmeren.

De voortgaande trend van integratie en onderlinge verwevenheid op het niveau van de technologie en het niveau de toepassingen - teweeggebracht door digitalisering en het steeds groter belang van software, in computer- en communicatie-apparatuur zowel als in diensten en applicaties - impliceert ook dat het onderscheid tussen voorheen gescheiden sectoren als computers, telecommunicatie, software, consumentenelektronica en omroep steeds verder is vervaagd. Er is derhalve ook op het *niveau van sectoren* sprake van een duidelijke integratie of convergentietrend. Naast deze bredere algemene trends kan op elk van de genoemde gebieden van een zeer dynamische ontwikkeling worden gesproken. Zo is op het gebied van software de ontwikkeling gaande naar hoog-niveau talen, geavanceerde adaptieve user-interfaces, multimedia-toepassingen, hergebruik van modulaire software, en softwaregedefinieerde intelligente netwerken en diensten.

1.2 Samenhang met andere technologiegebieden

Informatie- en communicatietechnologie vindt toepassing in vrijwel alle private en ook publieke sectoren. Het is dan ook verweven met de kenmerkende technologieën van deze sectoren. Voorbeelden zijn informatie- en communicatiesystemen ten behoeve van energiebeheer, milieumonitoring, medische zorg, procesbeheersing, computer-integrated manufacturing, transportmanagementsystemen. Van belang is voorts de toepassing van informatietechnologie in *computational modelling en simulatie*. Deze technologie wordt vooral gebruikt tijdens (fundamenteel) onderzoek naar de eigenschappen van materialen en dynamische systemen. Gebruik van informatietechnologie bij engineering en produktie-technologie ondersteunt daarentegen de ontwerpfase of de produktie. Het gebruik van informatietechnologie is in beide gevallen pas goed mogelijk door inbreng van kennis uit het toepassingsgebied. Computertechnologie vindt tevens een belangrijke toepassing op het gebied van de *medische technologie*.

Daarbij moet vooral gedacht worden aan sensortechnologie, medische informatie- en communicatietechnologie en signaal- en beeldverwerking. Daarnaast is informatie- en communicatietechnologie nauw verbonden met de geavanceerde elektronica. Zonder de ontwikkelingen op het gebied van digitale signaalverwerking, chip- en processor-systemen, sensoren en opto-elektronica zijn informatiesystemen gebaseerd op high-performance computing, parallelle verwerking en geavanceerde signaal- en beeldbewerking of communicatietoepassingen gebaseerd op draadloze netwerken niet denkbaar. Tot de essentiële *enabling* technologieën behoort ook materiaaltechnologie (optische materialen, materialen voor halfgeleiders).

Tabel 2. *Informatie- en communicatietechnologie en andere technologiegebieden*

TECHNOLOGIEGEBIED	RELATIE MET INFORMATIE- EN COMMUNICATIETECHNOLOGIE
Materiaaltechnologie	Materialen voor halfgeleiders, dataopslag; computational materials science
Procestecnologie	Procesautomatisering, simulatie, ontwerp
Elektronica	Chiptechnologie; Optische materialen (glasvezel); Signaalverwerking; Digitale technologie
Computational modelling & Simulation	High performance Computing als enabling technology
Medische Technologie	Beeldverwerking, diagnosesystemen, medische communicatienetwerken
Transport- en logistieke technologie	Computer Aided Logistics, verkeersgeleidingssystemen
Engineering- en produktietechnologie	Productie-automatisering; robottechnologie, CIM, CAD/CAE

1.3 Belang van het technologiegebied

Het technologiegebied ICT is in economische zin - zeker qua potentie en groei - wereldwijd het belangrijkste technologiegebied. Tabel 2 geeft een indruk van de ontwikkeling van de Nederlandse ICT markt en de verdeling over de onderscheiden

deelmarkten¹. Het aandeel van de totale Nederlandse ICT markt in het Bruto Nationaal Produkt bedraagt circa 5%; schattingen voor 2000 komen uit op 8 %.

Tabel 3. Nederlandse ICT markt in mln. ECU's (Eito, 1994, p. 295)

	1991	1992	1993	1994	1995
1. Computer hardware	2186	1869	1886	1932	1979
2. Office equipment	528	569	542	540	545
3. Data comm. hardware	149	177	205	219	223
4. IT hardware (1+2+3)	2863	2615	2633	2690	2747
5. Software products	1087	1207	1302	1452	1591
6. Services	1910	2056	2188	2313	2429
7. Total IT markt (4+5+6)	5859	5879	6123	6455	6767
8. Total telecom	5385	5696	6047	6421	6827
9. TOTAL ICT (7+8)	11245	11574	12170	12875	13593

Het grote belang van ICT als economische sector hangt komt in de eerste plaats voort uit de talrijke *nieuwe niches* die ontstaan in de directe ICT-toepassingsgebieden. In de communicatie-industrie bijvoorbeeld videoconferencing, ISDN en draadloze telefonie/datacommunicatie; in de computerindustrie werkstations, multimedia, networked computing, notebook computers, pen-based PC's, supercomputers, etc. Op het gebied van *diensten* met name de breedbandige netwerkdiensten die hoge capaciteit datacommunicatie en integratie van video, spraak en tekst mogelijk maken. Vooral voor segmenten binnen de telecommarkt (mobiele communicatie, datacommunicatie en multimediadiensten zoals video on demand) wordt de komende jaren een uitbundige groei verwacht.

Het economisch belang van het technologiegebied komt echter bovenal voort uit het belang van ICT als enabling technology of kerntechnologie in eindgebruikende bedrijfs- en maatschappelijke sectoren. Toepassingen in eindgebruikersectoren waarvan bijvoorbeeld verwacht wordt dat die in de komende jaren in belang zullen toenemen zijn ondermeer ICT-systemen die groei van mobiliteit van individuen en organisaties

¹ Ter vergelijking, de Europese IT&T markt (Europa van de 12, 5 EFTA-landen) had in 1993 een totale omvang van 262 mrd. ECU, bestaande uit telecom diensten (43%), computer hardware (16%) telecom apparatuur (11%), IT diensten (14%), software (8%) hardware maintenance and support (5%) en tenslotte office equipment (3%) (EITO, 1994, p. 22).

mogelijk maken (telewerken, draadloze communicatie) of groepswerk ondersteunen ('groupware'); elektronische marktwerking; automatisering van kennisintensief werk (artificial intelligence) en nieuwe monitoring- en beheerssystemen zoals predictieve diagnostiek, telemetriesystemen en navigatiesystemen. Ook voor maatschappelijke toepassingen zoals onderwijs en training, mobiliteit, milieu, ouderen- en gehandicaptenzorg zijn ICT-systemen en -toepassingen van toenemend belang

Voor wat betreft de positie van Nederland als lokatie van producerende en dienstenaanbiedende informatie- en communicatiesectoren zijn er sterke zowel als zwakke punten. Sterke punten liggen in de aanwezigheid van grote IT- en telecombedrijven met eigen R&D zoals met name Philips, IBM, AT&T, Ericsson en de aanwezigheid van een sterke media- en audiovisuele sector. PTT Telecom is een sterke en ook innovatieve dienstenontwikkelaar en -aanbieder. Er zijn ook een aantal kleinere innovatieve bedrijven op het gebied van multimedia. Daarentegen is de softwaresector relatief zwak. Ook op het gebied van telecom-apparatuur is Nederland netto een invoerland. Naast enkele grote ondernemingen (zoals AT&T) zijn slechts een gering aantal kleinere producerende bedrijven met eigen produktontwikkeling actief.

2. De onderzoekinfrastructuur

2.1 Actoren in de onderzoekinfrastructuur

2.1.1 Algemeen

R&D op het gebied van informatie- en communicatietechnologie is in Nederland, ondermeer door de bovengeschetste grote betekenis voor een grote variëteit aan sectoren en de breedte van het technologiegebied, verspreid over een groot aantal actoren en deelgebieden. Datzelfde geldt ook voor de stimulering van de onderzoekinfrastructuur op dit terrein. Recentelijk is in het Actieprogramma Elektronische Snelwegen en ook in het Nationaal Telecommunicatie Initiatief (CAPT) gewezen op de breedte en onoverzichtelijkheid van de kennisinfrastructuur op het gebied van telecom, IT en multimedia.

Wel dient hierbij bedacht te worden dat het gaat om een technologiegebied dat bij uitstek internationaal van karakter is. Kennisontwikkeling bestaat dan ook gedeeltelijk uit het op de hoogte blijven van ontwikkelingen buiten Nederland en deelname aan Europese onderzoeksprogramma's als ESPRIT, ACTS en TELEMATICS.

Tabel 4. Overzicht onderzoekinfrastructuur

CENTRA	ACCENTEN	FTE'S (incl. AIO's)
<u>UNIVERSITAIR</u> <i>Onderzoekscholen:</i> CTIT (UT) ASCI (TUD) NICI (KUN) PT (TUE) COBRA (TUE) IPA (TUE) HASR (UU)	Telematica, IT-systemen Computing sciences, imaging Cognitieve informatieverwerking Waarnemingstechnologie Opto-communicatietechnologie Computing sciences Informatica, autonome systemen	<i>Totaal: 599</i> 112 139 76 46 65 102 59
<u>FUNDAMENTEEL</u> CWI	Computing sciences, imaging	110
<u>TOEGEPAST</u> MET-TNO <i>waarin deelnemen:</i> TNO-TPD TNO-FEL TNO-TM NLR MARIN WL TRC	Gedistribueerde systemen, multimedialdiensten Beeldverwerking, software Parallele processing, telecom Human factors, user interface Computational modelling Computational modelling Computational modelling Telematica	plm. 150 zie hoofdstuk 6 zie hoofdstuk 6 zie hoofdstuk 6 30
<u>INDUSTRIËLE R&D</u> o.a. Philips, KPN, Stork, Rank Xerox, Océ, Cap Gemini, BSO, ACE, Getronics, CATV-bedrijven	Philips: Telecom, beeldverwerking, multimedia IT KPN: telecom, telematica, multimedia AT&T: netwerksystemen	
<u>OVERIG</u> SERC	Software engineering	

2.1.2 Universitair onderzoek

Ontwikkeling, toepassing en gebruik van ICT-systemen vergt input uit een groot aantal disciplines, zowel technische als niet technische. ICT is daarnaast een aspect dat in verschillende toepassingsgebieden (bijvoorbeeld landbouw, onderwijs, geneeskunde) - veel aandacht krijgt. Dit maakt dat tal van ICT-gebieden zowel als element van de discipline alsook als toepassingsgebied aan Nederlandse universiteiten worden bewerkt. Geredeneerd vanuit de *disciplines* bevindt het zwaartepunt zich daarbij bij de faculteiten voor (technische) Wiskunde en Informatica en de faculteiten voor Elektrotechniek (inclusief telecommunicatietechniek). Wel is sprake van specialisatie, bijvoorbeeld

Universiteit Twente computerarchitecturen en tele-informatica (onderzoekschool CTIT, aanwezigheid van Telematica Research Centrum), de UvA en ook de TU Delft in parallelle computing en imaging, de Rijksuniversiteit Limburg in kennistechnologie, en de Katholieke Universiteit Nijmegen, en ook de KUB, in taal- en spraaktechnologie.

Echter ook vanuit *andere faculteiten* vindt uitgebreid ICT onderzoek plaats, bijvoorbeeld natuur- en sterrenkunde, technische natuurkunde, werktuigbouwkunde, technische bedrijfskunde, geneeskunde (medische fysica, medische informatica), economische wetenschappen, wijsbegeerte, psychologie, sociale wetenschappen. Informatica en meer in het algemeen informatietechnologie is daarbij onlosmakelijk verbonden aan het onderzoeks- en onderwijsprogramma. Vanuit een geheel andere invalshoek wordt bijvoorbeeld door verschillende faculteiten rechtsgeleerdheid (KU Nijmegen, RU Utrecht, RU Leiden, UvA) of vanuit communicatiewetenschappelijk perspectief (UvA, KU Nijmegen) aandacht besteed aan ICT.

Kijken we meer specifiek naar het terrein van de *telecommunicatie* dan zijn binnen de universiteiten de belangrijkste R&D activiteiten gelokaliseerd binnen de TU Delft (mobiele communicatiesystemen, telecommunicatie infrastructuur, HDTV, componenten ontwerp) en de TU Eindhoven (Sprak-/audiosignaalverwerking, radiopropagatie, optische transmissiesystemen, antennes, digitale radiocommunicatie).

Het in Tabel 4 opgenomen overzicht van de onderzoekscholen (in brede zin, inclusief ondersteunende technologieën zoals micro-elektronica, opto-elektronica en systeemtheorie) toont ons dat er een relatief groot aantal, zowel fundamenteel als toepassingsgerichte onderzoekscholen voorhanden zijn waarin onderzoek gebundeld is. De belangrijkste zijn:

- Telematica en Informatietechnologie (CTIT) in oprichting, penvoerder UT, deelname van TUD, TUE, RU Leiden.
- Instituut voor Programmatuur en Algorithmiek (IPA), onderzoekschool in oprichting, penvoerder TUE, deelname o.a. KUN, UT, CWI, UU.
- Perception and Technology (PT) in oprichting, penvoerder TUE.
- Communicaton Technology: Basic Research and Applications (COBRA), penvoerder TUE, deelname door TUD en UT.
- Advanced School for Computing and Imaging (ASCI), penvoerder TUD, deelname onder andere door de UVA.
- Nijmeegs Instituut voor Cognitie en Informatie (NICI), penvoerder KUN, deelname voorzien door TNO-TM.
- Helmholtzschool for Autonomous Systems Research (HASR), penvoerder UU, deelname voorzien voor TNO-TM.

Inzicht in de huidige omvang van het universitaire ICT onderzoek wordt bemoeilijkt door het feit dat zoveel verschillende deelttechnologieën en disciplines van belang zijn. Dit blijkt bijvoorbeeld ook uit een SERC-onderzoek waarin slechts bij benadering de omvang van het universitaire onderzoek naar informatica(toepassingen) kon worden aangegeven². Dit werd geschat op een omvang van ruwweg 500 FTE's, bestaande uit 200-250 FTE's uit de eerste geldstroom, 170-180 FTE via de tweede geldstroom waarvan 70-80 FTE op jaarbasis te verdelen door het SION (Stichting Informatica Onderzoek in Nederland) alsmede 100 FTE bij het CWI. De derde geldstroom zou naar schatting 100-150 FTE bedragen³. Hier zullen we vooral kijken naar de inzet van publieke middelen in technisch-natuurwetenschappelijke disciplines en in technologie-ontwikkeling. Toepassing van ICT op uiteenlopende aandachtsgebieden alsmede de verschillende niet technische aspecten van ICT (denk bijvoorbeeld aan juridische aspecten, introductie van ICT in verschillende economische en maatschappelijke sectoren, communicatiewetenschappelijk onderzoek, etc.) zijn weliswaar niet onbelangrijk, maar zijn nauwelijks te achterhalen.

Uit een eerste voorlopige analyse van jaarverslagen van universiteiten blijkt dat na procestechnologie de meeste universitaire middelen worden ingezet ten behoeve van informatie- en communicatietechnologie. Uit de verdeling van universitaire middelen over de natuurwetenschappen komt naar voren dat voor wiskunde & informatica binnen de natuurwetenschappen 338 FTE beschikbaar zijn op een totale universitaire capaciteit voor natuurwetenschappen van 2977 FTE. Overigens moet ook rekening worden gehouden met het feit dat ook binnen andere natuurwetenschappen, bijvoorbeeld de elektrotechniek en de technische natuurkunde, voor het IT&T-technologiegebied relevant onderzoek plaats heeft. Kijken we vervolgens naar de capaciteit voor technische wetenschappen dan blijkt verder dat de capaciteit voor technische wiskunde en elektrotechniek, twee belangrijke disciplines voor het onderzoek op het terrein van ICT, respectievelijk 230 FTE en 346 FTE bedraagt op een totale universitaire capaciteit voor de technische wetenschappen van 2459 FTE.

Uit analyse van de verdeling van de capaciteit van onderzoekscholen (op het gebied van technisch natuurwetenschappelijke disciplines en technologie-ontwikkeling) over de verschillende als kritiek beoordeelde technologieën blijkt dat binnen de in tabel 4 genoemde onderzoeksscholen plm. 600 FTE beschikbaar is voor IT-gerelateerde technologieën.

² Onderzoek uitgevoerd door het Software Engineering Research Centre (1994), 'Scouting Information Engineering', p. 29-30.

³ Ook wordt in ditzelfde rapport opgemerkt dat door de 'bevriezing' als gevolg van het in 1982 ingevoerde systeem van voorwaardelijke financiering waarschijnlijk nadelig is voor het informatica-onderzoek. In 1982 stond het informatica-onderzoek nog in de kinderschoenen en had dus een kleinere omvang dan nu wenselijk zou zijn.

Analyse van het wetenschapsbudget 1995 leert dat in totaal voor wiskunde en computer wetenschappen (NABS classificatie) een budget beschikbaar is van f 136 mln., waarvan f 95 mln. direct naar de universiteiten vloeit en de rest met name via NWO. De middelenallocatie van NWO-STW is meer gericht op de hardware kant van het ICT technologiegebied. In dit verband kunnen de STW-prioriteiten chip design, componenten en micro-engineering (budget 4,4 mln., 51 manjaar) en opto-elektronica (budget 4,3 mln., 42 manjaar) worden genoemd. NWO financiert voorts via de Stichting Nationale Computerfaciliteiten (NCF) enkele supercomputers en andere geavanceerde computerfaciliteiten bij bijvoorbeeld Stichting Academisch Rekencentrum Amsterdam (SARA) en het NLR die voor het verrichten van onderzoek op veelal geheel andere terreinen dan informatietechnologie benut worden.

2.1.3 Fundamentele instituten

Een aparte positie wordt ingenomen door het vooraanstaande *Centrum voor Wiskunde en Informatica* (CWI), het instituut van Stichting Mathematisch Centrum, dat grotendeels via NWO wordt gefinancierd en waar circa 110 onderzoekers zich bezighouden met onder andere high performance computing, simulatie, autonome navigatie, parallelle architecturen, database systemen, multimedia systemen. Het door dit centrum uitgevoerde onderzoek heeft een overwegend strategisch karakter, met overigens duidelijke toepassingslijnen (bijvoorbeeld op de milieuproblematiek). Overigens behoort tot NWO ook SION, dat universitaire projecten financiert.

2.1.4 Instituten voor toegepast onderzoek

Het momenteel vorm krijgende *Multimedia en Telecommunicatie TNO (MET-TNO)* bundelt als één loket alle kennis op het gebied van informatietechnologie en telecommunicatie binnen TNO naar de markt. De belangrijkste deelnemende instituten zijn TNO-TPD, TNO-FEL, TNO-TM en TNO-BSA (het laatste instituut wordt per 1/1/1996 opgesplitst in twee instituten STB en INRO). Onderzoeksactiviteiten hebben met name plaats op gebieden als beeldverwerking, beeldinspectie, informatie beheer (ondermeer via AI), gegevens uitwisseling (Product Data Interchange, Computer Aided Logistics), documentaire informatievoorziening, beveiliging, authenticatie, human factors engineering, software engineering, virtual reality, hardware engineering, mobiele communicatie, informatiekunde (informatieprocessen, -modellering, ketenmanagement), etc. Op het gebied van de telecommunicatie is het vooral TNO-FEL dat actief is op het gebied van radiocommunicatiesystemen, antenne ontwikkeling, signaalverwerking en beveiliging. Op het gebied van telematicadiensten vinden activiteiten binnen diverse groepen plaats. Het totale aantal onderzoekers binnen TNO dat zich direct met onderzoek op het gebied van IT&T bezighoudt wordt geschat op 150 FTE.

Grote Technische Instituten zoals ECN, NLR, WL, MARIN beschikken over relevante kennis op het gebied van informatietechnologie gekoppeld aan directe toepassingsgebieden (stromingen, akoestiek, materiaalanalyse), maar bewerken dit niet als specifieke onderzoeksactiviteit. ECN is actief op het vlak van inspectiesystemen, materiaalanalyse en stromingen; NLR op het gebied van aërodynamica en vliegtuigmaterialen; MARIN en WL op het gebied van stromingen. Van belang is ook de KNMI dat computermodellen ontwikkelt en toepast op klimaatscenario's en weersverwachtingen.

Een heel specifieke rol wordt ingenomen door het *Telematica Research Centrum* (TRC). Het is opgericht met financiële ondersteuning van ondermeer het Ministerie van Economische Zaken, het Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen en IBM Nederland, Nederlandse Philips Bedrijven en Koninklijke PTT Nederland; sinds kort neemt ook AT&T deel. Het TRC voert toepassingsgerichte projecten alsmede meer fundamenteel strategisch onderzoek uit op het gebied van telematicasystemen en -diensten. Het TRC moet bijdragen aan het overbruggen van de kloof tussen wetenschap en de bedrijfspraktijk, en is ondermeer actief op het gebied van architecturen, telematicaprotocolen en standaarden en speelt verder ondermeer een rol bij de uitvoering van het IT-beleid van het Ministerie van Economische Zaken, met name bij de Telematica Gidsprojecten. Het ligt in de bedoeling dat het TRC de komende jaren uitgroeit tot een (inter)nationaal erkend onderzoekscentrum op het gebied van de telematica. De ondersteunende en wetenschappelijke staf (junior-onderzoekers, wetenschappelijke onderzoekers en seniors) van het TRC bestaat momenteel uit ongeveer 30 FTE.

2.1.5 Industriële R&D

Aanbieders op de Nederlandse markt worden gedomineerd door grote ondernemingen, in veel gevallen internationaal opererend. Echte produktie van ICT-produkten in Nederland is gering. In Nederland gevestigde ondernemingen richten zich vooral op systeemintegratie, assemblage, verkoop en aanpassing van ingevoerde produkten. De toegevoegde waarde wordt vooral gerealiseerd door middel van de levering van diensten en dienstverlening. De R&D inspanning op het gebied van ICT is in verhouding tot het volume van de op de Nederlandse markt gerealiseerde omzet gering (minder dan 1 %). Belangrijke spelers zijn ondermeer Philips, Océ, ASM, Rank Xerox, Stork. Voorts zijn er her en der bedrijven die niet zozeer R&D uitvoeren maar toch als belangrijke kenniscentra zijn te beschouwen, bijvoorbeeld Cap Gemini/Volmac, BSO/Origin, ACE (High performance computing), Tasking Software, Getronics. Genoemd kan ook de KEMA worden met kennis op het gebied van inspectiesystemen en beeldverwerking. Onderstaand zijn enkele spelers nader gepositioneerd.

Tabel 5. Spelers in industriële R&D informatie-/communicatietechnologie

PRODUKTEN, DIENSTEN	SPELERS
PRODUKTEN	Computer hardware: HP, Digital, IBM, Apple, Microsoft, SUN. Nederlandse aanbieder: Tulip. Telecommunicatie: Philips, Ericsson, Alcatel, Siemens, Getronics Beeldverwerking: Océ, Philips, TNO, Pie Medical
SERVICES (incl. systeemintegratie, onderhoud, installatie)	IT: CAP Volmac, BSO, Logica, Raet Telematica netwerkdiensten: o.a. Videotex, Cargonaut, SagittaLogica, BSO, Raet, Getronics Telematica netwerken: PTT Telecom, CAP Volmac, BSO, Logica Telecommunicatie: PTT Telecom, kabeltelevisie exploitanten, Nozema Getronics, Vitel
ADVISERING	BSO, CAP Volmac, Logica, Bakkenist, Berenschot, Twijnstra, Intercai, Coopers & Lybrand, PA, TNO

In verhouding tot informatietechnologie vindt in Nederland relatief meer R&D plaats op het terrein van de telecommunicatie. Zo worden omvangrijke research-activiteiten in Nederland verricht door AT&T (Netwerksystemen o.a. switching, SDH), Ericsson (cellulaire mobiele telefonie, paging systemen, randapparatuur zoals cordless telefoons) en Philips (HDTV, digitale audio, digitale TV). Ericsson heeft al lange tijd belangrijke research-activiteiten in Nederland op het gebied van radiocommunicatie. R&D-activiteiten van Siemens en Alcatel zijn overwegend geconcentreerd in de landen van oorsprong. De activiteiten van deze bedrijven hebben in Nederland meer het karakter van engineering en verkoop.

Op het gebied van *beeldverwerking* wordt belangrijke industriële R&D verricht door bedrijven als Philips en Océ. Niche-spelers met eigen ontwikkelactiviteit zijn Nucletron, Oldelft, Pie Medical, Stork. Met name in de medische beeldverwerking heeft de Nederlandse industrie een goede positie.

PTT Research tenslotte, kan beschouwd worden als het belangrijkste kenniscentrum op het gebied van telecommunicatie in Nederland. Onderzoek heeft ondermeer betrekking op:

- Tele-, transport- en informatiediensten: conformance testing van message handling systemen; X.400 en infrastructuur; interconnectie X.400; en Inmarsat-C diensten; documentaire informatievoorziening; multimedia vergadersystemen; digitale TV.

- Telecommunicatie infrastructuur: internode straalverbindingen; optische transmissiesystemen; nieuwe architecturen; breedbandnetwerken voor geavanceerde diensten; narrowcasting, beveiliging; intelligente netwerken; beveiligingsmodellen.
- Overig: spraakherkenning, voice response.

Op een aantal terreinen werkt PTT Research samen met andere bedrijven (bijvoorbeeld op het gebied van cryptografie/beveiliging).

Op het brede terrein van ICT zijn tenslotte een groot aantal adviesbureaus actief. Naast de bovengenoemde ICT-adviseurs met een duidelijke specialisatie in deze richting, beschikt elk zichzelf respecterend groter adviesbureau of management consultancy over een adviespoot op het terrein van ICT. Dit niet in de laatste plaats omdat invoering of vernieuwing van ICT-systemen gepaard gaat met organisatorische aanpassings- en leerprocessen. In de organisatorische, maar vooral ook de technische sfeer zijn een groot aantal vooral kleinere ingenieurs- en adviesbureaus actief die in specifieke deelsegmenten, al dan niet gekoppeld aan activiteiten op het gebied van handel, ontwerp en installatie advieswerkzaamheden verrichten.

2.1.6 Overig (branche-organisaties, intermediairs)

Verschillende branche-organisaties zijn actief op het terrein van ICT. Vifka Informatica (hardware) en de COSSO (software) zijn samengegaan tot FENIT. De FENIT ontplooit activiteiten op het gebied van industriële automatisering, beveiliging, telecommunicatie, standaarden en protocollen, document processing, kantoorapparatuur enz. Een buiten deze fusie gebleven deel van de VIFKA, Vifka Telecommunicatie (producenten en importeurs/leveranciers op telecomgebied) is inmiddels samengegaan met Vermocom (mobiele telecommunicatie).

Op het gebied van ICT ontplooit ook Holland Elektronica (Vereniging FME), belangen behartiger van de produktie-gerichte bedrijven, activiteiten op onder andere het gebied van procesautomatisering, produktie-automatisering, gebouwbeheer, datacommunicatie, telematica, etc. Holland Elektronica is in principe in een goede positie om de aanbodkant van de markt en met name de kleinere bedrijven te verzamelen.

De elektrotechnische handelaren en installateurs zijn verenigd in de UNETO. Een aantal installatiebedrijven heeft zich de kant van de telecommunicatie en datacommunicatie op bewogen. Vooral bekabeling, netwerkontwerp en -installatie en CATV en Gebouwenbeheersing systemen staan in de aandacht. Het Uneto Innovatiecentrum heeft belangrijke activiteiten opgestart op het gebied van netwerk kabelsystemen en ISDN. De Uneto besteedt hierbij veel aandacht aan scholing en onderwijs. Andere relevante branche-organisaties zijn onder andere VECAI (kabelexploitanten) en VEFICA (producenten en importeurs van communicatie-apparatuur).

2.1.7 Stimulering van wetenschap en technologie

Op het nationale niveau zijn al sinds het begin van de jaren '80 de Ministeries van O&W, EZ en LNV betrokken bij stimulering van de onderzoekinfrastructuur op het gebied van ICT. Aanvankelijk kwam dit stimuleringsbeleid tenminste voor een deel⁴ tot stand als onderdeel van het in 1984 gelanceerde grootschalige en nog sterk aanbodgerichte Informatica Stimuleringsplan (INSP, 1984-1988, f 1,7 mrd.). Vooral van belang hierbij was SPIN (strategisch informatica onderzoek). Verder is in dezelfde periode het Ministerie van V&W zich nadrukkelijker gaan roeren op het gebied van ICT-toepassingen, niet alleen op het gebied van de telecom-regulering, maar ook op het thema 'telematica in verkeer en vervoer'.

Voor wat betreft het onderwijs investeerde het Ministerie van OC&W tot 1993, gedeeltelijk als overloop uit het INSP-programma, vooral in "uitrusting" van de verschillende onderwijsvormen: aankoop van hard- en software, ontwikkeling courseware en (na-)scholing van docenten. Vanaf 1993 wordt er niet meer op een dergelijke schaal geïnvesteerd in ICT als apart beleidsthema, maar is de aandacht voor ICT meer geïntegreerd in het reguliere onderwijsbeleid. In de INSP periode werd eveneens geïnvesteerd in de research-infrastructuur. Stimulering op het gebied van de micro-elektronica, de informatica en niet in de laatste plaats SURF-net stonden daarbij centraal. Ook op het gebied van de research-infrastructuur geldt dat de periode van grootschalige stimulering is beëindigd. Wel worden in het kader van het wetenschapsbeleid accenten gelegd op ondermeer telematica-onderzoek⁵ en High Performance Computing and Networking (Wetenschapsbudget 1995, p. 16). Ook lijkt het Ministerie voor zowel het microelektronica-onderzoek alsook het ruimere IT-onderzoek in zijn geheel te mikken op een verschuiving van component-gericht onderzoek naar systeemgericht onderzoek (Wetenschapsbudget 1995, p. 30). Verder zal OC&W eveneens bijdragen in een verdere verruiming van de communicatiemogelijkheden in het kader van SURF-net.

Het Ministerie van EZ besteedde in de post INSP-periode, naast de uitgebreide voortgaande aanbodgerichte micro-elektronicastimulering vooral gericht op Philips, meer aandacht aan kennisdiffusie en riep een relatief groot aantal overwegend kleinschalige stimuleringsinstrumenten in het leven. Genoemd kunnen ondermeer worden stimuleringsregelingen zoals Telematica Gids Projecten (samenwerkingsgericht), PBTS-IT (bedrijfsgericht), DiIN (demonstratieprogramma), IOP IC-Technologie,

⁴ Zo maakten de zeer omvangrijke bijdragen in de jaren '80 van de Ministeries van O&W en EZ aan de totstandkoming van SURF-net slechts gedeeltelijk onderdeel uit van het INSP.

⁵ Zo droeg OC&W, samen met ondermeer EZ, financieel bij aan het in 1992 opgerichte Telematica Research Centrum.

IOP Opto-Elektronica, SBI (branchegebijze informaticastimulering), VEDI (stimulering toepassing EDI) en SBV (stimulering toepassing videotex). Het IT-beleid van EZ werd in 1992 geëvalueerd door Butler Cox. Dit bureau deed naar aanleiding hiervan ondermeer de aanbeveling om meer aandacht te geven aan infrastructurele voorzieningen (o.a. telematica infrastructuur, onderwijs, normalisatie en samenwerkingsprojecten tussen bedrijven en kennisinstellingen). Deze aanbeveling is overgenomen in de EZ-nota 'IT-beleid in de jaren negentig'. Met deze nota wordt sterker dan voorheen het accent gelegd op versterking van R&D capaciteit van IT-aanbieders, het stimuleren van toepassing en gebruik van IT, versterking van de marktorientatie van openbare R&D en versterking van de IT-infrastructuur (pilots, telematica onderzoek). IT-stimulering heeft ook plaats via innovatiecentra, en via het CME op het gebied van micro-elektronica.

Het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij stimuleerde in dialoog met de verschillende partijen binnen het agrarische cluster ontwikkeling en toepassing van ICT binnen onderzoek, onderwijs en de marktsector. Als eerste van de drie bij het INSP betrokken Ministeries volgde dit Ministerie een meer vraaggeoriënteerde benadering en is het ICT-beleid onderdeel geworden van het reguliere beleidsinstrumentarium.

Het Ministerie van Verkeer en Waterstaat treedt op het gebied van telecommunicatie enerzijds regulerend en controlerend op, anderzijds bevorderend voor wat betreft de telecommunicatie-infrastructuur. V&W ondersteunt voorts activiteiten op het gebied van telematica in verkeer en vervoer, telewerken en teleleren.

Inmiddels is steeds meer de situatie ontstaan waarbij ICT niet langer als een apart technologiegebied wordt gezien met een eigen arsenaal aan stimuleringsinstrumenten. Wel worden binnen dit technologiegebied specifieke thema's benoemd die voor aparte stimulering in aanmerking komen, bijvoorbeeld via ICES-projecten die bedoeld zijn ter versterking van de kennisinfrastructuur, en het in december '94 gepresenteerde Actieprogramma Elektronische Snelwegen dat meer op de totstandkoming van toepassingen is gericht. ICES projecten met een belangrijke IT-component zijn allereerst HPCN, voorts ook het Land-Water-Impuls programma (LWI), Transporttechnologie en Agroketenkennis. Met de verschillende ICES-programma's met een IT component zijn per programma bedragen gemoeid van 35-40 mln (LWI: 40 mln, HPCN: 35 mln, Transporttechnologie: 35 mln). De aangekondigde acties voor het Actieprogramma Elektronische Snelwegen moeten nog grotendeels vorm krijgen. Het programma kent een omvang van 5 Mf in 1996 oplopend tot 70 Mf per jaar in 1998.

Het technologiegebied ICT is ook op het Europese niveau sinds het begin van de jaren 80 ruim ondersteund. Hoewel het budget voor IT&T stimulering in het Vierde Kaderprogramma in relatieve termen is teruggebracht tot 28% van de budgetruimte (was 38%) is desalniettemin sprake van een toename in absolute termen tot een bedrag

van ruim 3,4 mrd. ECU's in het Vierde Kaderprogramma. Het blijft daarmee met voorsprong het grootste onderdeel daarvan. In dit programma wordt voor wat betreft IT prominent aandacht besteed aan software technologie (methoden en hulpmiddelen voor het produceren van software intensieve systemen), multimedia technologie, Open Microprocessor Initiatief (OMI), High Performance Computing. Onderzoeksprogramma's rond IT&T voor de komende tijd zullen zich richten op:

- Ontwerp- en engineeringtechnologie voor software-intensieve systemen;
- High Performance Computing & Networking (HPCN) en toepassingen daarvan in industrie en handel;
- Geavanceerde systemen voor gebruik in kantoor en huis;
- Computer Integrated Manufacturing en Engineering.

Naast dit IT-programma zijn van belang de aflopende grote programma's AIM (medische informatiesystemen) en DRIVE (informatietechnologie en transport), en de meer recent gestarte programma's ACTS (telecommunicatietechnologie) en TELEMATICS (telematica). Nederlandse onderzoeksinstituten nemen in relatief aanzienlijke mate deel in deze programma's.

De Commissie heeft verder na het verschijnen van Delors' White Paper *'Growth, Competitiveness, Employment: The Challenges and Ways Forward into the 21st Century'* een relatief korte tijd verschillende ideeën (Rapport High-Level Group on the Information Society Bangemann, Actieplan Europese Commissie naar aanleiding hiervan, G-7 conferentie Februari '95 gewijd aan de Information Society, etc.) gelanceerd om te komen tot hoge capaciteitsnetwerken ten behoeve van de ontwikkeling van multimedia diensten.

2.2 Relatienetwerken

Tabel 7 beschrijft een aantal relatienetwerken die ontstaan zijn vanuit verschillende vormen van onderzoekstimulering of vormen van samenwerking. Vele projecten in de sfeer van telecommunicatie, telematica en multimedia kunnen alleen worden uitgevoerd wanneer meerdere partijen hun kennis en ervaring inbrengen. Hierdoor is een scala van projectmatige netwerken ontstaan.

Tabel 7. Overzicht van relatienetwerken

KADER	RELATIENETWERK
Verschillende stimuleringsregelingen EZ (Telematica Gids Projecten, SBI-regeling, VEDI (EDI), SBV (Videotex))	Groot aantal grote en vooral middelgrote en kleinere bedrijven, al dan niet branche-gewijs. Voorbeeldwerking en demonstratie belangrijk aspect. Met name de EDI-en TGP-projecten leiden tot relatienetwerken.
Telematica Research Centrum	KPN, IBM Nederland, Nederlandse Philips-bedrijven, AT&T, Ministerie van EZ, Ministerie van OC&W, Universiteit Twente
STW	Samenwerking tussen universitaire onderzoeksgroepen en bedrijven (bijvoorbeeld samenwerking tussen TUE en PTT Research, Estec, PTT Telecom, NIVR, Vitel Communicatie, NKF Kabel, BTS naar radiopropagatie via satelliet)
IOP Opto-elektronica	TU's, AMOLF, KUN, TNO-FEL, TNO-TPD, AT&T, KPN, Philips, AKZO, etc.
Onderzoeksscholen (zie Tabel 5)	De meeste onderzoeksscholen zijn samenwerkingsverbanden van enkele universitaire onderzoeksgroepen. Alle universiteiten zijn vertegenwoordigd, hoewel de TU's een relatief groter aandeel hebben. Andere deelnemers zijn ondermeer CWI, TNO-TM, Dr. Neher Laboratorium PTT en Philips NatLab.
ICES	Met name HPCN: TNO, CWI, universiteiten, bedrijven.
Europese onderzoeksprogramma's; Eureka	Nederlandse bedrijven nemen in aanzienlijke mate deel aan programma's zoals ACTS, TELEMATICS en Eureka. Gaat om internationale netwerkvorming. Relevante partijen zijn ondermeer PTT Research, Philips, AT&T Network Systems, Ericsson; vooral echter de universiteiten en CWI.
Centrum voor Beeldbewerking en Patroonherkenning	TU Delft, TNO-TPD, UVA
Platform HDTV	Ondernemingen uit de media- en telecommunicatiesector; overheid
Platform Telewerken	Ministerie van V&W, Ministerie van EZ, Philips, Teleac, Consumentenbond, etc.

3 Evaluatie onderzoekinfrastructuur

Informatie- en communicatietechnologie is een kerntechnologie in alle clusters en ook vanuit maatschappelijk opzicht moet dit brede technologiegebied als zeer belangrijk worden aangemerkt. Deze brede inzetbaarheid alsook het grote belang dat aan ICT wordt gehecht, verklaart wellicht ook waarom een aantal partijen de publieke kennisinfrastructuur deels nog als onvoldoende doorzichtig en onvoldoende toepassingsgericht ervaart (zie ook Actieprogramma Elektronische Snelwegen, 1994). Deze constatering zou bijvoorbeeld van toepassing zijn op een belangrijk gebied als multimedia met thema's als beeldverwerking, gedistribueerde interactieve systemen en multimedia informatiediensten. De onderzoekinfrastructuur zou op belangrijke punten te weinig toepassingsgericht, te weinig gebundeld en te *monodisciplinair* zijn. Overigens speelt daar ook de noodzaak om te komen tot een versterking van de industriële basis (software en hardware) een rol. Aan de discussie rond de uitgangspositie van Nederland op het gebied van multimedia is in december 1994 met de presentatie van het Actieprogramma Elektronische Snelwegen een nieuwe impuls gegeven. In dit actieprogramma zijn ondermeer de sterke en zwakke punten van de Nederlandse uitgangspositie opgesomd (Tabel 8).

Tabel 8. Sterke en zwakke punten ICT-infrastructuur

STERKE PUNTEN	ZWAKKE PUNTEN
<ul style="list-style-type: none"> - aanwezigheid grote internationale IT&T-bedrijven incl. R&D - relatief sterke uitgeverij-sector - actieve AV-sector en telecom-operator - enkele innovatieve software- en telematica-bedrijven - relatief goed ontwikkelde basisinfrastructuur - hoge scholingsgraad beroepsbevolking - ervaringen met voorlopers van elektronische snelwegen 	<ul style="list-style-type: none"> - beperkte omvang Ned. thuismarkt - aarzelende vraag in de markt naar nieuwe elektronische diensten - achterblijvende strategische waardering van IT&T bij het Nederlandse bedrijfsleven - relatief hoge tarieven, trage introductie en soms matige kwaliteit van geavanceerde telecomdiensten - kabel-TV-infrastructuur versnipperd qua beheer & techniek - kennisaanbod onderzoeksinstituten breed en ondoorzichtig

Bron: Actieprogramma Elektronische Snelwegen, 1994, p. 9.

Tegelijkertijd wordt geconstateerd dat de toepassingskansen groot en de academische speerpunten sterk zijn op terreinen als HPCN en beeldverwerking. Belangrijke dragers van de kennisinfrastructuur op het gebied van beeldverwerking zijn Philips, Océ, Stork, TNO, CWI, TUD, Shell.

In het Actieprogramma Elektronische Snelwegen wordt het verschijnsel gesignaleerd - dat nog te veel van de ontwikkelde kennis op de plank blijft liggen omdat vooral middelgrote en kleine bedrijven onvoldoende inzicht hebben in de mogelijkheden die IT biedt. Een ander probleem is dat grote bedrijven nog maar weinig van hun bedrijfs-R&D uitbesteden aan onderzoeksinstellingen. In de perceptie van bedrijven sluiten kennisinstellingen op het gebied van informatietechnologie onvoldoende aan op de behoeften van Nederlandse producenten van IT. Mede om die reden wordt bijna de helft uitbesteed aan buitenlandse onderzoeksinstellingen.

Uit het project Scouting Software Engineering, uitgevoerd door SERC, blijkt voorts dat er nog te weinig aansluiting bestaat tussen de software engineering-kennis die bedrijven kunnen toepassen en de kennis die op dit gebied door universiteiten wordt gegenereerd. Het onderzoek, dat als doel had om vraag en aanbod van software engineering-onderzoek in Nederland in kaart te brengen en een aanzet te geven tot afstemming, toont verder dat er in Nederland goede voorwaarden aanwezig zijn om een betere kennisoverdracht te realiseren. Enerzijds zeggen bedrijven veel belang te hechten aan professionele software engineering, terwijl anderzijds door de Nederlandse publieke kenniscentra veel onderzoek wordt verricht op het terrein van de software engineering. Het probleem ligt echter ook in de oriëntatie van het bedrijfsleven op handel eerder dan op eigen produktontwikkeling.

Belangrijke uitgangspunten bij toekomstig beleid ten aanzien van het technologie- en wetenschapsgebied ICT kunnen de volgende zijn:

- Belang van internationale samenwerking en deelname aan internationale onderzoeksprogramma's om toegang tot bepaalde kennisdisciplines te behouden. Beseft moet worden dat veel van het onderzoek op het gebied van IT&T internationaal verricht wordt in kaders als ESPRIT. Fundamenteel en ook toepassingsgericht onderzoek op het gebied van IT is in veel gevallen voorbehouden aan grotere bedrijven. Het is wenselijk bij Europese trends (Esprit, Eureka) aan te sluiten.
- Ontwikkeling van een monodisciplinaire kennisinfrastructuur naar een multidisciplinaire toepassingsgerichte kennisinfrastructuur. Steeds belangrijker wordt interdisciplinariteit en kennisintegratie: het *combineren* van subdisciplines en -technologieën in toepassingen. Het is daarbij belangrijk meer zicht te krijgen op middellange termijn kennisbehoeften op het gebied van IT&T en op vereiste investeringen in het kennisaanbod. Tussen kennisbehoefte op het niveau van producten en diensten en het vereiste kennisaanbod in termen van disciplines zit een totaal aan *kerncompetenties* die op nationaal niveau in stand moeten worden gehouden. Deze kerncompetenties vereisen *bundeling van disciplines en technologieën*. Eerst zou bepaald dienen te worden welke *portfolio van kerncompetenties* in stand moet worden gehouden of moet worden opgebouwd.

- Belang van *niet-technische* kennisissues naast technische kennisthema's, bijvoorbeeld samenhangend met brede toepassing en gebruik van multimedia.

Deze *niet-technische kennisissues* variëren van zeer algemene en brede issues - wat betekent een multimediale samenleving in termen van culturele diversiteit, welke sociaal-politieke veranderingen komen mogelijk voort uit invoering van de Elektronische Snelweg - tot meer specifieke vraagstukken als welke eisen stellen de nieuwe - diensten aan de diverse soorten wetgeving of hoe veranderen communicatieprocessen tussen individuen en welke factoren zijn daarop van invloed. Ook de gamma- en alfa-wetenschappen zijn derhalve van kritisch belang voor de ontwikkeling, toepassing en zinvol gebruik van reeds bestaande en nieuw te ontwikkelen informatie- en communicatie- en transactiediensten.

Mogelijke opties voor de toekomst liggen in de bundeling en integratie van onderliggende onderzoeksdisciplines in toepassingsgerichte Centres of Excellence op enkele nader te selecteren deelgebieden, bijvoorbeeld multimedia; in het creëren van nieuwe mogelijkheden voor *collectieve pre-competitieve R&D* - met name ten behoeve van het Nederlandse MKB - en in de versterking van de vereiste multidisciplinariteit in kennisontwikkeling en kennistoepassing (kennisintegratie) die benodigd is voor de praktische ontwikkeling van multimediasystemen en -diensten.

Vooraf naar aanleiding van de discussie rond de opkomst van multimedia en de informatiemaatschappij komen een aantal geheel nieuwe kennisvragen op en staat de inrichting van de Nederlandse kennisinfrastructuur op het vlak van informatietechnologie en multimedia ter discussie. Basisvragen die daarbij aan de orde komen zijn ondermeer:

- Wat is de *kennisbehoefte*, nu en straks, op het zich ontwikkelende gebied multimedia (concurrentiekracht clusters, maatschappelijke thema's).
- Hoe sterk is het huidige *kennisaanbod* (fundamentele disciplines, kerntechnologieën) en in welke mate wordt dit aanbod benut.
- Welke veranderingen zijn er in de *kennisinfrastructuur* nodig om behoefte en aanbod op elkaar af te stemmen (bundeling, transfer, centre of excellence etc.).
- Is de Nederlandse kennisinfrastructuur op het gebied van informatietechnologie en multimedia voldoende ingericht op de aanwezige kansen?
- Is het beschikbaar van onderzoek-financieringsstromen nodig?
- Is op gebied van het onderwijs en kennistransfer nadere actie nodig?
- Is de kennisinfrastructuur inhoudelijk voldoende sterk, is zij voldoende interdisciplinair, is er voldoende bundeling en samenwerking?
- Is vorming van Centres of Excellence, boven de reeds aanwezige kenniscentra, nodig; zo ja, hoe zouden dergelijk Centres of Excellence moeten worden gerealiseerd?

- Op welke terreinen kan/moet de Nederlandse kennisinfrastructuur internationaal gezien leidend zijn, op welke terreinen volgend; welke kerncompetenties moet Nederland in stand houden, opbouwen op het gebied van ICT?

Bronnen

Bilderbeek, R., P. den Hertog, H. Vethman, S. Heugens, *'Op weg naar een OCV-dienstenverkenning'*. TNO-STB (1995).

European Information Technology Observatory (1994)

Hertog, P. den, G. Fahrenkrog, *'IT adoption: can policy help? Experiences and trends in five EC Member States'*. Discussion paper within the framework of the DG XIII Public Strategy Observer Network, TNO-STB (1993)

Ministeries van Economische Zaken, Verkeer en Waterstaat, Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen, en Binnenlandse zaken: *'Actieprogramma Elektronische Snelwegen'* (1994).

Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen, *'Wetenschapsbudget 1995'*, Tweede Kamer, vergaderjaar 1994-1995, 23 965, nr. 2 (1994).

Ministerie van Economische Zaken, *'Voorstudie IOP Beeldverwerking'* (1994).

Schaffers, J.W.M., S. Maltha, G. Fahrenkrog, *'De economische betekenis van telecommunicatie voor Nederland'*. TNO-STB (1993).

Schaffers, H., *'Beoordeling van de geschiktheid van een aantal technologiegebieden voor technologiestimulering'*. TNO-STB (1994). Niet openbaar.

SERC, *'Scouting Software Engineering'* (1993).

VSNU, *'BIOS 1994. Research Schools in the Netherlands'* (1994).

Diverse jaarverslagen universiteiten, STW (1992, 1993)



6. Computational modelling & simulation



1. Omschrijving technologiegebied

1.1 Technologiegebied, disciplines

Computational Modelling & Simulation (CMS) valt te omschrijven als de ontwikkeling van wiskundige modellen en de toepassing daarvan met behulp van software en computers ten behoeve van analyse en simulatie van processen en systemen. Deze processen en systemen zijn van uiteenlopende aard, al naar gelang het object (vaste stof, vloeistoffen, gassen) en het beschrijvingsniveau (van het 'microniveau' van moleculaire processen via het 'mesoniveau' van bijvoorbeeld materiaalgedrag en stromingsverschijnselen tot het 'macroniveau' van constructies en installaties). Hierdoor is CMS een in potentie zeer belangrijke *enabling technology* met een breed toepassingsbereik in tal van economische clusters. Tabel 1 geeft een overzicht van relevante disciplines, technologieën en toepassingen.

Tabel 1. *Computational Modelling & Simulation: disciplines, technologieën, voorbeelden van toepassingen*

DISCIPLINES	TECHNOLOGIEËN	TOEPASSINGEN
<u>Basisdisciplines:</u> Numerieke mechanica Moleculaire dynamica Informatica, software Vastestoffysica Mesoscopische systemen Vloeistof-gasfysica Reologie Stromingsleer Golfpropagatie Geomechanica Chemie <u>Toepassingsdisciplines:</u> Materiaalkunde Farmacie Katalyse Biomechanica Werktuigbouw (etc)	<u>Kerntechnologieën:</u> Computational materials science Computational fluid dynamics Computational physics/chemistry <u>Ondersteunend:</u> Modelbouw en simulatie Visualisatie, beeldvorming, man-machine interfaces CAD, CAE Software engineering High Performance Computing (HPC)	<u>Micro</u> Moleculair modelleren van chemische en fysische systemen en processen <u>Meso</u> Materiaalonderzoek Stromingsonderzoek t.b.v. o.a. klimaat- en weersvoorspelling Ontwikkeling katalytische systemen, geneesmiddelen, specifieke materialen (polymeersystemen) <u>Macro</u> Analyse/ontwerp constructies Analyse en ontwerp van vliegen vaartuigen, transportfaciliteiten (pijpen) etc Simulators (transport, multimedia) Flowsheeting (proces-/fabriekssimulatie) Schaalvergroting

Voorbeelden van toepassingen zijn het ontwerpen en ontwikkelen van materialen en constructies in de vliegtuig- en automobiellndustrie; de ontwikkeling van complexe produkten zoals katalysatormaterialen, polymeerverbindingen, keramische materialen en geneesmiddelen (*drug design*); de analyse van golfpropagatie in de geotechnologie; de analyse van stromingsverschijnselen (vloeistof- en gasdynamica, het gebied wordt ook wel *computational fluid dynamics* genoemd) als element van simulatiemodellen voor klimaat- en weersvoorspelling; en processimulatie en schaalvergroting in de chemische industrie. Een zich steeds duidelijker aftekenend gebied is *computational material science*, de toepassing van reken- en modelleringstechnieken op materie-eigenschappen. Dit varieert van sub-atoomniveau (fysica) tot microstructuurniveau (materialen) en macro-niveau (constructies, materiaalgedrag).

Het gebied vertoont een snelle ontwikkeling door vernieuwingen in de informatietechnologie: processoren en computers, real-time systemen, parallelle processing, softwaretechnologie en visualisatie. Door toepassing van nieuwe rekenmethoden en computerarchitecturen wordt het daadwerkelijk realiseren van computermodellen voor de genoemde zeer complexe probleemvelden haalbaar. Naast kennis uit het domein van de informatietechnologie is evenwel diepgaande 'materiekennis' noodzakelijk, op terreinen als ontwerpen, stromingsleer, materiaalkunde, moleculaire dynamica, vastestoffysica, vloeistof- en gasdynamica, mesoscopische fysica. Inzicht in chemische en fysische systemen en verschijnselen is in toenemende mate gebaseerd op het begrijpen en modelleren van eigenschappen van structuren op moleculair niveau (*computational chemistry, computational physics*). Kennis van de chemische en fysische structureigenschappen en reactieprocessen, verkregen via 'micromodellering', ligt steeds meer aan de basis van *computational materials science*; daarnaast bestaat daar overigens een sterke empirische component van constitutieve gedragsrelaties. Inzicht in moleculaire processen in vloeistoffen en gassen ligt aan de basis van het begrijpen - en benutten - van zo verschillende verschijnselen als reologie, aëro- en hydrodynamica en meefasestroming.

Het integreren van specialistische kennis uit de genoemde domeinen is juist in het technologiegebied CMS een succesfactor. Strategisch onderzoek op dit veelbelovende gebied ligt onder meer in de bestudering van moleculaire processen in relatie tot materiaal- en vloeistofkarakteristieken en de ontwikkeling van computerondersteunde ontwerphulpmiddelen. De koppeling tussen deze niveaus is van groot belang, bijvoorbeeld bij de simulatie van mesoscopische systemen, het doorgronden van katalytische processen en het ontwerpen van geneesmiddelen.

1.2 Samenhang met andere technologiegebieden

Doordat computational modelling & simulation bij uitstek een *enabling technology* is, en het als het ware de tekentafel en de testruimte voor tal van andere technologieën

vormt, is de verwevenheid met andere technologieën groot. Een aantal voorbeelden van het gebruik van CMS is in Tabel 2 terug te vinden. Voor verdere ontwikkeling van CMS is zowel inbreng vanuit de informatietechnologie als vanuit de toepassingsgebieden noodzakelijk. Vanuit de informatietechnologie gaat het dan vooral om de inbreng van hardware en software (parallele processing, high performance computing, visualisatie). Het gaat echter tegelijkertijd om een gebied dat integratie van kennis afkomstig van specialistische vakdisciplines vereist.

Tabel 2. CMS, relaties met andere technologiegebieden

TECHNOLOGIEGEBIED	RELATIES (VOORBEELDEN)
Materiaaltechnologie	Materials engineering (ontwerp en keuze van materialen)
Procestechnologie	Vloeistof- en gasdynamica als basis voor flowsheeting, stoftransport, schaalvergroting, begrip van smeltprocessen etc.
Katalyse	Ontwerp van katalysatormaterialen vanuit begrip moleculaire eigenschappen en interacties
Produktietechnologie	CMS kan de basis vormen voor materiaalonderzoek, CAD/CAE etc
Luchtvaart- en ruimtevaart-technologie	Computational mechanics, vluchtsimulatie; analyse en simulatie van stromingsbewegingen, analyse van scheurgroei
Medische technologie	Beeldverwerking, visualisatie, high-performance computing
Civiele Technologie	Simulatie van stromingsverschijnselen, structural mechanics, constructies

1.3 Belang van het technologiegebied

Computational modelling & simulation is in vrijwel alle economische clusters een belangrijke *enabling technology*. Maakbaarheid, verwerkbaarheid, veranderbaarheid en bruikbaarheid van materialen, voorspelbaarheid van omgevingsverschijnselen (metereologie, waterbeheer) en het nabootsen van situaties (vliegtuigsimulatie, uitwerking van geneesmiddelen) worden de komende 10 jaar steeds belangrijker. In economisch zeer belangrijke sectoren zoals de bouw en civiele techniek (materiaaleigenschappen, ontwerpen van composietmaterialen), de vliegtuig- en automobielin-dustrie (materiaal- en constructie-onderzoek), de maakindustrie (ontwerp en engineering, produktsimulatie), landbouw (meteorologie; klimaatscenario's, stromingsmodellen) en communicatie en media (beeldverwerking, virtual reality) vervult computational modelling en simulatie dan ook een zeker in potentie, en op veel terreinen al in de praktijk (vliegtuigbouw, auto-ontwerp, metereologie etc.) essentiële rol. Ook bij de ontwikkeling van complexe producten zoals geneesmiddelen,

katalysatoren en polymeersystemen wordt CMS in toenemende mate toegepast. Zeer belangrijk is/wordt *computational material science* voor bedrijven als AKZO, Shell, Philips, Hoogovens, Fokker. Een belangrijk aspect van CMS is dat het doen van kostbare en tijdrovende real-life experimenten minder noodzakelijk zal zijn.

Van brede toepassing van CMS zal vooralsnog weinig sprake zijn, zeker niet in het midden- en kleinbedrijf. Een gebied als computerondersteunde *vloeistofdynamica* blijft nog beperkt tot wetenschappelijke instituten en onderzoeksinstituten, maar de potentiële gebruiksmogelijkheden zijn groot te noemen. Het toepassen van computermodellen en simulatie is op onderzoeksniveau in een aantal vakgebieden natuurlijk al wel ingeburgerd, met name in de analyse van stromingsbewegingen (NLR, Waterloopkundig Laboratorium, Marin) en in de vliegtuigindustrie (NLR; analyse van materiaal- en vormeigenschappen). CMS is als technologie toch een betrekkelijk nieuw gebied, in een nieuwe fase gekomen vanwege de hardware- en softwareontwikkelingen en ook visualisatie, dat voor wat betreft vastestofdynamica al wel, voor wat betreft vloeistof- en gasdynamica nog vrijwel niet door ontwerpers wordt toegepast maar vooral nog door onderzoeksinstituten.

2. De onderzoekinfrastructuur

2.1 Actoren in de onderzoekinfrastructuur

2.1.1 Algemeen

Op tal van plaatsen wordt aan de ontwikkeling van CMS gewerkt, deels in informatica-instituten op terreinen als parallelle processing, high-performance computing, en computerarchitecturen maar vooral in relatie tot de toepassingsvelden zoals materiaalontwerp, stromingen en imaging. Tabel 3 geeft een beeld van de Nederlandse kennisinfrastructuur.

Tabel 3. Overzicht van de onderzoekinfrastructuur

CENTRA	ACCENTEN	FTE'S (INCL. AIO's)
<u>UNIVERSITAIR</u> <i>Onderzoekscholen</i> J.M. Burgerscentrum (TUD) Hydrologie (TUD) CTG (TUD) ASCI (TUD) <i>Universitaire centra:</i> TUD, RUG, KUN, TUE, UT, UU	Stromingsleer, computational fluid dynamics, aërodynamica, hydrodynamica, reologie Hydrologie Geofysische imaging, exploratie Computational sciences, imaging Materiaalonderzoek t.b.v. vliegtuigbouw (TUD), overig (RUG, UT, TUD) Geo-exploratie (TUD) Polymeren (RUG, UU, TUE, TUD, UT) Katalyse (KUN, RUG, TUE) Keramiek (TUD) Computational Chemistry (UT,KUN)	143 - 60 139
<u>FUNDAMENTEEL</u> CWI FOM-AMOLF	High-performance computing, imaging Katalysmaterialen, polymeren	110
<u>TOEGEPAST</u> TNO Bouw TNO-GG TNO-FEL ECN NLR MARIN WL KNMI	Constructie-analyse en -ontwerp Grondwaterstromingen High-performance computing, simulatie Materiaalkeuze, stromingen Materialen, stromingen, vliegtuigontwerp Stroming, ontwerpen, stabiliteit Stromingen, waterbeheer, constructies Stromingen, meteorologie, seismologie	- - - 111 (Engineering) 900 (totaal) 200 (totaal) 500 (totaal) 500 (totaal)
<u>INDUSTRIE</u> AKZO Hoogovens, Billiton Philips DSM Ballast Nedam Fokker etc Comprimo/STORK	Katalyse, polymeren Metalen Ontwerpen, simuleren Katalyse, polymeren Bouw, constructies Vliegtuigmaterialen, stroming Processimulatie, stroming	onbekend
<u>OVERIG</u> CIAD	Advisering computertechnieken	onbekend

De publieke onderzoekinfrastructuur omvat in hoofdzaak de drie Technische Universiteiten (met name de TU Delft als trekker van enkele hier relevante onderzoekscholen), de KU Nijmegen (moleculair modelleren, *computational che-*

mistry), het Centrum voor Wiskunde en Informatica, het FOM-instituut AMOLF, TNO (high-performance computing, simulatoren, stromingsverschijnselen, constructie-analyse) en GTI's zoals het NLR (in relatie tot vliegtuigontwerp, materialen, aërodynamica), ECN (materialen, stromingen), het Waterloopkundig Laboratorium (stromingsverschijnselen) en het MARIN (stromingsverschijnselen, *computational hydrodynamics*, vloeistofdynamica, stabiliteit van vaartuigen). Daarnaast is zeer veel kennis bij enkele bedrijven geconcentreerd, met name bij AKZO Nobel, DSM, Shell, Hoogovens, Unilever. De bundeling van kennis die nodig is voor het integreren van de benodigde kennisdomeinen in praktische toepassingen is nog grotendeels voorbehouden aan de industriële laboratoria van multinationals en publieke kenniscentra.

Daar Computational Modelling & Simulation in vele disciplines als enabling technology voorkomt is het niet goed afzonderlijk herkenbaar in budgetten en onderzoekersaantallen; wel zijn een aantal specifieke activiteiten te verbijzonderen in budgetten en aantallen onderzoekers (zie onder).

2.1.2 Universitair onderzoek

Onderzoekscholen. Op het gebied van *stromingsleer* vormt de onderzoeksschool *J.M. Burgerscentrum* een sterke universitaire kern waarin naast de TU Delft (penvoerder) de Universiteit Twente, de RU Groningen en de TU Eindhoven deelnemen. Deze onderzoeksschool heeft een omvang van 32 stafleden en 111 AIO's. Accenten liggen op computational fluid dynamics, aërodynamica, hydrodynamica en reologie. Ook in andere onderzoekscholen liggen accenten die voor het gebied CMS essentieel zijn. Zo richt de Advanced School for Computing & Imaging (ASCI) zich op computational sciences en beeldverwerking. Op het gebied van materialen zijn kernen aanwezig bij de Debye Onderzoeksschool (katalyse, materialen), MIDEG (TU Delft, materiaaltechnologie), en Materials Science Center (RUG, materiaalwetenschappen). De onderzoeksschool Hydrologie (TU Delft) richt zich op waterstromingen. Tenslotte is de onderzoeksschool Centrum voor Technische Geowetenschappen (TU Delft) actief op gebieden als op golfpropagatie en geomechanica.

Universitaire centra. Aan de *TU Delft* wordt het terrein bewerkt door meerdere faculteiten met eigen sterke punten. De faculteit Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek is sterk op terreinen zoals computational mechanics, aërodynamica, materiaalanalyse en simulatie en beschikt over de simulatiefaciliteit SIMONA. Andere accenten liggen bij de faculteiten Civiele Techniek (stromingsverschijnselen, hydrologie), Scheikundige Technologie en Materiaalkunde (materiaalgedrag), Technische Natuurkunde

(vloeistofdynamica, computational physics).¹ De *TU Eindhoven* is actief op het gebied van rekentechnieken (eindige elementen methoden, zwaartepunt op dit gebied in Nederland) met toepassingen op vloeistofdynamica en polymeersystemen. Aan de *KU Nijmegen* is het CAOS-CAMM centrum gevestigd, een expertisecentrum op het gebied van moleculair modelleren met een nationale faciliteit voor computer-aided chemistry en bio-informatica. Dit centrum biedt toegang tot software en databases op de gebieden bioinformatica, chemische reacties en synthese, 3D-databases en -modellen (moleculair modelleren), en computational chemistry & modelling. Andere belangrijke activiteiten op het gebied van computational chemistry vinden plaats in de *Universiteit Twente* (moleculair modelleren, met toepassingen in de kristallografie en biomedische materialen) en de *RU Groningen* op het gebied van biomechanica (analyse van botbreuken).

2.1.3 Fundamenteel onderzoek

Het *Centrum voor Wiskunde en Informatica* (onderdeel van Stichting Mathematisch Centrum; 110 onderzoekers) is een onafhankelijk onderzoeksinstituut en toonaangevend op terreinen zoals numerieke simulatie, real-time parallele en gedistribueerde systemen, beeldanalyse, multimedia, database management systemen. Men past deze technieken bijvoorbeeld toe op mathematische modellering van stromingsverschijnselen in het milieu, maar ook op problemen in de transport, industrie en financiële dienstverlening.

FOM-instituten zoals AMOLF (Atoom- en Molecuulfysica), NIKHEF (Kernfysica en Hoge-Energiefysica) en Plasmafysica (Rijnhuizen) maken vanuit de aard van hun werkgebied intensief gebruik van CMS. Als voorbeeld noemen we de activiteiten van FOM-AMOLF op het gebied van modellering van katalytische systemen.

2.1.4 Instituten voor toegepast onderzoek (TNO, GTI's, KNMI)

Door alle GTI's (NLR, MARIN, Waterloopkundig Laboratorium, Grondmechanica Delft en ECN) wordt toegepast onderzoek verricht op het terrein van CMS, met name rond stromingen (water, lucht) maar ook op het gebied van materialen (ECN). Daarnaast zijn TNO en KNMI belangrijke kennisaanbieders.

¹ Aan de TU Delft wordt getracht de HPCN-activiteiten te bundelen, gericht op toepassingsgericht onderzoek in de domeinen vloeistofdynamica, computational mechanics, seismiek en geowetenschappen. Hierin wordt door ondersteunende IT-vakdisciplines van de TU Delft (visualisatie, dataprocesing, parallele systemen) alsmede door relevante onderzoekscholen deelgenomen.

Het *Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium* (NLR, 900 personeelsleden) is voor wat betreft CMS internationaal vooraanstaand op de terreinen stromingsverschijnselen (aërodynamica), materialen in relatie tot vliegtuigontwerp, en vluchtsimulatoren. Aërodynamica vormt een belangrijke discipline bij het ontwerp van vliegtuigen en speelt een bepalende rol bij vleugelontwerp, de integratie van voortstuwingssystemen en *drag reduction*. Het NLR beheert faciliteiten zoals vluchtsimulatoren, een ATC (Air Traffic Control) onderzoeksimulator, testapparatuur (materialen, vliegtuigen) en een simulatieomgeving voor computational fluid dynamics (ISNaS).

Het *Maritime Research Institute Netherlands* (MARIN, 200 werknemers) is actief op terreinen als vloeistofdynamica, dynamisch gedrag van offshore constructies, stabiliteit van schepen, eigenschappen van schepen en propellersystemen en scheepssimulatoren. De groep Software Engineering ontwikkelt hydrodynamische toepassingssoftware voor de scheepsbouw en de offshore; de groep Ship Research past computational modelling toe op terreinen als voortstuwingsgedrag, cavitatie, geluid, stromingen en besturing. MARIN werkt vooral voor de scheepsbouwindustrie, de offshore en overheidsorganisaties. Door MARIN en het Waterloopkundig Laboratorium is het Maritiem Simulatie Centrum Nederland (MSCN) opgericht, dat naast onderzoek ook opleidingen verzorgt.

Het *Waterloopkundig Laboratorium* (WL, 500 werknemers, omzet 80 Mf) voert met behulp van simulatiemodellen onderzoek uit en verricht advisering op het gebied van vraagstukken die met water samenhangen (hydrologie, hydraulica, waterkwaliteit, ecologie). Daarnaast wordt onderzoek en advisering aangeboden met betrekking tot ontwerp en constructies (offshore, havens, estauria, rivieren en kanalen).

Door *Energie-onderzoek Centrum Nederland* (ECN) wordt in de groep Energie Engineering (111 onderzoekers) onder meer gewerkt aan materiaalanalyse en -karakterisering, en simulatie/visualisatie van stromingen.

Door *Grondmechanica Delft* (GD) worden reken- en simulatietechnieken toegepast op bodemkarakterisering en exploratie.

Tal van *TNO-instituten* ontwikkelen toegepaste computermodellen en simulatietechnieken. De belangrijkste TNO-instituten op dit vlak zijn TNO-FEL (simulatoren, high-performance computing), TNO Bouw (constructies, numerieke mechanica), TNO-TPD (fysische systemen), TNO GG (geo-hydrologie, geofysica), TNO-KRI (levensduurvoorspelling van materialen). TNO Bouw (Delft) heeft een computerprogramma DIANA ontwikkeld dat is gebaseerd op de eindige elementen methode. Het wordt gebruikt bij de beschrijving van gedrag van constructies. Binnen TNO Bouw wordt aandacht besteed aan niet-lineair materiaalgedrag (bijvoorbeeld beton, staal, plastics), statische en dynamische belastingsituaties, stromingsproblemen en

vervormingsprocessen. In CIAD-verband werkt TNO samen met bedrijven om kennis in de ingenieurspraktijk (bijvoorbeeld over de eindige elementen methode) over te brengen. TNO-FEL zal een belangrijke inbreng leveren in het project High-Performance Computing and Networking, te financieren uit het Fonds Economische Structuurversterking (35 Mf). TNO Technische Menskunde maakt gebruik van simulatoren in haar onderzoek naar mens-machine interfaces.

Het *KNMI* (totaal 500 werknemers) is een nationaal kenniscentrum op het gebied van weer, klimaat en seismologie. Zij beheert het Nederlands Meteorologisch Meetnet (onderdeel van een wereldomvattend meteorologisch informatiesysteem), en een klimaat datasysteem. Zij verricht onderzoek naar voorspelbaarheid, atmosfeer, oceanografie, klimaatscenario's, ozon en seismologie. In al deze terreinen speelt CMS een belangrijke rol (stromingsverschijnselen).

2.1.4 Industriële R&D

Computational modelling & simulation is een betrekkelijk nieuw gebied waarop vrijwel geen zelfstandige gespecialiseerde bedrijven of ingenieursbureaus werkzaam zijn. Wel zijn er vele *leveranciers van softwarepakketten* op het gebied van materiaaltechnologie. Op het gebied van vloeistofdynamica zijn dat er echter nog weinig². Cyclade is een voorbeeld van een klein bedrijf gespecialiseerd in software-ontwikkeling. Op het deelgebied High Performance Computing & Networking (HPCN) zijn eveneens enkele bedrijven actief, onder andere ACE; naar verwachting zullen grote softwarebedrijven zoals Roccade en CAP Volmac eveneens in HPCN activiteiten ontwikkelen. Op het gebied van vloeistofdynamica en sterkteberekeningen aan metalen is Comprimo (overgenomen door Stork) een belangrijke partij.

Bedrijven die op het gebied CMS als *gebruiker* kunnen optreden en kennis op het beschreven gebied in huis hebben zijn met name actief in sectoren als vliegtuigbouw, automobiellindustrie en bouw. Enkele voorbeelden op het gebied van materialen - één der toepassingsgebieden van CMS:

- Hoogovens: werkt op het gebied van materiaalanalyse en -bewerking samen met de universiteit van Leuven en met de TU Delft.
- AKZO, Philips, DSM: met name betreffende relaties tussen structuur en performance van materialen en molecuulcomplexen. Wat de computer voor seismisch onderzoek is geweest is nu in de chemie aan het opkomen. Bij DSM is met name kennis op het gebied van computational technieken toegepast op de ontwikkeling van polymeren aanwezig.

² Deelnemende bedrijven in een door EZ gesteund project over computerondersteunde vloeistofdynamica waren onder andere NEM, Schelde Groep, Stork Ketels, Thomassen International, DSM, Nucon Nuclear Technology, Holec, ECN, Kema, TNO, Comprimo.

- Ballast Nedam: bouwmaterialen.
- DAF, Volvo: materiaalkeuze voor de automobiellndustrie.
- Fokker: het gebied 'structuren en materialen' vormt voor haar een kerntechnologie. Fokker is sterk geïnteresseerd in bijvoorbeeld het gebied van mathematische modelvorming van plaat. In Nederland is in beperkte mate kennis hiervan bij NLR en Fokker aanwezig.

Omvangrijke kennis en ervaring is bij NLR en Fokker aanwezig als het gaat om CMS voor aërodynamica. Een ander voorbeeld op het gebied van computational fluid dynamics is Stork/Comprimo dat actief is op het gebied van verbrandingsprocessen, ketelontwerp en ontwerp van procesinstallaties.

2.1.6 Overig (branche-organisaties, intermediairs)

Het CIAD adviseert ingenieursbureaus op het gebied van computertechnieken en heeft kennis op het hier beschreven gebied (met name op het terrein van constructieproblemen).

Branche- of intermediaire organisaties zoals Stichting Collectief Onderzoek Metaal lijken geëigend voor voorlichtende en stimulerende activiteit voor wat betreft CMS voor materialen.

2.1.7 Stimulering van wetenschap en technologie

Computational modelling en simulation staat in Nederland in toenemende mate in de belangstelling.³ Een structurele activiteit is ontstaan op een kerntechnologie zoals High Performance Computing & Networking in het kader van het ICES-programma (35 Mf). Hier ligt evident een belangrijke kans om HPCN aan interessante toepassingsgebieden te koppelen. Op basis van de in 1994 uitgevoerde IOP-voorstudie Computational Materials Science zal meer steun worden gegeven aan het NWO-programma Materialen. Concreet is in het recent gestarte Stimuleringsprogramma Materialen, waarin OC&W, EZ en de NWO-stichtingen FOM, SON en STW participeren, een bedrag aan 5 Mf IOP-middelen gereserveerd ten behoeve van computational materials science.

In het kader van de NWO Stichting voor de Technische Wetenschappen worden projecten op het gebied van computational mechanics (in de civiele techniek) uitgevoerd. In 1993/1994 werd hier 3.8 Mf besteed.

³ Zie ook de NWO-publikatie 'Trends in de Wetenschap' (1995).

2.2 Relatienetwerken

Computational modelling vereist zowel materiekennis (materialen, stromingsverschijnselen etc) en informatica-kennis. Hierdoor zijn ook de netwerken meerzijdig (Tabel 4).

Tabel 4. Relatienetwerken Computational Modelling

KADER	RELATIENETWERK
PROJECTEN	NLR, Fokker, TU Delft (rekentechnieken toegepast op materiaalanalyse in de vliegtuigbouw) CWI, AKZO, Shell
STW	diverse projecten rond computational mechanics
ICES HPCN	TNO-FEL, CWI, TUD, UVA, Philips, ING, Roccade etc.
KATALYSE	AMOLF, SHELL, TUE, VU, AKZO, KUN, DSM
POLYMEREN	AMOLF, TUE, AKZO, UVA, RUG, Unilever
OPTISCHE MATERIALEN	KUN, Philips, TUD, TUE, RUG, AKZO

3 Evaluatie onderzoekinfrastructuur

De Nederlandse kennisinfrastructuur op het gebied computational modelling and simulation bevat een aantal echt sterke groepen met internationale reputatie (zowel universitair als niet-universitair). Aan computational modelling & simulation gerelateerde gebieden zijn sterk in ontwikkeling. Rond High performance Computing & Networking (HPCN) loopt een veelbelovend ICES-programma. De universitaire groepen in Nederland zijn van goed niveau. In Nederland is sprake van traditie op het gebied CMS. De kwaliteit van de technisch-wetenschappelijke infrastructuur wordt algemeen, ook internationaal, als zeer goed beoordeeld, met name op specifieke toepassingsgebieden zoals katalyse. Internationaal excelleren bijvoorbeeld de TU Eindhoven (katalyse), AMOLF, KU Nijmegen (elektron structuren). Er zijn sterke, maar meestal informele netwerken zowel binnen Nederland als met internationale partijen. NLR vormt daarvan een goed voorbeeld.

Teneinde de concurrentiepositie van de Nederlandse industrie voldoende sterk te houden is het nodig te stimuleren dat de betrokken kenniscentra (NLR, MARIN, WL, CWI, KNMI, TNO, ECN) in nationaal verband onderzoek uitvoeren en de banden met gebruikers in de industrie versterken. Deskundigheid in de industrie bestaat reeds bij een selecte groep bedrijven (Philips, DSM, Shell, Fokker, Ballast Nedam) naast bij een aantal ingenieursbureaus (onder andere Comrimo/Stork). Doelstelling voor de toekomst kan zijn het verder versterken van de koppeling tussen fundamentele R&D en toegepaste R&D alsmede softwareontwikkeling. De nu nog smalle kennisinfrastructuur kan versterkt worden door bundeling.

Bronnen

Jaarverslagen/WWW-sites universiteiten, TNO, ECN, MARIN, KNMI, CWI, NLR, WL (1993-1994).

Ministerie van Economische Zaken, *'Vorstudie IOP Computational Materials Science'* (1994).

NWO, *'Trends in de Wetenschap. Achtergronddocument bij "Kennis Verrijkt", Beleidsnota NWO 1996-2001'* (1995).

TNO-STB, *'Beoordeling van de geschiktheid van een aantal technologiegebieden voor technologiestimulering'*. Auteur: H. Schaffers (1994).

7. Biotechnologie



1. Omschrijving technologiegebied

1.1 Technologiegebied, disciplines

Biotechnologie is het gebruik maken van levende organismen of delen daarvan voor het vervaardigen van produkten. Biotechnologie maakt gebruik van moleculaire mechanismen en processen in 'natuurlijke' biologische systemen. Het is een technologiegebied dat sterk multidisciplinair is, getuige ook de grote lijst met wetenschapsdisciplines en het brede scala van technologieën (tabel 1). De kern wordt gevormd door de disciplines moleculaire biologie/genetica, celbiologie, microbiologie, biochemie, enzymologie en bioprocestechnologie. Van groot belang is kennis van de onderliggende mechanismen in levende systemen, zoals immuunsystemen en moleculaire biologische processen. Kenmerkende technologieën zijn bioprocestechnologie, fermentatie, eiwitontwikkeling, immobilisatie, en 'genetic engineering'. De toepassingen liggen op uiteenlopende terreinen zoals agro/voeding, genotmiddelen, geneeskunde (geneesmiddelen), landbouw, milieu.

Tabel 1. *Biotechnologie: disciplines, technologieën, toepassingen*

DISCIPLINES	TECHNOLOGIEËN	TOEPASSINGEN
biochemie microbiologie procestechnologie biophysische chemie cel biologie moleculaire biologie moleculaire genetica protein engineering enzymologie immunologie biokatalyse phytotechnologie medische biologie plantenveredeling dierenveredeling levensmiddelentechnologie milieubiotechnologie gezondheidsonderzoek	Genetische modificatie (o.a. voor eiwitontwikkeling) Bioprocestechnologie Hybridomatechnieken Fermentatie RNA- en DNA-merkertech- nieken Recombinant DNA Weefselkweektechnieken Celfusie Immobilisatie voor enzymen Biodetectie Embryo-transplantatie Klonering	Gewasbescherming Plantenveredeling Plantenvermeerdering Dierenveredeling en -voort- planting Geneesmiddelen (o.a. anti- lichamen, vaccins) Enzymen voor toepassing in wasmiddelen, voedingsmid- delen, gezondheid Sensoren (bio-, enzym- en immuno) in combinatie met micro-elektronica MCA-detectiesystemen Probiotica Diagnostische tests (DNA- en RNA-probes) voor verschil- lende toepassingen Polypeptide hormonen

1.2 Relatie met andere technologiegebieden

Biotechnologie kent een inhoudelijke overlap met de gebieden *processtechnologie* en *katalyse*. Veel kennis vanuit deze gebieden wordt gebruikt voor het ontwerp van bioreactoren en bioprocessen. Biotechnologie wordt tevens ingezet als toepassing op andere gebieden. In de *milieutechnologie* gebeurt dit bij in situ bodemreiniging. Biologische reinigingstechnieken worden ook ingezet bij het zuiveren van afvalwater. Verder speelt zeer veel biotechnologie-onderzoek zich af op medisch gebied (geneesmiddelenontwikkeling, biocompatibele materialen). In tabel 2 zijn de relaties tussen biotechnologie en de overige gebieden weergegeven.

Tabel 2. *Relaties biotechnologie met andere besproken technologiegebieden*

TECHNOLOGIEGEBIED	SAMENHANG MET BIOTECHNOLOGIE
Materiaaltechnologie	Biomaterialen, biosensoren
Processtechnologie	Bioreactoren, bioprocesstechnologie, food technology
Voedingsmiddelentechnologie	Planten- en dierveredeling, enzymen, eiwitten en andere ingrediënten voor voedingsmiddelen, bioprocesstechnologie
Katalyse	Biokatalyse
Milieutechnologie	Biologische reiniging, bodemreiniging (milieubiotechnologie)
Medische Technologie	Vaccins, antilichamen, bio-implantaten

1.3 Belang van het technologiegebied

Hoewel het commerciële succes nog bescheiden is (niet alleen in Nederland maar internationaal), is het potentiële economische belang van de biotechnologie groot. Met name in de geneeskunde, maar ook in sectoren zoals de voeding, chemie en de landbouw (in totaal 18 % van de totale omzet en 34 % van de totale export in Nederland). In de farmasector heeft toepassing van biotechnieken reeds tot nieuwe producten en verbetering van bestaande producten geleid (veterinaire vaccins, diagnostische kits, MCA-detectiesystemen). In de dierlijke sector worden biotechnieken nog weinig toegepast. Hieraan is debet de problematische maatschappelijke acceptatie van de genetische modificatietechnieken. Toepassing van biotechnieken richt zich voornamelijk vooral op het voortplantingsonderzoek (veredeling) en ontwikkeling van geneesmiddelen. Toepassing in de plantensector is verder gevorderd in die zin dat verschillende, met behulp van biotechnieken veredelde gewassen binnen enkele jaren op de markt zullen komen. De maatschappelijke discussie over 'Novel Foods' heeft geleid tot de totstandkoming van de Warenwetregeling Nieuwe Voedingsmiddelen. Deze verplicht bedrijven die een voedingsmiddel op de markt willen brengen dat met

behulp van genetisch gemodificeerde organismen is vervaardigd, een ontheffing in het kader van de Warenwet aan te vragen. Een rol speelt ook de interesse van de consument in dierenwelzijn. Overigens is regelgeving in relatie tot biotechnologie ook van belang bij milieutoepassingen. Uit het voorgaande blijkt dat maatschappelijke acceptatie en (op het nationale en het EG-niveau) produktregelgeving belangrijke factoren zijn voor de toepassing van biotechnologie. Onzekerheid betreffende deze factoren, met name waar het gaat om voedingsmiddelen en geneesmiddelen, beïnvloedt uiteraard de ontwikkelingsperspectieven van biotechnologie.

In de Verenigde Staten is de biotechnologie-industrie tot groei gekomen (bekend zijn bedrijven als Genentech, Amgen, NeoRx, Genzyme, Chiron) maar ondanks de aanwezigheid van winstgevendende bedrijven - in bijvoorbeeld de geneesmiddelenontwikkeling - lijdt de sector als geheel (ruim 1300 ondernemingen) verlies. Overigens zegt dit niets over de wetenschappelijke perspectieven en de toekomstige kansrijkheid van het gebied. De belangrijkste toepassingen, zo'n 70 % van de markt, liggen in de medische hoek (therapeutica, diagnostica).¹

2. Onderzoekinfrastructuur biotechnologie

2.1 Actoren in de onderzoekinfrastructuur

2.1.1 Algemeen

De biotechnologische onderzoekinfrastructuur omvat veel typen actoren en ieder van deze actoren leveren aanzienlijke onderzoeksinspanningen. Het betreft universiteiten (met de Associatie van Biotechnologie Onderzoekscholen in Nederland, ABON, als kern), TNO- en DLO-instituten, enkele specifiek voor biotechnologisch onderzoek opgerichte bedrijven en bedrijven in veel verschillende sectoren van de Nederlandse economie (landbouw, voedings- en genotmiddelensector, chemie en farmacie, milieusector en instrumenten- en apparatenbouw). Met name de grote bedrijven in deze sectoren voeren zelf biotechnologisch onderzoek uit (Gist-Brocades, DSM, AKZO, Unilever) naast enkele kleinere (Key Gene, Pacques). Tabel 3a geeft een overzicht van de Nederlandse kennisinfrastructuur; tabel 3b gaat in meer detail in op de ABON-onderzoekscholen.

¹ Zie ook: 'Biotechnology and genetics', The Economist, February 25th (1995).

Tabel 3a. Onderzoekinfrastructuur biotechnologie

CENTRA	ACCENTEN	FTE'S (incl. AIO's)
UNIVERSITAIR		
<i>Onderzoekscholen ABON:</i>		<i>Totaal ABON: 635</i>
Bio Centrum Amsterdam (BCA: UvA, VU)	Micro-organismen; Plantenbiotechnologie; Dierlijke cellen (beperkt); Structuur en functie van biomoleculaire 'assemblies'.	188
Biotechnological Sciences - Delft Leiden (BSDL: TUD, RUL, LUW, TNO-Voeding)	Bioconversie; Fysiologie en genetica van micro-organismen; Plantencelbiotechnolo- gie; Bioreactorontwerp en down-stream processing; Milieubiotechnologie	156
Groningen Biomoleculaire Sciences and Biotechnology (GBB: RUG)	Biomacromoleculen; Structuur-functie rela- ties; Protein engineering; Schaalvergroting en reactorontwikkeling.	114
Voeding, Levensmiddelentech- nologie, Agrobiotechnologie en Gezondheid (VLAG; LUW, KUN, UU, DLO- Instituten: ATO, Rikilt; TNO- Voeding, NIZO)	Verwerkingsprocessen (micro-organismen; enzymen); Biotechnologische productiepro- cessen; Bioreactor- en membraanschei- dingsproces-ontwikkeling	105
Experimentele Planten- wetenschappen (EPW; LUW, UU, KUN, DLO-instituten: CPRO, IPO, AB, ATO)	Plantenontwikkeling en differentiatie; Ziek- te en resistentie; Stofwisseling, energiehuis- houding.	72
<i>Overig universitair:</i> Centrum voor Fytotechnologie (RU Leiden, TNO)	Moleculaire plantenveredeling	-
Leiden Amsterdam Centre for Drug Research (LACDR: RU Leiden, UvA)	Moleculaire mechanismen en geneesmidde- lenontwikkeling; plantenceltechnologie, bio- farmacie	53
Utrecht Instituut voor Molecu- laire Biologie en Medische Biotechnologie	Polypeptide hormonen etc.	-
KU Nijmegen	Landbouw-georiënteerde biotechnologie; medische biotechnologie. SON-onderzoeks- centrum.	-

CENTRA	ACCENTEN	FTE'S (incl. AIO's)
<u>TOEGEPAST</u> TNO Voeding TNO-PG TNO-MEP DLO (ATO, CPRO, IPO, AB)	Food technology, enzymen Moleculaire genetica Milieubiotechnologie Agrobiotechnologie, plantenveredeling (etc)	TNO: 120 270
<u>INDUSTRIE</u> Gist Brocades Unilever AKZO Organon DSM Andeno Mogem Keygene NIZO (collectief)	Enzymen, gisten Enzymen Geneesmiddelen Halffabrikaten farmaceuticals, biokatalyse Plantenveredeling Zaadveredeling Zuivel	-
<u>OVERIG</u> NIABA NVZP	Biotechnologie-organisatie bedrijfsleven Advisering onderzoek zaai- en pootgoed	

Kwantitatieve gegevens over R&D op het gebied van biotechnologie zijn beperkt. In de vijf centrale onderzoekscholen gaat het om ongeveer 630 FTE (inclusief AIO's).

2.1.2 Universitair onderzoek

De belangrijkste centra voor biotechnologisch onderzoek zijn de vijf onderzoekscholen, verenigd in de Associatie voor Biotechnologische Onderzoekscholen in Nederland (ABON). ABON is tot stand gekomen mede op initiatief van OC&W en omvat de onderzoekscholen BSDL, VLAG, EPW, BCA en GBB. De ABON heeft, in nauwe samenwerking met het bedrijfsleven (verenigd in de NIABA) een onderzoekprogramma 1995-1999 opgesteld dat door de betrokken onderzoekscholen wordt uitgevoerd. Het onderzoek binnen de ABON richt zich op vier industriële onderzoeksthema's: structuur/functie relatie-onderzoek, resistentie-onderzoek bij planten, metabolic pathway engineering en geïntegreerde bioprocess engineering. Een voorbeeld van een ABON-onderzoekschool is BSDL. Hierin participeren de TU Delft, de RU Leiden en ten dele de LU Wageningen. Ook TNO participeert in deze onderzoekschool. Het onderzoek bij BSDL is geconcentreerd rond drie sectoren: industriële biotechnologie, industriële plantenbiotechnologie en milieubiotechnologie. Bioprosesontwikkeling staat hier centraal. De onderzoekschool VLAG, waarin naast de LUW, KUN en UU ook DLO-Instituten ATO en RIKILT, TNO-Voeding, en het NIZO deelnemen, heeft sterke kernen in biotechnologie-onderzoek gericht op voeding (voedingsbiotechnologie, agrobiotechnologie). Een overzicht van ABON-onderzoekscholen en hun onderzoeksaccenten is in Tabel 3b opgenomen.

Tabel 3b. Onderzoescholen ABON

CENTRA	ACCENTEN	FTE'S (incl. AIO's)
<u>BCA (UvA, VU)</u> Moleculaire Celbiologie (UvA, VU) Microbiologie (UvA) Biochemie & Molecul. Biologie (VU) Plantenfysiologie & Biochemie (VU) Genetica (VU) Chemische Technologie (UvA) E.C.Slater Instituut)	Micro-organismen (bacteria, gisten en schimmels); Plantenbiotechnologie; Dierlijke cellen (beperkt); Structuur en functie van biomoleculaire 'assemblies'.	ca. 188 (inclusief ca. 120 aio's)
<u>BSDL (TUD, RUL, TNO-Voeding)</u> Microbiologie en Enzymologie (TUD) Biochemical Engineering (TUD) Biochemie (RUL) Cellulaire biologie & genetica (RUL) Molecul. Plantenbiotechnologie (RUL) Pharmacognosie (RUL)	Bioconversie (goede aansluiting bij industrie); Fysiologie en genetica van micro-organismen; Plantencelbiotechnologie; Bioreactorontwerp en down-stream processing; Milieubiotechnologie	156 onderzoekers; ca. 60 vaste medewerkers, ca. 100 aio's
<u>GBB (RUG)</u> Moleculaire biologie Biotechnologie Moleculaire genetica Microbiologie	Ruimtelijke structuur van biomacromoleculen (BIOSON); Structuur-functie relaties (BIOSON) Protein engineering; Schaalvergroting en reactorontwikkeling voor biochemische synthesesen.	114 onderzoekers; 14 staf, 100 AIO's
<u>VLAG (LUW, KUN, UU, DLO, TNO-Voeding, NIZO)</u> Levensmiddelentechnologie Genetica Biochemie Microbiologie Milieubiotechnologie Proceskunde	Verwerkingsprocessen met micro-organismen; Verwerkingsprocessen met enzymen; Biotechnologische productieprocessen; Bioreactor- en membraanscheidingsproces-ontwikkeling	136 onderzoekers; 22 staf, 114 AIO's
<u>EPW (LUW, UU, KUN, DLO)</u> Plantenveredeling Phytopathologieplantenziekten	Ontwikkeling van een plant en differentiatie; Ziekte en resistentie; Stofwisseling, energiehuivering.	72 onderzoekers; 37 staf, 35 AIO's

Naast het onderzoek dat gebundeld is in de ABON vindt verspreid over diverse universiteiten nog in beperkte mate biotechnologisch onderzoek plaats dat vaak ook onderdeel vormt van een onderzoekschool. Het betreft hier vooral onderzoek gericht op medische toepassingen, zoals in de onderzoekschool LACDR (Leiden Amsterdam Centre for Drug Research) waar onderzoek plaatsvindt op het gebied van plantencelbiotechnologie (samen met BSDL) en biofarmacie.

2.1.3 Fundamentele instituten

Er zijn in Nederland geen specifieke fundamentele instituten op het gebied van biotechnologie.

2.1.4 Instituten voor toegepast onderzoek (TNO, DLO)

Binnen de *Dienst Landbouwkundig Onderzoek* is het belangrijkste deel van het biotechnologisch onderzoek in twee groepen geconcentreerd. Het DLO-Instituut voor Agrotechnologisch Onderzoek (ATO-DLO) voert onder meer onderzoek uit naar verwerking en produktontwikkeling van gewassen met behulp van biochemische en microbiologische technieken, en naar agrificatie (industriële verwerking van vezels, koolhydraten, eiwitten en lipiden). Het DLO-Centrum voor Plantenveredelings- en Reproductieonderzoek (CPRO-DLO) richt zich onder meer op ontwikkeling van duurzame resistentie, verbetering van kwaliteit en efficiënte veredelings technieken en op genetische modificatie. Overige aan biotechnologie gerelateerde activiteiten vinden plaats in het DLO-Instituut voor Planteziektenkundig Onderzoek (IPO-DLO) en het DLO-Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek (AB-DLO). De instituten AB, IPO, CPRO en recent ATO nemen deel in de onderzoeksschool EPW. In 1993 werd aan dit onderzoeksterrein vanuit LNV-middelen ongeveer 270 mensjaren gefinancierd. Afgezien van de ontwikkeling van veterinaire geneesmiddelen (inclusief kits), is toepassing van biotechnieken in de dierlijke sector beperkt. Vooral in de plantensector heeft DLO een aantal sterke spelers, bijvoorbeeld het Instituut voor Veehouderij en Diergezondheid (ID-DLO), dat biotechnologisch onderzoek verricht in de dierlijke sector, onder meer gericht op veterinaire geneesmiddelen. RIKILT-DLO speelt een rol bij risico-analyse in verband met biotechnologisch geproduceerde voedingsmiddelen.

Binnen TNO wordt binnen drie instituten biotechnologisch onderzoek uitgevoerd: TNO Voeding (moleculaire genetica, gentechnologie, plantenbiotechnologie, agrogrondstoffen, agrotechnologie), TNO Preventie en Gezondheid en TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie (milieubiotechnologie). Er is goede expertise aanwezig op het terrein van de moleculaire genetica. Op het terrein van de milieubiotechnologie kan TNO, mede dankzij ICES-gelden, een belangrijke positie verwerven. Bij TNO Voeding is het Centrum voor Eiwittechnologie dat samen met de LU Wageningen is opgezet, en onderzoek uitvoert naar enzymapplicaties in voedings- en voedermiddelen, met het Enzymen Informatiecentrum in hoog tempo een belangrijk aanspreekpunt voor de industrie geworden. Hetzelfde geldt voor het Centrum voor Fytotechnologie dat door TNO en de RU Leiden is opgezet.

2.1.5 Industriële R&D

Ook binnen de industrie bevinden zich belangrijke biotechnologische kenniscentra: Unilever (enzymen) Gist-Brocades (enzymen, gisten), AKZO-Organon (geneesmiddelen), en DSM zijn de grote bedrijven. Daarnaast is er een aantal zaadveredelingsbedrijven en andere bedrijven in de agrofoodsector die zelf een beperkte onderzoeksinspanning leveren. Een speciale plaats nemen de R&D-bedrijven in: MOGEN dat zich specifiek richt op plantenveredeling en Keygene, opgericht door vijf zaadveredelingsbedrijven. Ook zijn er bedrijven die zich juist specialiseren op bepaalde diensten zoals het uitvoeren van clinical trails. Het NIZO (Nederlands Instituut voor Zuivel Onderzoek) voert als privaat instituut collectief onderzoek uit voor de zuivelsector en is ook op het terrein van biotechnologie actief.

2.1.6 Overig (branche-organisaties, intermediairs)

De NIABA behartigt de belangen van de Nederlandse biotechnologie bedrijven. Ze speelt een actieve rol in de discussie over het overheidsbeleid en heeft gezamenlijk met de ABON de stichting MIBITON (Materiële Investerings in Biotechnologisch Onderzoek in Nederland) opgericht die voor 20 mln put uit de ICES-gelden (zie 2.1.7). De NVZP (Nederlandse Vereniging voor Zaa- en Pootgoed) speelt eveneens een belangrijke rol.

2.1.7 Technologiestimulering

Het biotechnologisch onderzoek in Nederland heeft in belangrijke mate van technologiestimuleringsfondsen vanuit zowel EU-kaderprogramma's als van de overheid kunnen profiteren. Deze stimulering weerspiegelt het traject van de ontwikkeling van biotechnologie in Nederland, van nieuwe, jonge technologie met belangrijke onderzoeksbehoefte naar te commercialiseren ontwikkelingen met de nodige 'groeistuipe'. Mede hierdoor is op het gebied van biotechnologie al lange tijd sprake van samenwerking tussen universiteiten en bedrijfsleven. Ook de komende vier jaar besteedt de overheid aanzienlijke middelen voor stimuleren van biotechnologie via het ICES-programma. Daarbij komen de plannen en projecten van NWO. Ook de EU-programma's zijn van belang; Nederland scoort daarin hoog. Een overzicht van de technologiestimulering in het verleden en de toekomst:

- Het IOP-biotechnologie, het eerste IOP, liep van 1981-1989 en had een budget van f 54 mln.
- Daarna volgden andere IOP's waarin ook enig biotechnologisch onderzoek plaatsvond: IOP-Katalyse (start in 1989, budget van f 10 mln; zie Hoofdstuk 3 Katalyse) met recent een nieuw deelprogramma Biokatalyse, IOP-Industriële

Eiwitten (start in 1992, budget f 8 mln) en IOP-Milieutechnologie (start in 1990) met deelprogramma Milieubiotechnologie (f 13 mln over 1990-1993).

- Vanuit OC&W werd extra steun verleend aan het biotechnologisch onderzoek uit de zogenaamde Herbezettingmiddelen (3.2 mln).
- Vanaf 1987 was de PBTS-Biotechnologie regeling van kracht. In de periode 1987 - 1993 was hiervoor gemiddeld f 25 mln jaarlijks beschikbaar. Vanaf 1993 was dat f 18 mln per jaar.
- STW steunt de biotechnologie al jaren. Over 1993/94 heeft STW 6.6 Mf van in totaal ongeveer 60 Mf gereserveerd voor biotechnologie-projecten, het op één na hoogste bedrag voor een onderwerp.
- NWO (SON) heeft als één der vier aandachtsgebieden Biomacromoleculen. In 1992 omvatte de inzet voor dit gebied 68 FTE's en 3.4 Mf. Overigens is het NWO-prioriteitenprogramma Biotechnologie (18.9 Mf totaal) in 1991 beëindigd.
- Met LNV heeft NWO (Stichting Levenswetenschappen, SLW, en de Stichting Technische Wetenschappen, STW) het Prioriteitsprogramma Gewasbescherming opgezet. Dit programma voor strategisch onderzoek bij universiteiten en DLO-instituten heeft een looptijd van 6 jaar vanaf 1993 en richt zich op vraagstukken in de agrarische sector en wordt gedragen door het bedrijfsleven. In 1993/1994 besteedde STW 3.4 Mf (44 manjaren) aan dit thema.
- In het kader van de ICES-projecten is het MIBITON-project van belang (Materiële Investerings in Biotechnologisch Onderzoek in Nederland; 20 Mf), en voorts NOBIS (biotechnologische bodemreiniging, 25 Mf). Van NOBIS is TNO trekker.

Het ICES-project MIBITON richt zich op de financiering van apparatuur-investeringen ten behoeve van het universitaire biotechnologisch onderzoek, dat in nauwe relatie met het bedrijfsleven plaatsvindt. Voor de uitvoering van dit project, waarvoor OC&W aan overheidszijde verantwoordelijk is, hebben ABON en NIABA de Stichting Publieke Private Samenwerking Versterking van de Materiële Infrastructuur Biotechnologisch Onderzoek (PPS MIBITON) opgericht. De overheidsbijdrage omvat 20 Mf (1995-1998), uit private bronnen zal minimaal 10 Mf worden bijgedragen. Hierdoor wordt een revolving fund gevormd dat na 8 jaar tot een investeringsniveau van 35 Mf in de kennisinfrastructuur leidt. Besteding vindt grotendeels plaats via het onderzoekprogramma van de ABON, met name op de ABON-thema's structuur en functie van biologische systemen (o.a. macromoleculen, biokatalyse); resistentie; metabolic pathway engineering en geïntegreerde bioprocestechnologie. Ook groepen buiten ABON kunnen voorstellen indienen.

2.2 Relatienetwerken

Er bestaan relatief veel netwerken tussen kennisinstellingen en bedrijven in de biotechnologie (Tabel 4).

Tabel 4. Relatienetwerken

KADER	RELATIENETWERK
IOP's: Katalyse Industriële Eiwitten Milieubiotechnologie	AKZO, DOW, DSM, Gist-Brocades, Shell etc RUG, LUW, NIZO, TNO, Campina, Cargill, Nutricia e.a. LUW, RUG, TNO, TUD e.a.
NWO	STW: Diverse projecten (bedrijven, universiteiten) rond Biotechnologie, Gewasbescherming NWO-LNV programma Gewasbescherming (universiteiten, DLO-instituten, agrarisch bedrijfsleven)
<u>Onderzoekscholen:</u> BCA BSDL GBB EPW VLAG	Unilever, Gist brocades, DSM, Glaxo, Akzo Pharma, Van der Have, Zaadunie. Heineken, Grolsch, Unilever, Gist-brocades, Moge, Zaadunie (S&G Seeds), Suikerunie, TNO-Voeding, etc. Shell Research, Unilever, DSM, Solvay Duphar, Suikerunie, Avebe, Gist Brocades, Hoffman LaRoche, Gasunie, Eurosequence. Zaadunie, Cebeco, Royal Sluis, Van der Have, AVEBE, Mogen, Keygene, CSM en Suikerunie, DLO (AB, CPRO, IPO, ATO) etc. TNO-Voeding, ATO-DLO, Rikilt-DLO, NIZO
EG	BIOTECHNOLOGY, AIR, LIFE, BIOMED
MIBITON	NIABA, ABON

De Nederlandse biotechnologisch onderzoekers zijn er mede daartoe zeer goed in geslaagd om hun belangen naar de overheden goed te organiseren. Er bestaan een groot aantal organisaties waarin onderzoekers uit publieke en private instellingen elkaar treffen en kunnen 'netwerken'. Het netwerk kan als sterk worden betiteld, mede gegeven het vermogen om snel op nieuwe ontwikkelingen in te spelen en budgetten voor technologiestimulering aan te boren (Tabel 4). De kern van de netwerken wordt gevormd door de relatie ABON-NIABA met het ABON-programma en het ICES-project MIBITON.

3. Evaluatie onderzoeksinfrastructuur

De sterke steun van de overheid (die, startend met het IOP-biotechnologie, vanaf 1981, ononderbroken plaatsvond) heeft vooral betekend dat over het geheel genomen het activiteiten- en kwaliteitsniveau evenredig over de betrokken groepen is gestegen. Er springt niet een bepaalde groep uit. Door de IOP-stimulering is tevens de industriële oriëntatie van het academische onderzoek sterk toegenomen. Bij 85 % van de

biotechnologieprojecten in het kader van de PBTS-Biotechnologie werken bedrijven samen met kennisinstellingen. Er is ook een duidelijke afstemming in biotechnologisch onderzoek gecreëerd tussen de ABONcentra (5 onderzoekscholen) en TNO, mede via de wisselwerking ABON-NIABA.

In het EZ-rapport 'Biotechnologiebeleid: van onderzoek naar markt' (1994)² wordt de situatie rond biotechnologie in Nederland samengevat. Het aantal bedrijven dat biotechnologisch onderzoek doet groeit. Nederland heeft een sterke basis voor ontwikkelen en toepassen van biotechnologie. Bedrijven in Nederland produceren ca. 7 % van de wereldmarkt (39 mld) voor biotechnologische producten. Op het gebied van kennisontwikkeling behoren Nederlandse bedrijven en kennisinstellingen tot de mondiale koplopers. Dit blijkt onder meer uit het grote aantal Nederlandse deelnemers in internationale biotechnologie-programma's. Bij bijna eenderde van de Eureka projecten op het gebied van biotechnologie zijn Nederlandse deelnemers betrokken, in de meeste gevallen als trekker. Evaluaties die in 1991-1992 onder meer onder auspiciën van de KNAW zijn uitgevoerd door drie internationale commissies van deskundigen (universitaire biotechnologiecentra, TNO, DLO) bevestigen de sterke positie van Nederland in het biotechnologisch onderzoek. Overigens constateert de EZ-rapportage dat het echte marktsucces van biotechnologie nog te beperkt is. Commercialisering laat te wensen over. Hieraan is, naast de inherente complexiteit van het veld van geneesmiddelenontwikkeling en genetica, ook de onzekerheid met betrekking tot marktacceptatie van biotechnologieproducten en produktregulering debet.

Toekomstig overheidsbeleid op het vlak van de kennisinfrastructuur wordt gericht op verankering van bestaande netwerken; versterking van participatie in Europese programma's; versterken van de relatie bedrijfsleven - kenniscentra.

Afsluitend gaan we kort in op het beeld ten aanzien van de beschikbaarheid van biotechnologen. Over het algemeen zijn er voldoende moleculaire genetici (zowel gericht op planten als op micro-organismen) beschikbaar. Vervolgt men het disciplinaire onderzoekstraject richting micro-organismen dan moet worden geconstateerd dat de dan benodigde fysiologen al wat schaarser zijn en dat zelfde geldt voor het planten-traject: ook de celbiologen zijn minder snel te vinden. Tenslotte zijn ten behoeve van het laatste deel van het traject: *processing* en *down stream processing* heel weinig mensen te krijgen. Als ze er zijn worden ze snel door de industrie aangezogen. Bedrijven kopen dit type biotechnologen ook vaker bij elkaar weg. Er verschijnen ook nauwelijks proefschriften op dit vakgebied (zie TNO-STB, 1992).

² Mede op basis van een TNO-STB studie: C. Enzing, 'Evaluatie van 12 jaar biotechnologiebeleid' (1993).

Bronnen

De Ingenieur, '*Aan de vooravond van de bio-maatschappij*' (1994).

Jaarverslagen TNO, DLO (1993, 1994)

Ministerie van Economische Zaken, '*Biotechnologiebeleid: van onderzoek naar markt*' (1994).

NWO, '*Kennis verrijkt*'. beleidsnota 1996-2001 (1995).

The Economist, '*A Survey of Biotechnology and Genetics*'. Februari 25th (1995).

TNO-STB, '*Evaluatie van 12 jaar biotechnologiebeleid*'. Auteur: C. Enzing (1993).

TNO-STB, '*Biotechnologiebedrijven in Nederland. De invloed van nieuwe ontwikkelingen in R&D- en produktiefuncties en de betekenis voor opleiding en scholing*'. Auteur: C. Enzing (1992).

8. Voedingstechnologie



1. Omschrijving technologiegebied

1.1 Technologiegebied, disciplines

Voedingsmiddelentechnologie is de technologie die gebruikt wordt bij de productie van voedingsmiddelen. Dit is de be- en verwerking van produkten uit de land- en tuinbouw, veeteelt en visserij tot consumentenprodukten. Voedingsmiddelentechnologie is een breed multidisciplinair terrein. Er liggen verschillende disciplines aan ten grondslag. Voedingsmiddelentechnologie omvat niet de technologie die gebruikt wordt bij de primaire productie of bij de distributie van voedingsmiddelen. Voedingsmiddelentechnologie omvat ook niet de technologie gebruikt bij de bereiding van voedingsmiddeleningredienten en -additieven. Tabel 1 geeft een overzicht van de relevante disciplines, technologieën en toepassingen.

Tabel 1. Voedingsmiddelentechnologie: disciplines, technologieën, toepassingen

DISCIPLINES	TECHNOLOGIEËN	TOEPASSINGEN
<p><i>proceskunde</i> (procesontwikkeling, biochemische reactorkunde, bioprocesstechnologie)</p> <p><i>chemie</i> (levensmiddelenchemie, biochemie, biokatalyse/enzymologie, levensmiddelenfermentatie, koolhydraatchemie, analytische chemie)</p> <p><i>biologie</i> (industriële - en levensmiddelenmicrobiologie, fysiologie van microorganismen, fysiologie van de mens)</p> <p><i>fysica</i> (levensmiddelen natuurkunde: reologie, thermodynamica, schuimgedrag, emulsieleer)</p>	<p><u>procestechnologieën:</u> extractietechnologie raffinagetechnologie vethardingstechnologie alkalyseertechnologie snij- en cutterstechnologie meng- en roertechnologie conserveringstechnologie warmte- en koudetechniek extrusietechnologie fijnchemie (ingredienten)</p> <p><u>specifieke produktietechnologieën:</u> bakkerijstechnologie brouwstechnologie zuivelstechnologie</p> <p><u>levensmiddelenbiotechnologie:</u> biomembraantechnologie fermentatietechnologie enzymstechnologie</p> <p><u>meet- en regelstechnologie:</u> sensoren analysetechnieken</p>	<p>extraheren van voedingsbestanddelen, suikerraffinage, beïnvloeding smeltpunt van vetten, bederfpreventie, verhitten en koelen van voedingsmiddelen, persen van pasta's</p> <p>productie van brood en banket, bier, zuivelprodukten</p> <p>scheiding van voedingsstoffen, modificatie van voedingsmiddelen, productie van yoghurt, novel foods monitoring van productieprocessen, optimalisatie productieomstandigheden</p>

De veranderende voorkeur van de consument beïnvloedt de markt voor voedingsmiddelen en de voedingsmiddelenproductie sterk. Op de aandacht van de consument voor gezondheid, veiligheid, gemak, variatie, geur en smaak, milieu- en diervriendelijkheid van voedingsmiddelen wordt zorgvuldig ingespeeld. Deze market-pull is een drijvende kracht achter veel (technologische) vernieuwing in de voedingsmiddelensector. Tegelijkertijd zorgen technologische ontwikkelingen, vooral op biotechnologisch terrein, voor een onafgebroken technology-push.

1.2 Relatie met andere technologiegebieden

In tabel 2 is de relatie van voedingsmiddelentechnologie met andere technologiegebieden aangegeven. Verschillende van deze technologiegebieden zijn elders in dit rapport besproken. Voedingsmiddelentechnologie en de voedingsmiddelenindustrie als geheel zijn afhankelijk van een groot aantal andere technologiegebieden. Zoals reeds genoemd, wordt bij een groeiend aantal productieprocessen biotechnologie toegepast. Procestechnologie is een belangrijk onderdeel van de productie van voedingsmiddelen: mengen, roeren, verhitten of koelen, snijden, persen, etc. De apparaten waarmee deze processen uitgevoerd worden dienen te worden ontworpen, gebouwd, geïnstalleerd en onderhouden. De voedingsmiddelenindustrie leert op dit gebied veel van de procesindustrie. Ieder van deze activiteiten vraagt een specifieke technologische achtergrond. Ook energetische processen vragen een specifieke technologie. Door de strengere milieu-eisen wordt milieutechnologie steeds meer toegepast. Bij de vormgeving van productieapparatuur en verpakkingen wordt materiaaltechnologie gebruikt. Tenslotte neemt door een toenemende belangstelling voor de gezondheidsaspecten van voeding de relatie tussen voedingsmiddelen- en medische technologie toe.

1.3 Belang van het technologiegebied

Voedingsmiddelentechnologie is van groot economisch belang voor de Nederlandse industrie. De voedings- en genotmiddelenindustrie is een grote industrietak in Nederland (77 mld. omzet waarvan 35 mld. export). Bovendien is deze sector sterk geïntegreerd met andere sectoren zoals de primaire sector (landbouw, veeteelt, visserij), de machinebouw, verpakkingen en (door non-food toepassingen van agrogrondstoffen) de chemische industrie. De grote Nederlandse voedingsmiddelenindustrie is daarnaast nauw verbonden met de rol van Nederland als distributieland in Europa. De banden met handel en transport zijn zichtbaar aanwezig. Voedingsmiddelentechnologie en voedingsmiddelentechnologisch onderzoek is veelal gericht op de efficiënte productie in deze grote bedrijfstak en minder op produktinnovaties). De voedingsmiddelenmarkt is tevens zeer stabiel qua volume. Deze grote, stabiele markt is een niet aflatende pull voor (technologische) vernieuwing.

Tabel 2. Voedingsmiddelentechnologie en andere technologiegebieden

TECHNOLOGIE- GEBIED	SAMENHANG MET VOEDINGSMIDDELEN- TECHNOLOGIE
Biotechnologie	Planten- en dierveredeling, productie van enzymen, eiwitten en andere ingrediënten voor voedingsmiddelen, bioprocesstechnologie
Katalyse	Productie van oliën en vetten, ingrediënten
Procestechnologie	Apparatenbouw, installatietechniek, onderhoudstechnologie, incl. robotica en informatietechnologie
Energietechnologie	O.a. koelen en verhitten bij voedingsmiddelenproductie, gekoelde opslag
Milieutechnologie	Verwerking van afvalstromen bij voedingsmiddelenproductie, recycling
Transporttechnologie en logistiek	Transport en distributie zowel binnen als buiten de voedingsmiddelenfabriek
Materiaaltechnologie	Verpakkingsmaterialen
Medische technologie	Novel foods, nutriceuticals, gezondheidsaspecten van voeding en van productieprocessen, geneesmiddelenproductie

De productie van voedingsmiddelen wordt steeds grootschaliger en verandert van karakter. Er is een verschuiving van ambachtelijke naar industriële productieprocessen. Het oude vakmanschap wordt hierbij vervangen door een procestechnische achtergrond. Kennis wordt steeds meer overgedragen in de vorm van meetbare grootheden. Het vroegere leerlingenwezen wordt vervangen door opleidingen tot procesoperator. De vakopleiding procestechnologie is een vereiste geworden in de voedingsmiddelensector. In de veranderende productieprocessen nemen kapitaalgoederen vaak de plaats in van menselijke arbeid. Door deze ontwikkelingen is het belang van voedingsmiddelentechnologie sterk toegenomen.

De technologische beheersing van voedingsmiddelen productieprocessen is van belang voor de volksgezondheid. Het gezondheidsaspect wordt van steeds groter belang in de marketing van voedingsmiddelen (getuige ook de maatschappelijke discussie over Novel Foods; zie hoofdstuk 7). Ten eerste wordt de voedingskwaliteit van het voedsel geoptimaliseerd. Productieprocessen worden ontwikkeld zodanig dat de gezonde bestanddelen van voedingsmiddelen niet verloren gaan. In andere gevallen wordt de samenstelling van voedingsmiddelen juist gewijzigd om gezondheidsredenen, zoals rechtsdraaiende melkzuren in zuivel en de omzetting naar trans- en onverzadigde vetzuren in margarines. De ontwikkelingen op dit vlak zijn gebaseerd op steeds meer kennis over de gezondheidsaspecten van voeding. Hier wordt veel onderzoek naar gedaan. Ten tweede mogen voedingsmiddelen

geen gevaar opleveren voor de volksgezondheid van de consument. Tijdens de produktie mogen geen gevaarlijke stoffen ontstaan, vrijkomen uit de omgeving of worden toegevoegd. Ook de microbiologische kwaliteit van de voeding dient te worden bewaakt. Er wordt dan ook veel onderzoek gedaan naar mogelijke risico's van produktieprocessen en veel geld gestoken in monitoring van de produktkwaliteit (HACCP, ISO-normen).

Om de kwaliteit van voedingsmiddelen te kunnen waarborgen, zijn kwaliteitszorgen waarborgsystemen opgezet. Aan de ene kant dwingt de overheid door middel van wetgeving tot deze inspanningen in het bedrijfsleven. Aan de andere kant voldoen steeds meer bedrijven ongevraagd aan hoge kwaliteitsnormen vanwege de strenge eisen van afnemers en consumenten. Het opzetten van HACCP-systemen en het aanvragen van certificering vraagt investeringen in het produktieproces en leidt daarmee tot technologische vernieuwing. Hetzelfde geldt voor de door de overheid geëiste bedrijfsinterne milieuzorgsystemen. Ook de interesse van de consument in dierwelzijn en in ethische vragen rond genetische modificatie leidt tot veranderende produktieprocessen en daarmee tot (technologische) vernieuwing.

2. De onderzoekinfrastructuur

2.1 Actoren in de onderzoekinfrastructuur

2.1.1 Algemeen

De onderzoekinfrastructuur op het gebied van de voedingstechnologie in Nederland is grotendeels georganiseerd naar technologische aandachtsgebieden en naar produktgroep. Vooral het onderzoek aan universiteiten is gericht op aandachtsgebieden zoals biotechnologie, microbiologie, voeding en gezondheid, toxicologie, etc. Het onderzoek aan de technologische (collectieve) instituten daarentegen is veelal specifiek gericht op een bepaalde branche in de voedingsmiddelensector, zoals groente en fruit, vlees, zuivel of zetmeel. Het onderzoek aan de hogescholen is niet rond wetenschappelijke disciplines of branches georganiseerd maar is gericht op individuele voedingsmiddelenbedrijven in de gehele sector. De resultaten van dit onderzoek worden vrijwel niet gepubliceerd maar direct in bedrijf gebracht.

2.1.2 Universitair onderzoek

De onderzoekschool Voeding, Levensmiddelentechnologie, Agro(bio)technologie en Gezondheid (VLAG) omvat vrijwel al het Nederlandse universitair onderzoek op het gebied van de voedingsmiddelentechnologie. De VLAG heeft drie hoofdprogramma's:

Voeding en Gezondheid; Voedingsmiddelentechnologie en Voeding; Voedingsbiotechnologie en agrobiotechnologie. De deelnemende universiteiten zijn de LUW, de UU en de KUN. Daarnaast nemen ook enkele technologische instituten eraan deel. Deze VLAG partners zijn TNO-Voeding, ATO-DLO, RIKILT-DLO en het NIZO.

Tabel 3. Overzicht van de onderzoekinfrastructuur voedingsmiddelentechnologie

CENTRA	ACCENTEN	FTE's (AIO's, staf)
UNIVERSITAIR		
<i>Onderzoekscholen:</i>		
Voeding, Levensmiddelentechnologie, Agrobiotechnologie en Gezondheid (VLG; LUW, KUN, UU, TNO, DLO, NIZO)	Voeding en gezondheid, Voedingsmiddelentechnologie, Voedingsbiotechnologie, Agrobiotechnologie	105
Groningen Biomolecular Sciences and Biotechnology (GBB; RUG)	Biomoleculaire wetenschap, biotechnologie	50
<i>Overig universitair:</i>		
LUW	O.a. levensm.natuurkunde, voedingsbiotechnol.	--
KUN	Structuuronderzoek, modelling peptiden	50
UU (VVDO)	Vleesonderzoek: microbiële detectie, procesontw.	40
TOEGEPAST		
TNO-Voeding	O.a. agro- en gementechnologie, microbiologie	500
ATO-DLO	Agro- en biotechnologisch onderzoek	200
RIKILT-DLO	Kwaliteit van voedingsmiddelen	150
ID-DLO	Relatie keteninvloeden - vleeskwaliteit	40
INDUSTRIËLE R&D		
Unilever	O.a. oliën/vetten, enzymen, ingrediënten	Onbekend. Veelal geïntegreerd in produktgerichte R&D-budgetten.
Nutricia	O.a. babyvoeding, dranken, koffie, tabak	
Avebe	Aardappelzetmeel en -derivaten	
Sara Lee / DE	Koffie	
Campina-Melkunie, Friesland Dairy food, Coberco, Alco Research	Zuivelprodukten	
Gist Brocades	Gisten, gistextracten, enzymen, bakkerij-ingrediënten	
IFF, Hercules	Ingrediënten, additieven	
Purac	Melkzuurprodukten	
Heineken, Bavaria, Oranjeboom, Grolsch, Interbrew	Bier	
Ouwehand	Visprodukten (haring, makreel)	
Quality Bakers, Albro, Vast Banket	Bakkerij: brood, banket	
Sonneveld	Bakkerij ingrediënten	
Stork	Machinebouw: produktielijnen, transportbanden	
OVERIG		
<i>"Collectieve" instituten:</i>		
NIKO	Koolhydraatonderzoek	40
NIZO	Zuivelonderzoek	170

De *Landbouwwuniversiteit Wageningen* (LUW) is penhouder van de onderzoeksschool VLAG en tevens verreweg de grootste deelnemer. Binnen het hoofdprogramma Voedingstechnologie en Voeding doet de LUW onderzoek op het gebied van de colloïdchemie (vooral dispersiesystemen) en de levensmiddelennatuurkunde. Binnen het hoofdprogramma Voeding en Gezondheid wordt onderzoek gedaan door de LUW-vakgroepen Voeding en Epidemiologie op de volgende gebieden: Voeding, levensstijl en gezondheid; Voedingscomponenten en hun invloed op metabolische processen; Beschikbaarheid en vereisten van energie en voedingsmiddelen; Determinanten van voedingskeuzen. Binnen het hoofdprogramma Voedingsbiotechnologie en agrobiotechnologie wordt onderzoek verricht op het gebied van transformatieprocessen gebruikmakend van microorganismen respectievelijk enzymen, biotechnologische productieprocessen, bioreactortechnologie en membraanscheidingsprocessen. De vakgroepen Proceskunde, Industriële Microbiologie, Moleculaire Genetica en Levensmiddelen(bio)-technologie nemen hieraan deel.

De vakgroep Voedingsmiddelen van Dierlijke Oorsprong (VVDO) aan de *Universiteit Utrecht* (UU) neemt deel aan het VLAG-hoofdprogramma Voedingstechnologie en Voeding. De afdeling Microbiologie doet hiervoor onderzoek aan de detectie van microorganismen in vlees voor kwaliteitszorgsystemen. Dit omvat het ontwikkelen van detectiemethoden, monitoringssystemen, preventie, houdbaarheidsvoorspellende modellen en het meten van stoffen in vlees en in vleesetende kweekvissen. In het kader van procesontwikkeling en -beheersing wordt onderzoek gedaan naar de verbetering, bepaling en indexering van de vleeskwaliteit, aan de valorisatie van dierlijke producten en aan het verbeteren van vleesverwerkingsprocessen.

De medische faculteit van de *Katholieke Universiteit Nijmegen* (KUN) neemt deel aan het VLAG-hoofdprogramma Voeding en Gezondheid met onderzoek op het gebied van de relatie tussen voeding en maag-, darm- en leverziekten.

Aan de *Rijksuniversiteit Groningen* (RUG) is gevestigd de onderzoeksschool Groningen Biomolecular Sciences and Biotechnology Institute (GBB). Dit instituut omvat het moleculair biologisch onderzoek aan de RUG. Het is betrokken bij het IOP Industriële Eiwitten in verband met haar biomoleculair structuuronderzoek aan tarwegluten voor een beter broodbakproces en de modellering van peptiden binnen biomembranen. Ongeveer 50 van de 250 onderzoekers bij GBB zijn betrokken bij dit onderzoek. Het instituut werkt hiervoor samen met Unilever.

2.1.4 Instituten voor toegepast onderzoek (TNO, GTI's, departementale instituten)

TNO-Voeding te Zeist is het grootste en meest gespecialiseerde Nederlandse instituut voor toegepast onderzoek op het gebied van de voedingstechnologie. Naast activiteiten op het gebied van voedingsmiddelentechnologie zelf zijn er vele gerelateerde onderzoeksgebieden. Verscheidene onderwerpen die van groot belang zijn voor de voedingsmiddelenindustrie komen aan de orde, zoals integrale ketenbeheersing, functionaliteit, rendementen en logistiek. De Divisie Agrotechnologie en Microbiologie omvat gespecialiseerde centra op het gebied van vleestecnologie en graan-, meel- en bakkerijtechnologie. In deze divisie wordt tevens gewerkt aan produkt- en procesverbetering voor oliën en vetten, cacao en chocolade, sauzen en margarine, suikerwerk, snacks, etc. De divisie Biochemie en Gentechnologie ontwikkelt keteninstrumenten om de kwaliteit van landbouwprodukten te volgen, werkt aan de genetische transformatie van microorganismen zoals melkzuurbacteriën en omvat het Centrum voor Eiwittechnologie. De divisie Analytical Sciences richt zich op het meten van stoffen in voeding en doet migratie-onderzoek en andere testen aan voedingsmiddelenverpakkingen. De divisie Toxicologie en de divisie Arbeidstoxicologie en Voeding richten zich op de gezondheidsaspecten van voeding (bv. de invloed van ingrediënten op de gezondheid, voedingsmiddelenkwaliteit, metabolismeonderzoek, het monitoren van voedselsamenstellingen, epidemiologie).

Verschillende instituten die deel uit maken van de Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) van LNV verrichten onderzoek ten behoeve van de voedingsmiddelenindustrie. Het *DLO-Instituut voor Agrotechnologisch Onderzoek* (ATO-DLO) is hiervan het grootste instituut en het meest direct betrokken bij de activiteiten van de voedingsmiddelenindustrie. Het onderzoek bestrijkt de gehele -produktieketen van land- en tuinbouwgewassen. Onderzoek is gericht op de bewaring, het transport, de kwaliteit en de voedselveiligheid van land- en tuinbouwgewassen. Dit onderzoek richt zich voornamelijk op metabolische processen in verband met de houdbaarheid van planten (produkten). Er is onderzoek naar de verwerking van land- en tuinbouwgewassen tot voedselprodukten. Hierbij worden verschillende verwerkingsprocessen voor groente, fruit, champignons, aardappelen, etc. onderzocht met het oog op verbetering van de produktkwaliteit. Er is onderzoek naar industriële gewassen, produkten en procesttechnologieën. De industriële verwerking van agrogrondstoffen tot allerhande (nieuwe) produkten staat hier centraal (o.a. bioplastics). Daarnaast is er systeemonderzoek en -ontwikkeling gericht op de optimalisatie van beslisprocessen.

Het *DLO-Rijks-Kwaliteitsinstituut voor Land- en Tuinbouwprodukten* (RIKILT-DLO) te Wageningen verricht onderzoek op het gebied van de kwaliteit en de veiligheid van land- en tuinbouwprodukten. Het instituut doet monsteranalyse voor zowel overheid als bedrijfsleven, ontwikkelt hiervoor methodieken en doet

fundamenteel-strategisch onderzoek naar kwaliteitsbeheersing. De afdeling Risicoanalyse en Toxicologie spoort op en beoordeelt risico-factoren in de voedselproductieketen. De afdeling Microbiologie en Biotechniek test produkten op de aanwezigheid van contaminanten en pathogene microörganismen. De afdeling Instrumentele Analyse stelt met moderne analysetechnieken uiterst lage concentraties van stoffen in voedsel vast. De afdeling Kwaliteitsbewaking en -systemen heeft uiteenlopende taken zoals monsteranalyse, coördinatiefuncties, kwaliteitszorgsystemen en een databank.

Het *DLO-Instituut voor Dierhouderij en Diergezondheid* (ID-DLO) te Lelystad doet voornamelijk onderzoek ter ondersteuning van de primaire sector (virologie, bacteriologie, immunologie, epidemiologie, fokkerij-genetica, voedingsfysiologie en voortplanting). Op de nieuwe afdeling Produktkunde wordt onderzoek gedaan dat op een meer directe wijze van belang is voor de voedingsmiddelenindustrie. Hier worden kwaliteitseigenschappen van de (eind)produkten van de veehouderij en de factoren die deze eigenschappen beïnvloeden bestudeerd. Dit onderzoek richt zich op een hogere toegevoegde waarde in de produktieketen van vlees, eieren en melk en op een efficiënte produktie en verwerking met minimale belasting voor het milieu.

Het *DLO-Rijksinstituut voor Visserijonderzoek* (RIVO-DLO) te IJmuiden doet onderzoek op het gebied van de visserij, aquacultuur en de verwerking van vis, schaal- en schelpdieren. Op de afdeling Techniek en Technologie is het onderzoek ook gericht op de kwaliteit van verwerkingsprocessen en -produkten.

Ook het DLO-Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek (AB-DLO), het DLO-Centrum voor Plantenveredelings- en Reproductieonderzoek (CPRO-DLO), het DLO-Instituut voor Plantenziektenkundig Onderzoek (IPO-DLO) en het DLO-Landbouw-Economisch Instituut (LEI-DLO), het TNO-Produktcentrum, het TNO-Kunststoffen- en Rubberinstituut-Branchecentra (TNO-KRI-BC) en het TNO-Studiecentrum voor Technologie en Beleid (TNO-STB) doen onderzoek dat voor de voedingsmiddelensector van belang is. Het onderzoek bij deze instituten is echter niet gericht op voedingsmiddelentechnologie.

2.1.5 Industrie

In vrijwel alle segmenten van de voedingsmiddelenindustrie is er sprake van een continue technologische ontwikkeling. De industriële R&D-intensiteit is echter relatief laag. Voornamelijk in de grote bedrijven wordt de ontwikkeling ondersteund of gedreven door onderzoek. Hetzelfde geldt voor de kleinere kennisintensieve *high tech* bedrijven zoals op het gebied van biotechnologie. Veel andere

kleine bedrijven hebben geen onderzoek als afzonderlijke activiteit en relatief weinig contact met de onderzoekinfrastructuur.

Grotere bedrijven die beschikken over een R&D afdeling zijn de grote levensmiddelenconcerns zoals Unilever en Sara Lee / DE, de grotere producenten van aardappelzetmeel zoals Avebe, de producenten van voedingsmiddeleningredienten, de grote zuivelbedrijven, de vijf grote bierbrouwerijen, een enkel groot visverwerkend bedrijf. Enkele van deze bedrijven doen fundamenteel onderzoek. Deze bedrijven hebben relatief veel contacten met de kennisinfrastructuur. Er wordt samengewerkt in onderzoek en onderzoekers worden uitgewisseld.

De technologische ontwikkeling in de kleinere bedrijven komt veelal voort uit een samenwerking met toeleveranciers van machines, apparaten, ander produktiematerieel en ingrediënten. Op basis van aanwijzingen van de gebruikers verbeteren de machineproducenten voortdurend de door hen geleverde apparatuur zoals snijapparatuur, slachtlijnen, inpaklijnen, transportbanden, reactoren, etc. Stork is met ruim 1.000 man personeel het grootste bedrijf dat op deze manier de technologische ontwikkelingen bij klanten in de voedingsmiddelenindustrie initieert en vormgeeft. Het is een belangrijke technologische vernieuwer voor een aantal onderdelen van deze industrie. Er zijn ongeveer 50 producenten van machines voor de voedingmiddelenindustrie. Naast Stork zijn er enkele andere grotere machinebouwers (150 à 250 werknemers) zoals Robert Bosch, Breda Packaging, Holvrieka, Klökner Hänsel Tevopharm, PMB en Tebel-MKT. Ook deze bedrijven hebben weinig contacten met de kennisinfrastructuur op het gebied van de voedingsmiddelenindustrie maar meer op het gebied van de machinebouw.

2.1.6 Overig (overige kennisinstellingen, branche-organisaties, intermediairs)

"Collectieve" instituten

Het *Nederlands Instituut voor Koolhydraatonderzoek TNO* (NIKO) doet onderzoek voor de zetmeelindustrie op het gebied van zetmeelgewassen, zetmeelwinning, de eigenschappen van zetmeel, enzymatische en chemische omzettingen van koolhydraten, de behandeling van afvalwaterstromen. Een groot gedeelte van het in Nederland geproduceerde zetmeel (meer dan 50 %) wordt verwerkt door de voedingsmiddelenindustrie. De volgende bedrijven en organisaties nemen deel in het instituut: Avebe, het Produktschap voor Aardappelen, de Vereniging van Nederlandse Fabrikanten van Graanzetmeel, het Produktschap voor Granen, Zaden en Peulvruchten, het Landbouwschap en TNO. Het NIKO is aan TNO gelieerd en maakt gebruik van haar faciliteiten.

Het *Nederlands Instituut voor Zuivelonderzoek* (NIZO) te Ede doet onderzoek voor de Nederlandse zuivelindustrie. Het onderzoek omvat de thema's chemische en

biologische kwaliteit, probiotica en functional foods, metabolisme van melkzuurbacteriën, fermentatie en enzymatische omzettingen, scheidingstechnologie, verwerkingsprocessen, melkeiwitten, vetten en emulsies en biopolymeren. Het onderzoek heeft zich de afgelopen jaren geconcentreerd op de volgende onderwerpen: technieken voor de detectie en identificatie van microorganismen; dynamische oppervlakte-eigenschappen van melkeiwitten; het concentreren en ontzouten van wei door nanofiltratie en de versnelde bereiding van yoghurt door fed-batch-voorzuring. De collectieve onderzoekstaken van het NIZO nemen af ten gunste van contact-onderzoek voor de afzonderlijke grote zuivelbedrijven en ten gunste van het onderzoek bij de bedrijven zelf.

Branche-organisaties

In de voedingsmiddelensector is in de verschillende branches een groot aantal branche-organisaties actief. Een aantal van deze organisaties zijn betrokken bij onderzoek. Zij financieren via heffingen collectief onderzoek. Het gaat hierbij met name om de produktschappen. Het relatieve belang van dit collectieve onderzoek ten opzichte van onderzoek bij individuele bedrijven varieert sterk per sector. In sectoren met veel kleine bedrijven wordt in het algemeen meer collectief onderzoek verricht. Evenals in de zuivelsector is in andere sectoren van de voedingsmiddelenindustrie de interesse in collectief onderzoek tanende. Deze ontwikkeling hangt samen met versterkte concurrentie, grotere macht van marktpartijen en schaalvergroting.

HBO-instellingen

Er zijn in Nederland drie HBO-instellingen (hogescholen) met een opleiding levensmiddelentechnologie: in Bolsward, Den Bosch en Delft. De drie hogescholen werken onderling steeds meer samen bij het vormgeven van de opleiding. Ieder van hen is actief in de volledige breedte van de voedingsmiddelensector. De hogescholen hebben sterke banden met de Nederlandse voedingsmiddelenbedrijven, met name met het innovatieve middenbedrijf maar ook met grote levensmiddelenbedrijven zoals Unilever. Studenten lopen er stage en gaan er werken, wat de banden verder versterkt. Naast een educatieve functie hebben de betrokken afdelingen van de hogescholen ook een onderzoeks- en adviesfunctie. Docenten begeleiden tegelijkertijd hun studenten en het bedrijf waar de student stage loopt. Op de hogescholen wordt onderzoek verricht en de docenten geven de bedrijven technologische adviezen tegen vergoeding. Stages, onderzoek en advies gebeuren op contract-basis. Ondanks hun geringe naambekendheid zijn de hogescholen relatief toegankelijk voor het MKB. Ieder van de hogescholen werkt samen met andere onderwijs- en kennisinstellingen.

2.1.7 Stimulering van onderzoek en technologie

Het stimuleringsproject *Agro Ketens Kennis* (AKK) is als ICES-project opgezet vanuit het ministerie van LNV. In het kader van de ICES wordt 5 mld. gulden uit aardgasbater aangewend ter versterking van de economische infrastructuur. Hiervan is 250 mln. gereserveerd voor de kennisinfrastructuur, waarvan 30 mln. voor het AKK. Het budget is met eenzelfde bedrag aangevuld door zowel LNV als het bedrijfsleven. Het project is ondergebracht in de Stichting AKK. Het AKK is actief in de zeven sectoren Akkerbouw; Groenten en Fruit; Siergewassen; Vee, Vlees en Eieren; Visserij; Voedingsmiddelenindustrie en Zuivel. Het beoogt versterking van agro industriële ketens door middel van ketenkennis. Vernieuwing wordt bereikt door het uitvoeren van voorbeeldprojecten (pilots) waarin bedrijven uit meerdere schakels van een keten, kennisinstellingen en eventuele anderen samenwerken (publiek-private samenwerking). Kennis over het functioneren van ketens wordt ontwikkeld en overgedragen aan de sector. Het aantal projecten bedroeg eind 1995 bijna 40. Deze projecten zijn evenwichtig verdeeld over de kernthema's Ketendifferentiatie, Integrale Ketenzorg, Ketenoptimalisatie en Ketenkennisverspreiding. Gemiddeld genomen werken er in een project vijf bedrijven en drie kennisinstellingen en de gemiddelde omvang van een project bedraagt f 1 mln.

Sinds het begin van de jaren '80 gebruikt het ministerie van EZ Innovatiegerichte Onderzoeksprogramma's (IOP's) als technologiebeleidsinstrument om de onderzoekswereld toegankelijker te maken voor het bedrijfsleven. Het *IOP Koolhydraten* ging in 1985 van start en werd beëindigd in 1993. Het bestond uit twee fasen waarin respectievelijk 10 mln. en 9 mln. gld. werd uitgegeven. Het omvatte in totaal 45 projecten. Het was gericht op fundamentele vragen betreffende de eigenschappen van koolhydraten en op onderzoek naar de bewerking van koolhydraten tot nieuwe producten met een hoge toegevoegde waarde. Het ging hierbij om food- en non-food-toepassingen. Er waren daarom zowel voedingsmiddelenbedrijven als chemische en farmaceutische bedrijven bij het IOP betrokken. De belangrijkste bronnen voor koolhydraten in Nederland zijn zetmeel (aardappelen en in toenemende mate tarwe en maïs), lactose (uit melk) en suiker (suikerbieten). Aangezien deze producten afkomstig zijn van land- en tuinbouw-sectoren die internationaal onder politieke druk staan, was ook het ministerie van LNV bij het IOP Koolhydraten betrokken.

Het *IOP Industriële Eiwitten* is in 1992 van start gegaan met een budget van 8 mln. gld. Het bevindt zich in de eerste fase. Enkele voor de voedingsmiddelenindustrie relevante kernthema's zijn: mogelijkheden van chemische, enzymatische en fysische modificatie voor het manipuleren van eigenschappen; bestudering van het effect van interacties met bestanddelen van andere voedingsmiddelen. Relevante onderzoeksthema's zijn: vorming en stabilisering van emulsie en schuim;

biochemische parameters voor gluten in relatie tot reologische eigenschappen. Het hoofdprobleem bij dit IOP was dat het onderzoek bij universitaire onderzoeksgroepen geheel anders van aard was dan het onderzoek bij de industrie. Uitwisseling van kennis tussen de industrie en de kennisinfrastructuur vond in het verleden slechts in beperkte mate plaats. Deze heeft in dit IOP extra aandacht gekregen.

Het *IOP Katalyse* startte in 1989 met een budget van ruim 10 mln. gld. Het bevindt zich in de tweede fase (1994-1997), waarvoor 20 mln. gld. ter beschikking kwam. Katalyse brengt chemische tot stand met vaak een hoge precisie, milieuvriendelijk en kostenefficiënt. Naast de fijnchemie en de farmaceutische industrie is ook de geur- en smaakstoffenindustrie bij het IOP betrokken. Biokatalyse, maar ook homogene en heterogene katalyse, zijn hiervoor van belang.

Bij de NWO wordt momenteel gewerkt aan een mogelijk Stimuleringsprogramma Voeding.

2.2 Relatienetwerken

De relatienetwerken rond de voedingsmiddelentechnologie bestaan uit ten eerste de gebruikelijke onderzoeksnetwerken via samenwerking, contractonderzoek en congressen. Ten tweede bieden de nationale programma's extra netwerken, zoals bijvoorbeeld bij de AKK-projecten, de IOP's, de clusterprojecten van het ministerie van EZ, de activiteiten van STW en de PBTS. Ten derde zijn er de internationale programma's vanuit DG12, zoals Food Agricultural Industrial Research (FAIR) en Biotech. De relatienetwerken tussen onderzoeksinstituten en bedrijven staan centraal bij de in de voorgaande paragraaf besproken stimulering van onderzoek en technologie voor de voedingsmiddelensector. Daarom komen ook hier zowel het AKK-project als de IOP's wederom aan de orde.

Bij het de *AKK-projecten* zijn bedrijven uit de gehele keten betrokken. Opgemerkt dient te worden dat ook kleine bedrijven zonder eigen onderzoeksactiviteiten waren betrokken, terwijl bij de IOP's vrijwel alleen de grotere innovatieve concerns met uitgebreide R&D-activiteiten betrokken waren. Voorbeelden van kleine bedrijven met weinig R&D-activiteiten die bij het AKK betrokken zijn, zijn: champignonkwekerijen, tomatentelers, veilingen, kaas- en vleeswarenproducenten, tuincentra, supermarktketens, cateringbedrijven. Bedrijven met eigen research-activiteiten die bij het AKK betrokken zijn, zijn: de grote brouwerijen, Cebeco, Unilever, Sara Lee / DE, Ouwehand. Naast de in § 2.1 behandelde onderzoeksinstituten waren verder bijvoorbeeld betrokken: Centrum voor Landbouw en Milieu, produktschappen, St. Kwaliteitsbevordering Merkvlees.

Bij de IOP's zijn, naast de fundamentele universitaire en technische onderzoeksinstituten, de grote en R&D-intensieve bedrijven betrokken. Bij het IOP Koolhydraten waren naast de grote chemische concerns enkele grote voedingsmiddelenbedrijven betrokken. Bij het IOP Industriële Eiwitten zijn alle grote bedrijven in de voedingsmiddelensector betrokken. Bij het IOP Katalyse zijn naast de grote chemische concerns de grote producenten van ingrediënten betrokken.

Tabel 4. Relatienetwerken Voedingsmiddelentechnologie

KADER	RELATIENETWERKEN
AgroKetenKennis	Onderzoeksinstituten: o.a. ATO-DLO, CLM, Hogeschool Eindhoven, LEI-DLO, LUW, RIKILT-DLO, RIVO-TNO, TNO-Voeding Bedrijven: o.a. Van de Bilt Zaden en Vlas, Heineken, Cebeco Handelsgroep, Verburg Champignons, Ahold, Suikerunie, Hema, Nutreco Overig: o.a. Bedrijfschap Groothandel G&F, Nederlands Visbureau, Noord Nederlands Varkensstamboek, St. Duurzame Voedingsm.keten
IOP Koolhydraten	Onderzoeksinstituten: o.a. ATO-DLO, FOM-AMOLF, KRI-TNO, KUN, LUW, MT-TNO, NIKO, RUG, RUL, TUD, TUE, UvA, UU Bedrijven: o.a. Unilever, CSM, Avebe, Gist-Brocades, Nutreco, Cargill, Cerestar
IOP Industriële Eiwitten	Onderzoeksinstituten: RUG, LUW, ATO-DLO, NIZO, TNO-Voeding Bedrijven: o.a. Campina, Cargill, Cerestar, Gelatine Delft, Heineken, Latestein, Meneba, Nutricia, Unilever
IOP Katalyse	Onderzoeksinstituten: onderzoeksschool NIOK Bedrijven: o.a. Unilever, Gist-Brocades, Hercules, IFF, Tastemaker

3. Evaluatie onderzoekinfrastructuur

In Nederland wordt op vele gebieden onderzoek gedaan naar voedingsmiddelentechnologie. Nederland heeft op dit gebied een behoorlijke internationale positie. Op enkele gebieden heeft het zelfs een topositie, zoals zuivel en oliën en vetten. Ook op enkele aanpalende gebieden is Nederland zeer sterk, zoals plantenveredeling, biotechnologie, microbiologie en voedingsmiddeleningredienten. Op deze gebieden zijn Nederlandse bedrijven internationaal sterk concurrerend. Op het gebied van de voedingsmiddeleningredienten vestigen buitenlandse bedrijven zich zelfs in Nederland. De Nederlandse voedingsmiddelenindustrie profiteert hierbij van de sterke positie in de procesindustrie, waarvan ze veel leert.

Hogescholen, universiteiten en technologische instellingen hebben ieder een zeer verschillende rol in de kennisinfrastructuur. De hogescholen leveren praktische en

directe technologische hulp bij individuele technologische problemen, bij het opzetten van kwaliteitssystemen of op het gebied van arbo, milieu en veiligheid. Zij zijn actief in alle sectoren van de voedingsmiddelensector en toegankelijk voor zowel grote als kleine bedrijven. Aan de universiteiten wordt voornamelijk fundamenteel onderzoek verricht, hoewel de VVDO in Utrecht een meer praktische insteek heeft. Het universitaire onderzoek is met name gericht op de biotechnologie en de microbiologie. De universiteiten werken hiervoor samen met de grote innovatieve bedrijven. De technologische instituten zijn eveneens sterk in fundamenteel onderzoek op het gebied van de biotechnologie en de microbiologie. Daarnaast verrichten zij meer toegepast technologisch onderzoek op een breed terrein voor vele typen bedrijven.

De onderzoeksgezindheid en de affiniteit met onderzoeksinstituten verschilt in de voedingsmiddelensector sterk per branche. De acceptatie en belangstelling van deze industrie voor onderzoek en voor onderzoeksinstituten neemt echter toe. Voedingsmiddelenproducenten laten meer onderzoek uitvoeren, werken meer samen met onderzoeksinstituten en gaan zelf ook meer onderzoek doen. De machinebouw heeft sterke banden met de voedingsmiddelenindustrie maar weinig met de voedingsmiddelen-kennisinfrastructuur (behalve HBO's en IC's). Stimulatie van deze contacten biedt kansen voor versterking van de Nederlandse economische structuur. De Nederlandse machinebouw heeft zich de afgelopen jaren ontwikkeld tot een van de sterkste in Europa, ook op het gebied van de voedingsmiddelenproductie. De trend naar het ontwikkelen en bouwen van complete productielijnen in plaats van afzonderlijke machines biedt met name mogelijkheden voor samenwerking tussen machinebouwers en de technologische instituten.

Bronnen

Adviesraad voor het Wetenschaps- en Technologiebeleid, *'Technologie en sectorstructuur; 10 sectoren nader bekeken'* (1994)

ATO-DLO, *'Annual Report 1994'* (1995)

DLO, *'DLO onderzoeksplan 1995'* (1995)

DLO, *'Zicht op DLO 1996'* (1995)

Groningen Biomolecular Sciences and Biotechnology Institute, *'Annual report 1994'* (1995)

KUN, *'Jaarverslag 1994'* (1995)

LUW, *'Verslag 1994'* (1995)

NIZO, *'Jaarverslag 1994'* (1995)

RUG, *'Tabellenboek Wetenschappelijk Onderwijs en Onderzoek 1994'* (1995)

Stichting AKK, *'Nieuwsbrief'* (1995, meerdere nummers)

TNO-STB, *'Eindevaluatie van het IOP-Koolhydraten'* (1995)

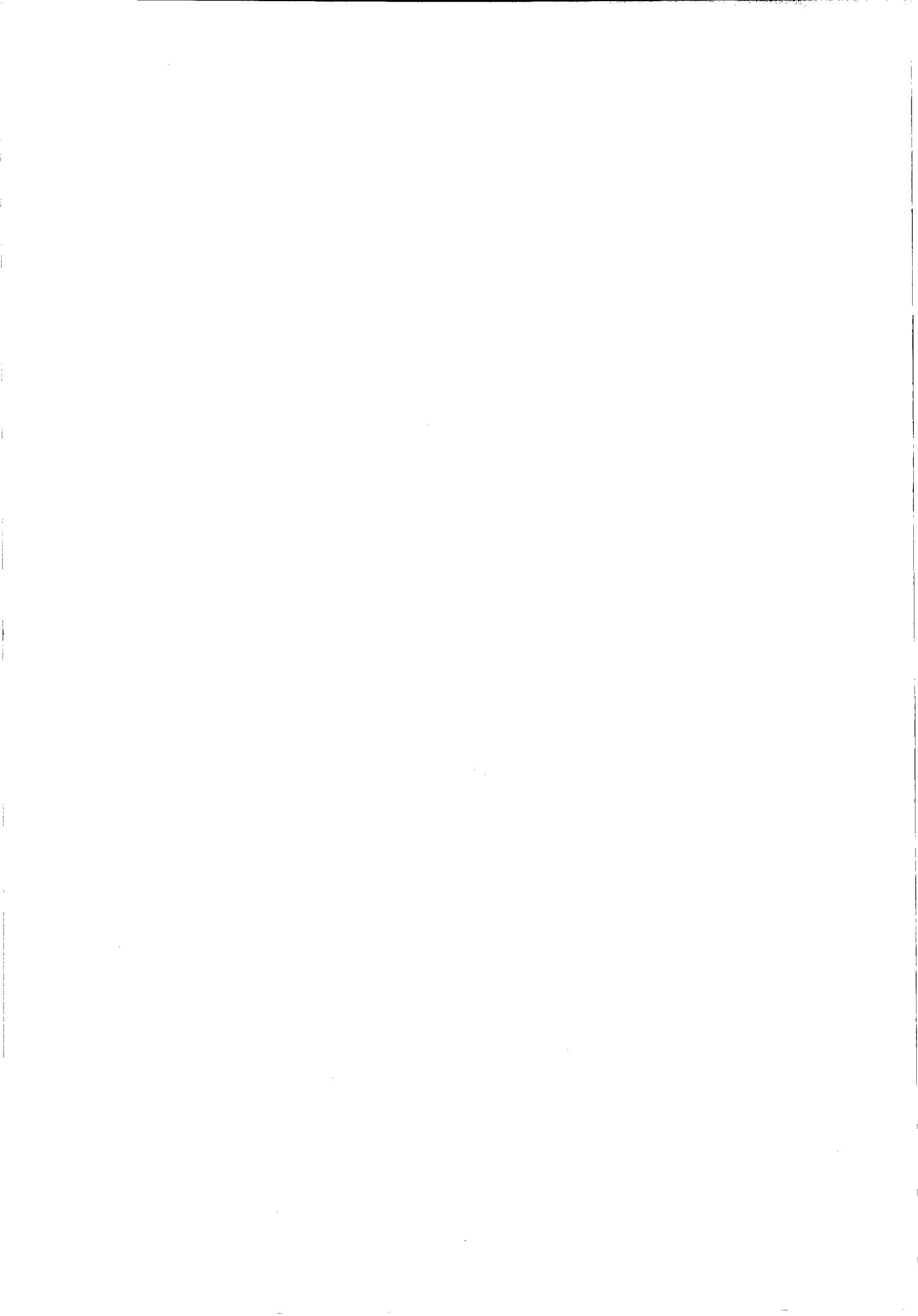
TNO-STB, *'Technologie en economische Structuur: Voedings- en Genotmiddelen-sector'* (1993)

TNO-Voeding, *'Jaaroverzicht 1994'* (1995)

VLAG, *'Annual report 1994'* (1995)

VVDO (UU, Faculteit Diergeneeskunde), *'Jaarverslag 1994'* (1995)

9. Milieutechnologie



1. Omschrijving technologiegebied

1.1 Technologiegebied, disciplines

Het gebied milieutechnologie kent vele definities en is tevens sterk gerelateerd aan andere technologiegebieden (procestechnologie, energietechnologie, katalyse). Technologieën die dienen ter bescherming van het milieu, kunnen onderverdeeld worden in de volgende groepen:

- 1 *Preventieve technologieën* (in brede zin): 'schone technologie' en procesgeïntegreerde technologie.
- 2 *Curatieve technologieën*:
 - a. Recyclingtechnologie: inzamelen, materiaal-/ produkthergebruik, upgrading.
 - b. Zuiveringstechnologie: voorbehandeling, scheiding, conversie.
 - c. Afvaltechnologie: inzamelen, reductie, solidificatie/ immobilisatie, opslag.
 - d. Schoonmaaktechnologie: afgraven/behandelen, isolatie, in situ behandelen.
- 3 *Technologieën die verstoring verminderen*: geluidshinder en trilling verminderende technologieën.
- 4 *Procesbewakingstechnologieën*: meettechnieken, sensoren, telematica.

Tabel 1. Milieutechnologie: disciplines, technologieën, toepassingen

DISCIPLINES	TECHNOLOGIEËN	TOEPASSINGEN
procestechnologie chemie (o.a. katalyse, scheidingstechnologie) biologische wetenschappen technische wetenschappen natuurkunde aardwetenschappen informatica wiskunde	waterzuivering luchtzuivering bodemuivering afvalverwerking geluidshinderbestrijding procesintegratie conversietechnologie milieubiotechnologie schoon produceren integrale produktontwikkeling	In of aan het einde van processen in alle industrieën om emissies naar water, lucht en bodem en afvalstoffen te verminderen Geïntegreerd in processen om emissies en afval te voorkomen, en de input aan grondstoffen en energie te beperken

Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen milieutechnologie in enge zin, en aanverwante technologiegebieden die nauw in relatie staan met milieutechnologie en het begrip milieutechnologie een veel bredere inhoud geven. Hierbij wordt milieutechnologie *in enge zin* als volgt gedefinieerd:

Onder milieutechnologie verstaan we het toepassen van technieken/methoden en de daarbij behorende apparaten/installaties met het doel emissies naar water, lucht en

*bodem en het vrijkomen van afvalstoffen te verminderen dan wel te voorkomen.*¹ Dit betekent dat met name de volgende subtechnologieën relevant zijn: waterzuivering; luchtzuivering; bodemzuivering; afvalverwerking; geluidshinderbestrijding.

Naast de milieutechnologie in engere zin (end-of-pipe) wordt er in Nederland in toenemende mate aandacht besteed aan *procesgeïntegreerde technologie*. Dit is procestechnologie die ingezet wordt als integraal onderdeel van het voortbrengingsproces, op proces-, fabrieks- en zelfs geografisch (bijvoorbeeld regionaal) niveau. Procesgeïntegreerde technieken kunnen variëren van optimalisatie van afzonderlijke processtappen tot volledig nieuwe processtappen en procesroutes. Aan de procesgeïntegreerde technologie ligt, naast de drijvende kracht van omgevingsfactoren (fysiek, economisch, maatschappelijk), een groot aantal disciplines ten grondslag: procestechnologie, energiebeheersing, chemie, werktuigbouwkunde, technische wetenschappen, natuurkunde, aardwetenschappen, biologie, wiskunde en informatica. Het voordeel van procesgeïntegreerde technologie boven 'nageschakelde' technologie is dat bij de laatste technologie vaak nog steeds milieubelasting optreedt, zij het in een gewijzigde vorm. Zo levert afvalwaterzuivering vaak problemen op door het zuiveringsslib dat vrijkomt. Procesgeïntegreerde technologie is erop gericht om deze milieubelasting te voorkomen en een beter gebruik van energiestromen te maken.

Procesgeïntegreerde technologieën moeten gezocht worden in de reeds bestaande technologiegebieden (energietechnologie, katalyse, etc.). Het is moeilijk om dit soort technologieën op het spoor te komen, omdat het enerzijds nog niet voldoende duidelijk is wanneer een bepaalde technologie bijdraagt aan een verbeterde milieu-prestatie, en anderzijds deze technologieën niet primair gericht zijn op milieuverbeteringen. Katalysatoren kunnen als (onderdeel van) procesgeïntegreerde technologie gezien worden, maar het voert te ver om het hele wetenschapsgebied van de katalyse te benoemen als milieutechnologie.

1.2 Samenhang met andere technologiegebieden

Milieutechnologie is, zoals reeds aangegeven, een sterk multidisciplinair technologiegebied. Er is immers een groot aantal technologiegebieden te noemen, dat nauw verwant en van groot belang is voor milieutechnologie (Tabel 2). Daarbij behoort de procestechnologie (van belang voor procesgeïntegreerde oplossingen), scheidingstechnologie (belangrijk voor zowel procesgeïntegreerde oplossingen als end-of-pipe technologieën), informatie- en meettechnologie (voor het meten van milieuverontreiniging), energietechnologie/verbrandingstechnologie (milieuvriendelijke energiesystemen), katalyse (voor procesgeïntegreerde en end-of-pipe oplossingen),

¹ J. Quakernaat e.a. (red), *'PolyMilieu Zakboekje'*, Koninklijke PBNA (1994).

biotechnologie (procesgeïntegreerd en end-of-pipe). Milieutechnologie is dan ook uit puur technologische overwegingen niet af te bakenen van een aantal andere technologieën. Milieutechnologie wijkt van deze gebieden slechts af voorzover de toepassing gericht is op bescherming van of vermindering van de schade aan het milieu. Belangrijke technologieën, die ingezet worden als milieutechnologie zijn procestechnologie, katalyse en biotechnologie. Deze drie toepassingen worden grotendeels ingezet als curatieve technologie.

Tabel 2. *Relaties Milieutechnologie met andere technologiegebieden*

TECHNOLOGIEGEBIED	SAMENHANG MILIEUTECHNOLOGIE
Materiaaltechnologie	Milieuvriendelijke, duurzame materialen
Procestechnologie	Schone processen Processen t.b.v. afvalverwerking
Elektronica	Sensortechnologie (meten vervuiling)
Katalyse	Katalysatoren (schone- en schoonmaaktechnologie)
Computational modelling & Simulation	Computermodellen verspreiding luchtvervuiling (RIVM)
Biotechnologie	Biologische reiniging
Voedingsmiddelentechnologie	Verwerken afvalstromen, recycling
Informatie- en communicatiesystemen	Meetnetten en sensoren: vervuiling (smog), klimaatscenario's, toestand ozonlaag e.d.
Transport- en logistieke Technologie	Emissie-reductie, Elektrische/waterstof auto
Produktietechnologie	Energiebesparing, Milieuvriendelijk ontwerpen
Energietechnologie	Duurzame energiebronnen, Emissie-reductie, Energiebesparing
Lucht- en ruimtevaarttechnologie	Emissie-reductie, Lichtere materialen
Civiele Technologie	Milieuvriendelijk bouwen (hergebruik)

Daarnaast zijn er ook meer procesgeïntegreerde toepassingen van katalyse in de procestechnologie, waardoor de efficiëntie van een proces wordt vergroot. Daardoor kan bespaard worden op grondstoffen en de hoeveelheid afval.

Toepassingen van milieutechnologie zijn met name terug te vinden in de chemische industrie, de maakindustrie (transportmiddelen) en de energiesector. Van de in dit rapport beschreven technologiegebieden zijn dus met name procestechnologie en

energietechnologie van belang. Het gaat daarbij o.a. om energiezuinig ontwerpen, emissie-reductie en streven naar meer hergebruik (ketenbeheer). Tenslotte valt ook het ontwikkelen van sensoren en het meten van vervuiling tot (een ruime afbakening van) de milieutechnologie te rekenen.

1.3 Belang van het technologiegebied

In het Nationaal Milieubeleidsplan staan milieudoelstellingen voor de jaren 2010 en 2015. Deze doelstellingen zijn bijzonder ambitieus. Technologische ontwikkeling is nodig om de doelstellingen van het milieubeleid te halen. De milieuproduktie- en dienstensector levert een belangrijke bijdrage aan de verspreiding en toepassing van milieutechnologie. Ook de ontwikkeling van milieutechnologie is voor de sector van groot belang. Een goed ontwikkelde milieuproduktie- en dienstensector kan milieudoelen door middel van geavanceerde en beproefde milieutechnologie eerder en goedkoper dichterbij brengen. Ook kan zij een bijdrage leveren aan werkgelegenheid en export.

In 1992 waren in de Nederlandse milieuproduktiesector (excl. geluidshinderbestrijding en afvalverwerking) naar schatting 525 ondernemingen actief. De totale orderontvangsten binnen de sector bedroegen 2,455 miljard gulden. Ongeveer 50% van de ondernemingen houdt zich bezig met de produktie van milieu-installaties naar eigen ontwerp. Ongeveer 30% van de ondernemingen concentreert zich op het geven van milieu-advies en de overige 20% houdt zich bezig met contracting. Met betrekking tot de grootte van de bedrijven in de sector kan gemeld worden dat ongeveer 80% van de bedrijven minder dan 100 werknemers heeft (Vereniging van Leveranciers van Milieuapparaten en -technieken, 1993).

De milieuproduktie- en dienstensector heeft een vooraanstaande internationale positie op bepaalde deelgebieden, waaronder waterzuivering. In 1992 was met de export ruim 628 miljoen gulden gemoeid. Onzekere afzetmogelijkheden op de thuishmarkt en de relatief kleine omvang van deze markt kunnen deze ontwikkeling remmen. Omdat de Nederlandse milieuproduktie- en dienstensector bestaat uit relatief kleine bedrijven loopt men vaak op tegen grote marktrisico's en hoge investeringen in onderzoek en apparatuur.

Milieutechnologie is van belang voor bijna alle sectoren in de Nederlandse economie. Milieudoelstellingen zijn geformuleerd voor de volgende relevante doelgroepen: industrie, raffinaderijen, energiebedrijven, verkeer en vervoer, afvalverwijderingsbedrijven, riolering en waterzuiveringsinstallaties en drinkwaterbedrijven. Om aan de strenge milieudoelstellingen te kunnen voldoen, wordt door bijna alle sectoren gebruik gemaakt van milieutechnologie. Voor de korte en middellange termijn liggen er dan ook kansen voor milieutechnologie, zowel binnen als buiten Nederland. In de toekomst

zal er een verschuiving plaats vinden van milieutechnologie naar procesgeïntegreerde oplossingen, zoals rationeel grondstof- en energiegebruik. Om de ambitieuze doelstellingen van het NMP-2 te behalen is procesgeïntegreerde technologie hard nodig. Procesgeïntegreerde technologie heeft de toekomst boven toegevoegde technologie, omdat productieprocessen structureel worden aangepakt, waardoor het toepassen van toegevoegde technologie minder vaak nodig zal zijn, en in een aantal gevallen zelfs overbodig zal blijken te zijn. Het is dan ook van groot belang voor de milieuproduktiesector om hier op tijd op in te spelen, om daarmee de continuïteit voor de toekomst zeker te stellen.

2. Onderzoekinfrastructuur milieutechnologie

2.1 Actoren in de onderzoekinfrastructuur

2.1.1 Algemeen

Het onderzoek in Nederland op het gebied van water-, lucht- en bodemzuivering en afvalverwerking vindt plaats op de (technische) universiteiten en bij TNO en de GTI's en voor een kleiner deel in advies- en ingenieursbureaus. Industriële bedrijven die specifiek op milieutechnologie-produkten zijn gericht zijn voor het overgrote deel kleine ondernemingen, waar weinig onderzoek plaatsvindt. Onderzoek naar geluidshinderbestrijding vindt vooral plaats bij TNO en de advies- en ingenieursbureaus. Onderzoek naar procesgeïntegreerde technologie vindt plaats aan (vooral technische) universiteiten en bij TNO en de GTI's. Ook bij veel, met name grotere, industriële bedrijven wordt, bijvoorbeeld in het kader van procestechnologische R&D, onderzoek op dit gebied gedaan, maar hier zijn geen gegevens over beschikbaar. CWTS (1995) biedt een overzicht van publieke en private organisaties met onderzoeksactiviteit. Gemeten aan aantallen publikaties zijn vooral de LUW, TUD, VU, KUN, RIVM, RIZA, DLO, TNO actief.

Tabel 3. Overzicht van de onderzoekinfrastructuur milieutechnologie

CENTRA	ACCENTEN	FTE's (incl. AIO's)
UNIVERSITAIR <i>Onderzoekscholen</i> GEM i.o. (TUD) MW i.o. (VU) MT i.o. (LUW) <i>Universitaire centra:</i> TUD, TUE, UT, LUW	Procesintegratie, grondstoffen, energie Milieuwetenschappen Bodemchemie, microbiologie Waterzuivering, scheiding (TUE, UT, TUD); Luchtzuivering, scheiding, conversie (UT, TUD); Procesintegratie (TUD); Opwerking afval (UT); Hergebruik materialen (TUE)	117 182 150 Totaal (1993/94): 355 (alle universiteiten) waarvan 267 in TU's, LUW, en ± 40 procesgeïntegreerd
TOEGEPAST TNO-MEP TNO-FEL TNO-TPD ECN WL NLR GD RIZA RIVM DLO	Scheiden/zuiveren van afvalstromen; milieubio- technologie (voor waterzuivering, bodem en af- gassen) Remote sensing Sensoren, geluidhinderreductie, gasreiniging Bouwmaterialen, radioactiviteit Diffusie verontreinigingen in water Geluidhinderreductie, remote sensing In-situ bodemreiniging Waterkwaliteit, afvalwaterbehandeling Bioafbreekbaarheid, meten verontreinigingen Bodemanalyse, microbiologie	TNO: plm. 180 GTI's: plm 60 (ECN: 21, GD: 7, NLR: 29, WL: 3) plm. 10 plm. 15 plm. 50
INDUSTRIE Ruim 500 bedrijven Ingenieurs- en advies- bureaus (DHV, Hei- demij, IWACO etc) KEMA	Waterzuivering; Luchtzuivering; Bodemreiniging; Afvalverwerking; Geluidshinderbestrijding O.a. rookgasreiniging	Niet bekend -- --
OVERIG NOVEM	Programmering onderzoek, uitvoering subsidiere- gelingen, financiering	

Bron: VSNU (1995); voor Toegepaste instituten o.a. EZ, 'Environmental technology in the Netherlands' (1992); aangevuld met meer recente gegevens uit jaarverslagen. Het betreft milieutechnologie-onderzoekers (niet het totaal aantal werknemers).

Kwantitatieve gegevens over de R&D-capaciteit op het gebied van milieutechnologie - zijn afkomstig van onderzoek van het ministerie van Economische Zaken naar milieutechnologie in Nederland (1992), van een rapport van Bureau Bartels (1995), van meer recente gegevens van TNO, GTI's en universiteiten, met betrekking tot onderzoekscholen van de VSNU (1995) en van het Wetenschapsbudget 1995. Opge-

merkt moet worden dat deze bronnen veel verschillende onderwerpen meenemen; zo is ook onderzoek naar meetmethoden van milieuverontreiniging hierin opgenomen. Omdat dit buiten de in dit rapport gehanteerde definitie van milieutechnologie valt, zal in werkelijkheid de kwantiteit aan milieutechnologie-onderzoek lager liggen.

2.1.2 Onderzoekscholen, universiteiten

Uit een inventarisatie van milieutechnologisch onderzoek die voor het ministerie van Economische Zaken is uitgevoerd, valt op te maken dat het *universitaire milieutechnologie-onderzoek* uitgedrukt in research-capaciteit in manjaren ongeveer 355 FTE bedraagt, waarvan 267 FTE bij de Landbouwniversiteit Wageningen en bij de drie technische universiteiten (Delft, Eindhoven en Twente). Hierbij is echter ook onderzoek naar meten en registreren meegenomen. Op basis van eigen analyse van universitaire jaarverslagen komen wij evenwel op een schatting van ongeveer 90 FTE. Dit illustreert het probleem van de gebiedsafbakening. Voorts blijkt dat het universitaire procesgeïntegreerde milieu-onderzoek in Nederland 27,3 FTE bedraagt, en universitair onderzoek naar milieugericht produktontwerpen 12,7 FTE (Bureau Bartels, 1995).

De in oprichting zijnde *onderzoekschool Milieuchemie en Toxicologie* (MT) is een samenwerkingsverband tussen de Landbouwniversiteit Wageningen, de Universiteit Utrecht en de Katholieke Universiteit Nijmegen. MT heeft een omvang van 152 FTE's (waarvan 126 AIO's). Opgemerkt moet worden dat waarschijnlijk maar een zeer klein gedeelte van dit onderzoek (bodemchemie) op het gebied van milieutechnologie zoals dat in dit hoofdstuk is afgebakend ligt zodat deze getallen geflatteerd zijn. De onderzoekschool *Milieuwetenschappen* (MW) is eveneens in oprichting. Ook van deze school (182 FTE) mag verwacht worden dat het merendeel van het onderzoek niet gericht is op milieutechnologie. In deze onderzoekschool participeren de Rijksuniversiteit Leiden, de Vrije Universiteit Amsterdam en de Landbouwniversiteit Wageningen.

De in voorbereiding zijnde onderzoekschool *Grondstoffen, Energie, Milieu* (GEM, TU Delft) bevindt zich wel in de kern van milieutechnologie, met ook ruime aandacht voor procesintegratie en duurzaam gebruik van energie en grondstoffen in de industrie. In hoofdlijnen is over het onderzoek- en onderwijsprogramma overeenstemming bereikt, verwacht wordt dat GEM binnenkort van start kan gaan. In het universitaire milieutechnologisch onderzoek is de TU Delft met 117 FTE veruit de sterkste partij. Op het gebied van procesgeïntegreerde technologie kent Delft *Interduct*, het Delft University Clean Technology Institute. Dit is een interfacultair instituut tussen 7 faculteiten van de TUD. Interduct is actief op het terrein van milieu en schone technologie. In 1994 bedroeg het aantal onderzoekers 7,7 fte. Een groot deel van het onderzoek is gewijd aan procesgeïntegreerde technologie, zoals het onderzoek naar

'proces-geïntegreerde toepassing van brandstof-cellen in de industrie', dat een eervolle vermelding ontving van de jury van de DSM Milieutechnologieprijs 1994. De TU Delft beschikt over een leerstoel op het gebied milieutechnologie, die gefinancierd wordt door VROM en het bedrijfsleven. De Faculteit der Werktuigbouwkunde en Maritieme Techniek houdt zich bezig met het ontwikkelen van scheidingstechnieken vanuit de apparatenbouw, vooral op het gebied van waterzuivering. De Faculteit der Scheikundige Technologie en Materiaalkunde doet eveneens onderzoek naar afvalwaterzuivering vanuit de bioprocestechnologie. Ook wordt onderzoek gedaan naar gasreiniging vanuit de reactorkunde en katalyse.

Aan de *Landbouwniversiteit Wageningen* wordt in de Vakgroep Milieutechnologie onderzoek gedaan naar zuivering van afvalwater; zuiveringsmethoden voor verontreinigde grond- en waterbodems; zuivering van grondwater; behandeling van afvalstromen; afgaszuivering. Hierbij worden biotechnologische, fysische en chemische technieken ontwikkeld en toegepast.

De *Universiteit Twente* huisvest het Centrum voor Schone Technologie en Milieubeleid. Dit centrum richt zich onder andere op milieutechnologie (waterzuivering). Aan de Faculteit Chemische Technologie wordt onderzoek gedaan naar lucht- en waterzuivering (technieken: membraantechnologie, fysische scheidingen, chemische conversie). Ook wordt onderzoek gedaan naar de opwerking van afval. Aan de Faculteit Werktuigbouwkunde wordt procesgeïntegreerd onderzoek gedaan naar de verbranding van kolen en olie.

Het onderzoek aan de *Technische Universiteit Eindhoven* op het gebied van milieutechnologie vindt vooral plaats binnen de faculteit Chemische Technologie. Het onderzoek richt zich op afvalwaterzuivering, slibontwatering, en luchtzuivering (biofiltratie, katalysatoren voor luchtzuivering). Aan de faculteit Bouwkunde wordt onderzoek gedaan naar milieubewust bouwen en produktinnovatie en hergebruik van bouw en constructiematerialen.

Andere universiteiten waar milieutechnologisch onderzoek wordt verricht zijn de Rijksuniversiteit Leiden (Centrum voor Milieuwetenschappen), de Universiteit van Amsterdam (milieu en toxicologie) en de Rijksuniversiteit Groningen (energie en milieu, microbiologie).

2.1.3 Fundamentele instituten

Op het gebied van milieutechnologie zijn geen fundamenteel georiënteerde instituten aanwezig in Nederland. Het NWO-budget voor geo- en milieu-onderzoek over 1995 bedraagt 13 mln.

2.1.4 Toegepaste instituten (TNO, GTI's, departementale instituten)

Met het recente initiatief *Environmental Technology Valley* beoogt TNO partnerships op te zetten tussen bedrijven en de kennisinfrastructuur, gericht op benutting van milieutechnologische kennis. Binnen TNO houden verschillende instituten zich bezig met milieutechnologie. *TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie (TNO-MEP)* doet onderzoek naar het scheiden van grond- en afvalstromen, waaronder slib, afvalwater en waterbodems. Het betreft vooral onderzoek naar het verwijderen en ontgiften van zware metalen en/of organische microverontreinigingen. Gebruikte technieken zijn thermisch, chemisch en fysisch zuiveren. Verder doet men onderzoek naar het terugwinnen van metaal, papier, hout en kunststoffen uit diverse afvalstromen. Voorts wordt onderzoek verricht naar milieubiotechnologie. Aandachtspunten hierbij zijn waterzuivering en slibbehandeling, biotechnologische behandeling van bodems, afgassen en vaste afvalstoffen, verwijdering van zware metalen en elektrochemische afbraak van verontreinigingen.

TNO Kunststoffen en Rubber Instituut/Branchecentra (TNO-KRI/BC) verricht onderzoek naar de ontwikkeling van polymeren voor membraanontwikkeling voor scheiding, concentrering en zuivering van waterige en gasvormige systemen. Ook wordt onderzoek gedaan naar scheiding en hergebruik van kunststofafval. *TNO Technisch Fysische Dienst TU Delft (TNO-TPD-TU Delft)* doet onderzoek naar geluidshinderbestrijding in de vorm van onderzoek naar antigeluid en geluidwering. Op het gebied van de procesgeïntegreerde technologie doet TNO onderzoek naar schone technologie voor de textiel- en tapijtindustrie (*TNO-KRI*) en naar proceswijziging voor de glas- en bouwkeramiek (*TNO-TPD-TU Delft*).

In het dwarsverband *TNO Biotechnologie* zijn TNO Voeding, TNO MEP en TNO Preventie en Gezondheid betrokken. Dit dwarsverband houdt zich ook bezig met milieubiotechnologie. Het bij TNO betrokken *Instituut voor Reinigingstechnieken TNO (IR)* houdt zich onder andere ook bezig met het ontwikkelen en adviseren ten aanzien van bodem- en grondwaterverontreiniging en bodemsaneringstechnieken.

In het *TNO Centrum voor Afvalonderzoek* participeren vrijwel alle TNO-instituten en Technische Universiteiten. Het Centrum richt zich op het samenhangend doen plaatsvinden van onderzoeks- en adviesactiviteiten op het gebied van afvalverwerking.

De TNO-activiteiten op het gebied van milieutechnologie bij TNO Milieu, Energie en Produktinnovatie (MEP), TNO-TPD, TNO-FEL en TNO-KRI beslaan ongeveer 180 FTE. Bij TNO bedraagt het procesgeïntegreerde onderzoek naar schatting zo'n 40 FTE.

Het *Rijks Instituut Voor Milieubeheer* voert multidisciplinair onderzoek uit ter bescherming van mens en milieu. Opdrachten komen voornamelijk (80 %) van de ministeries van VWS en VROM. Het eigen technologisch onderzoek dat plaats vindt binnen het

RIVM richt zich vooral op het meten van verontreinigingen in water, lucht en bodem. Verder vindt er fysisch en analytisch onderzoek plaats naar afvalstoffen. RIVM-uitgaven voor milieu-gerelateerd onderzoek bedragen 62 mln (Wetenschapsbudget 1995).

Het *Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA)* verricht onderzoek en adviseert over de waterhuishouding (kwalitatief en kwantitatief) van de (zoete) binnenwateren inclusief grondwater. Er is kennis aanwezig over zuiveringstechnologie en reiniging van afvalwater (biologisch en fysisch-chemische zuivering). Ook vindt er onderzoek plaats naar reiniging van waterbodems en grondwaterreiniging bij bodemsanering. Het RIZA is een kennisdirectie van het ministerie van Verkeer en Waterstaat (Rijkswaterstaat). Rijkswaterstaat geeft 18 mln uit aan onderzoek naar waterbeheer en 10 mln aan bodemsanering (Wetenschapsbudget 1995).

Stichting Energie-onderzoek Centrum Nederland (ECN) doet onderzoek naar emissiebestrijdingstechnieken, zoals het beperken van verbrandingsemissies bij energieconversieprocessen (ca. 350 technieken en methoden). Op het gebied van bodem wordt onderzoek gedaan naar uitlooggedrag. Verder vindt er onderzoek plaats naar energie-aspecten van afvalverbranding. ECN doet procesgeïntegreerd onderzoek op het gebied van schone verbrandingstechnologie en duurzame energie. Deze onderzoeksterreinen vallen onder de energietechnologie, en zullen hier verder niet besproken worden.

Milieutechnologisch onderzoek wordt voorts verricht door andere GTI's zoals Grondmechanica Delft (bodemonderzoek, betrokken bij het ICES-programma NOBIS over in-situ bodemsanering), het Waterloopkundig Laboratorium (modellen voor waterkwaliteit) en NLR (geluidshinderreductie, remote sensing). Het DLO voert, verspreid over instituten (ondermeer IPO-DLO, IB-DLO, Staring Centrum), milieutechnologisch onderzoek uit met name op het gebied van bodemanalyse, bodemreiniging en microbiologie.

2.1.5 Industriële R&D

Op het gebied van milieutechnologie is in Nederland een groot aantal voornamelijk kleine bedrijven actief. Van de 525 ondernemingen die in 1992 in de Nederlandse milieuproduktiesector (excl. geluidhinderbestrijding en afvalverwerking) actief waren, geldt dat ongeveer 80% van de bedrijven minder dan 100 werknemers heeft. De bedrijvigheid op het gebied van milieutechnologie is verspreid over een groot aantal typen aanbieders.

Zo kent men de volgende indeling van aanbieders van milieutechnologie:

- ontwerpers: (consulting), engineering en contracting;
- fabrikanten van componenten/units/fabrieken;
- dienstverleners: consultancy;
- kennisdragers: consultancy onderzoek;
- verhandelaren: direct, handelshuizen;
- gebruikers: ondernemingen, nutsbedrijven.

De milieuproduktiesector bestaat uit een grote groep van merendeel kleine tot middelgrote bedrijven. De financiële basis van deze bedrijven is vaak niet groot genoeg om de noodzakelijke uitgaven aan research en ontwikkeling en/of marketing te doen. Dikwijls zijn bedrijven in de milieuproduktiesector slechts voor een deel van hun omzet afhankelijk van de milieumarkt. Merkbaar is een tendens binnen (grote) industriële ondernemingen tot verrichten van milieutechnologisch onderzoek, zeker op terreinen zoals milieugerichte produktontwikkeling, procesintegratie en afvalbehandeling, als nevenactiviteit maar wellicht in de (nabije) toekomst als manier tot behalen van nieuwe concurrentievoordeel. De omvang van deze activiteiten zijn momenteel niet bekend.

Een groot aantal *ingenieurs- en adviesbureaus* is actief op het gebied van milieutechnologie. Accenten in de activiteiten liggen op het gebied van bodem en afval. Aan geluidshinderbestrijding wordt relatief gezien minder aandacht besteed. Over de omvang van het onderzoek naar milieutechnologie binnen deze adviesbureaus zijn momenteel geen gegevens beschikbaar. De meeste advies- en ingenieursbureaus zijn op een aantal terreinen van milieutechnologie actief. Enkele grotere ingenieurs- en adviesbureaus die zich duidelijk profileren op het gebied van milieutechnologie zijn DHV Milieu en Infrastructuur, Grontmij, Heidemij Advies, IWACO, Oranjewoud.

De *Bedrijfsmilieudienst (BMD)* staat het aangesloten midden- en kleinbedrijf met adviezen terzijde, omdat bedrijven binnen het MKB vaak over weinig milieu-ervaring en weinig deskundig personeel en financiële middelen beschikken. De BMD is een milieu-adviesorganisatie van, voor en door het bedrijfsleven die zich richt op eerstelijns milieu-advisering, zoals bodemonderzoek, aanschaf van apparatuur en afvalwaterzuivering. Bij meer gecompliceerde zaken wijst de BMD door naar gespecialiseerde bureaus. In elke provincie dient minstens één BMD te zijn. De BMD is nauw gelieerd aan de Kamer van Koophandel.

Binnen *KEMA*, onderdeel van de SEP, vindt milieutechnologie-onderzoek plaats binnen de groep Onderzoek en Ontwikkeling Milieutechniek en Milieu-effecten. Er vindt onderzoek plaats naar afvalstoffen afkomstig uit de elektriciteitsproductie, en naar het reinigen van rookgassen (middels elektrostatische stoffilters en katalytische reductie).

2.1.6 Overig (branche-organisaties, intermediairs)

KIWA is uitvoerder van het gemeenschappelijk speurwerkprogramma van de *VEWIN* (Vereniging van Waterleidingbedrijven in Nederland). Zwaartepunten binnen dit programma zijn onder andere bodem- en waterverontreiniging, waterkwaliteitsverbetering en ontwikkeling van analysemethoden.

De Nederlandse Vereniging van Procesmatige Grondreinigingsbedrijven (NVPG) heeft als doel kennis en ervaring op het gebied van de bodemsanering bijeen te brengen. Grondreinigingsbedrijven kunnen zich aansluiten wanneer zij praktische ervaring hebben met procesmatige grondreiniging en zij in bezit zijn van eigen inrichtingen, installaties en apparatuur. NVPG heeft 14 leden (01-10-'94).

De Orde van Nederlandse Raadgevende Ingenieurs (ONRI) heeft een afdeling Milieutechnologie. De hierbij aangesloten bureaus zijn actief op het gebied van waterzuivering, bodemsanering, laboratoriumanalyses, afvalverwerking, milieueffectrapportages, milieuwetgeving en geluidbeheersing. De afdeling milieutechnologie heeft 37 leden (waaronder IWACO, DHV, TEBODIN, TAUW, Haskoning en Heidemij).

Vereniging Afvalbeheer is een Nederlandse vereniging van particuliere bedrijven in integrale afvalverwijdering. De leden zijn actief op het gebied van inzamelen, transport, op- en overslaan, bewaren en bewerken van afvalstoffen, rioolreiniging en -inspectie en veegdiensten. Bij de Vereniging Afvalbeheer zijn 29 bedrijven aangesloten.

De Vereniging van Leveranciers van Milieu-apparatuur en -technieken (VLM) bundelt bedrijven die milieuspecifieke kennis bezitten, die wordt toegepast in installaties voor het verminderen of voorkomen van milieubelastende emissies. De VLM is een branche van de FME. VLM heeft als doel de ontwikkelingen van de milieutechnologie in Nederland te bevorderen door de marktpositie van de aangesloten bedrijven te verbeteren. De VLM heeft 43 leden.

De Vereniging van Afvalverwerkers (VVAV) behartigt de belangen van composteerders, storters en bewerkers van afvalstoffen. Ter bevordering van energieproductie en hergebruik van nuttige toepassing van restprodukten wordt gestreefd naar procesoptimalisatie. Daarnaast wordt onderzoek verricht naar tal van aspecten van de afvalverwijdering. De VVAV heeft 56 leden.

2.1.7 Stimulering van wetenschap en technologie

In 1990 is het *IOP Milieutechnologie* programma gestart. Dit programma bestaat uit drie deelprogramma's: IOP Milieubiotechnologie, IOP Preventie en IOP Recycling en heeft een totale omvang van 40 Mf. Het *IOP Milieubiotechnologie* (13 Mf van 1990-1993) kent drie onderzoekslijnen: proces- en reactoroptimalisatie, toepassing van specifieke micro-organismen en interacties tussen micro-organismen en vaste substraten. De belangrijkste onderzoeksinstellingen die in het programma participeren zijn LU Wageningen, TNO en TU Delft. Het *IOP Preventie* loopt van 1991-1995 (eerste fase, budget 13 Mf). Het centrale onderzoeksthema van IOP Preventie is "recirculatie van processtromen binnen procesgrenzen". Bij de onderzoeksprojecten zijn de volgende instellingen betrokken: RU Groningen, RU Leiden, TNO-ME, TNO-KRI, TNO-MW, TNO-Textiel, TU Delft, TU Eindhoven en de Universiteit Twente. Het *IOP Recycling* loopt van 1992 tot 1995 met een budget van 13,3 miljoen gulden. Het doel van IOP Recycling is het stimuleren van toepassingsgericht onderzoek gericht op het terugwinnen van vaste materialen uit bulkafvalstromen. De volgende instellingen zijn betrokken: TU Delft, TNO-ME, TNO-KRI, Universiteit Twente, RU Groningen, ECN.

Andere lopende onderzoeksprogramma's in Nederland zijn de *Stimuleringsregeling Milieutechnologie (beheer: NOVEM)* en *PBTS-Milieutechnologie*. Het onderzoeksprogramma Milieutechnologie geeft ondersteuning aan haalbaarheids-, ontwikkelings- en demonstratieprojecten op allerlei milieu-technologische gebieden. Opdrachtgevers van het programma zijn de ministeries van VROM, LNV en V&W. Het programma is in beheer bij NOVEM (te besteden middelen: 11,9 mln). De NOVEM vervult een belangrijke rol in de uitvoering van subsidieregelingen, programmering van onderzoek op prioritaire thema's, financiering, en in de opbouw van samenwerking tussen kenniscentra en bedrijven.

Eveneens van belang voor milieutechnologie is het interdepartementale programma *Duurzame Technologische Ontwikkeling (DTO)*. In tegenstelling tot voorgaande regelingen is dit programma niet aanbodgericht maar vraaggericht. Het doel van het DTO-programma is te verkennen hoe de ontwikkeling van duurzame technologie - technologie waarmee maatschappelijke behoeften kunnen worden vervuld met respect voor de 'milieugebruiksruimte' - kan worden gestimuleerd en hoe optimale voorwaarden kunnen worden geschapen voor de inbedding daarvan in de economische en maatschappelijke ontwikkeling. Het DTO-programma, dat loopt tot 1997, heeft een budget (excl. programmabureau) van 20 miljoen gulden.

Gezamenlijk door de ministeries EZ en OC&W wordt het onderzoek- en ontwikkelingsprogramma *Economie Ecologie en Technologie (EET)* gestart. Dit programma is gericht op het ontwikkelen en toepassen van kansrijke technologieën met een hoog milieurendement en groot marktpotentieel, en op het versterken van de kennisinfra-

structuur (zie 'Kennis in Beweging', 1995). Bij de voorbereiding richt men zich op vier thema's voor de middellange termijn (industriële water, industrieel afval, verkeer en vervoer, en milieugerichte produktontwikkeling) en op twee lange-termijnthema's (duurzame energie en duurzame grondstoffen). Daarnaast zal aandacht worden besteed aan verkenningen op het EET-gebied. Voor dit programma komt structureel 45 Mf beschikbaar (van 5 Mf in 1996 naar 45 Mf structureel in 1999).

Het *Speerpuntprogramma Bodemonderzoek*, opgezet onder auspiciën van OC&W, startte in 1986 en werd in 1995 geheel afgesloten. Het budget bedroeg in totaal 56 Mf. De ministeries van LNV, V&W en VROM participeerden, naast OC&W, in de financiering. Het programma wordt opgevolgd door het Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek. In dat programma zullen vormen van co-financiering door externe partijen worden nagestreefd.

De *NWO Stichting Technische Wetenschappen* besteedde over het lopende meerjarenplan (5 jaar) aan milieutechnologische projecten bijna 50 miljoen. Ieder project wordt voorzien van een begeleidingscommissie met externe deskundigen (bedrijven, enz.). Het aantal gebruikers bedroeg over de genoemde periode bijna 200.

In het kader van de ICES-projecten, gefinancierd uit het Fonds Economische Structuurversterking, is voor het Land-Water-Impuls Programma (informatietechnologie en milieu) een budget van 40 Mf gereserveerd; voor NOBIS (biotechnologische in-situ sanering 25 Mf.

Te vermelden valt voorts dat onderzoek en ontwikkeling voor milieutechnologie in de volgende EG-onderzoeksprogramma's voorkomt: *LIFE/DG13*: omvang: 260 MECU (578 miljoen gulden), van 1992-1996; waaronder bodemsanering (klein gedeelte van 260 MECU); en het onderdeel Milieu en Klimaat van het *4e Kaderprogramma* bevat een onderdeel milieutechnologie waarvoor 60 MECU beschikbaar is (totale programma 482 MECU).

2.2 Relatienetwerken

Tabel 5 vat een aantal belangrijke relatienetwerken samen. Belangrijke relatienetwerken op het gebied van milieutechnologie zijn opgebouwd rond IOP's (zie par. 2.1.7).

Tabel 5. Relatienetwerken milieutechnologie

KADER	RELATIENETWERK
IOP Milieubiotechnologie	LU Wageningen, TNO-MEP en TU Delft; advies- en ingenieursbureaus, apparatenbouwers
IOP Preventie	TNO-MEP, TNO-Textiel, TU Delft, TU Eindhoven en TU Twente; AKZO, M+I, DSM, IWACO, Kema, KSLA, Norit, Philips, Stork Friesland, Tauw-Infra Consult, Unilever, X-Flow (etc)
IOP Recycling	TU Delft, TNO-MEP, TNO-KRI, TU Twente, RU Groningen, ECN
NOVEM-projecten	Bedrijven, universiteiten, onderzoeksinstituten
ICES Land Water Impuls ICES NOBIS	o.a. RWS, RIKZ, TNO, WL, Havenbedrijf Rotterdam, NS, Ballast nedam, Cap Volmac, BSO, DHV GD, Heidemij, WL, Iwaco, Shell, GHR, Stichting Euro-poort/Botlek Belangen etc.
TNO Centrum voor Afvalonderzoek	vrijwel alle TNO-instituten en Technische Universiteiten

3. Evaluatie onderzoekinfrastructuur

In Nederland wordt op vele plaatsen onderzoek verricht op het gebied van milieutechnologie. Het onderzoek op de universiteiten is verspreid over verschillende faculteiten en vakgroepen binnen die faculteiten. Daarnaast zijn ook veel toegepaste instituten (voor een kleiner of groter deel van hun activiteiten) actief in de milieutechnologie. Een belangrijke oorzaak hiervan is, dat milieutechnologie als technologiegebied eigenlijk niet bestaat. Het is eigenlijk de toepassing van andere technologiegebieden, zoals de procestechnologie, scheidingstechnologie, katalyse, energietechnologie en analytische chemie, etc. op uiteenlopende milieu-onderwerpen, die milieutechnologie genoemd wordt.

De industriële markt voor milieutechnologie is nogal versnipperd over aanbieders van ontwerpen, apparatuur, advies, kennis en gebruikers. De milieuproduktiesector bestaat uit een grote groep van merendeel kleine tot middelgrote bedrijven. De financiële basis van deze bedrijven is vaak niet groot genoeg om de noodzakelijke uitgaven aan research en ontwikkeling en/of marketing te doen. Dikwijls zijn bedrijven in de milieuproduktiesector slechts voor een deel van hun omzet afhankelijk van de milieumarkt.

Bedrijven beoordelen volgens Bureau Bartels [1995] de in Nederland aanwezige kennis over milieutechnologie als goed. Internationaal worden de Verenigde Staten, Duitsland en Japan genoemd als koplopers in de milieutechnologie. Nederland speelt een niet onbelangrijke rol, en dan met name op de thema's (afval)waterverwerking, bodemverwerking en milieubiotechnologie. Uit de universiteitswereld wordt aangegeven dat Nederland een achterstand lijkt te hebben op de thema's milieugericht produktontwerpen en procesgeïntegreerde technologieën. Verder signaleert men zwaktes door de versnipperde aard van het milieutechnologisch onderzoek en de beperkte toepassing van de beschikbare kennis.

Op grond van een onderzoek door CWTS (1995) op het gebied van milieutechnologie kan nog een aantal aanvullende conclusies worden getrokken. Het totale aantal Nederlandse publikaties op het gebied van milieutechnologie in de periode 1993-1994 bedraagt 276. Van het wereldwijde aantal van 14.627 is dit een percentage van 1.9. Uitschieters liggen op de gebieden industriële afvalbehandeling (met name afvalwaterzuivering, 5.1 %) en environmental engineering (2.4 %, met name ecologie en ecosystemen 4.3 %).

Het begrip milieutechnologie omvat met name de technologieën die nodig zijn om emissies te bestrijden of te verminderen. Problemen op het gebied van verspilling (grondstofuitputting) komen bijvoorbeeld niet aan de orde. In het huidige Nederlandse milieubeleid is het echter niet milieutechnologie zoals hierboven gedefinieerd, maar duurzame technologische ontwikkeling die een vooraanstaande rol zal gaan spelen. Duurzame technologieën richten zich veel meer op procesgeïntegreerde maatregelen en milieugericht procesontwerp. Men zou kunnen stellen dat milieutechnologie eerder output-gericht is, terwijl duurzame ontwikkeling een overall-benadering herbergt.

Het is vooralsnog onduidelijk of het meer algemene aanbod van milieutechnologie en oplossingen vanuit andere relevante technologiegebieden aansluit bij de specifieke behoeften van bedrijven op het gebied van milieugerichte procesvoering. Het verdient daarom aanbeveling om de aandacht niet alleen op milieutechnologie te richten, maar ook op de volgende twee gebieden (zie ook de beschrijving van het EET-programma in 2.1.7):

- technologieën gericht op het voorkomen van grondstofuitputting (onder andere verbeteren efficiëntie van winning, hergebruik van grondstoffen/produkten, etc.);
- technologieën gericht op procesgeïntegreerde maatregelen (inclusief milieugericht ontwerpen).

Verder is het ook van belang om nader onderzoek te verrichten naar de aanverwante technologiegebieden, die in nauwe relatie staan met milieutechnologie, en die hiervoor van groot belang zijn. In een dergelijk onderzoek zou gekeken kunnen worden welke ontwikkelingen zich voordoen bij belangrijke aanverwante technologiegebieden die

relevant zijn voor duurzame ontwikkeling. Mogelijke technologiegebieden zijn: energietechnologie/verbrandingstechnologie, katalyse, procestechnologie, scheidingstechnologie.

Bronnen

Bureau Bartels, *'Inventarisatie milieutechnologisch onderzoek in Nederland'*. Samenvatting (1995).

CWTS, *'Nederlandse publikatie-activiteit en R&D-instellingen op het gebied van milieuwetenschap en milieutechnologie'* (1995).

Jaarverslagen universiteiten (1992, 1993).

Ministerie van Economische Zaken, *'Environmental technology in the Netherlands'* (1992).

Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen, *'Wetenschapsbudget 1995'* (1994).

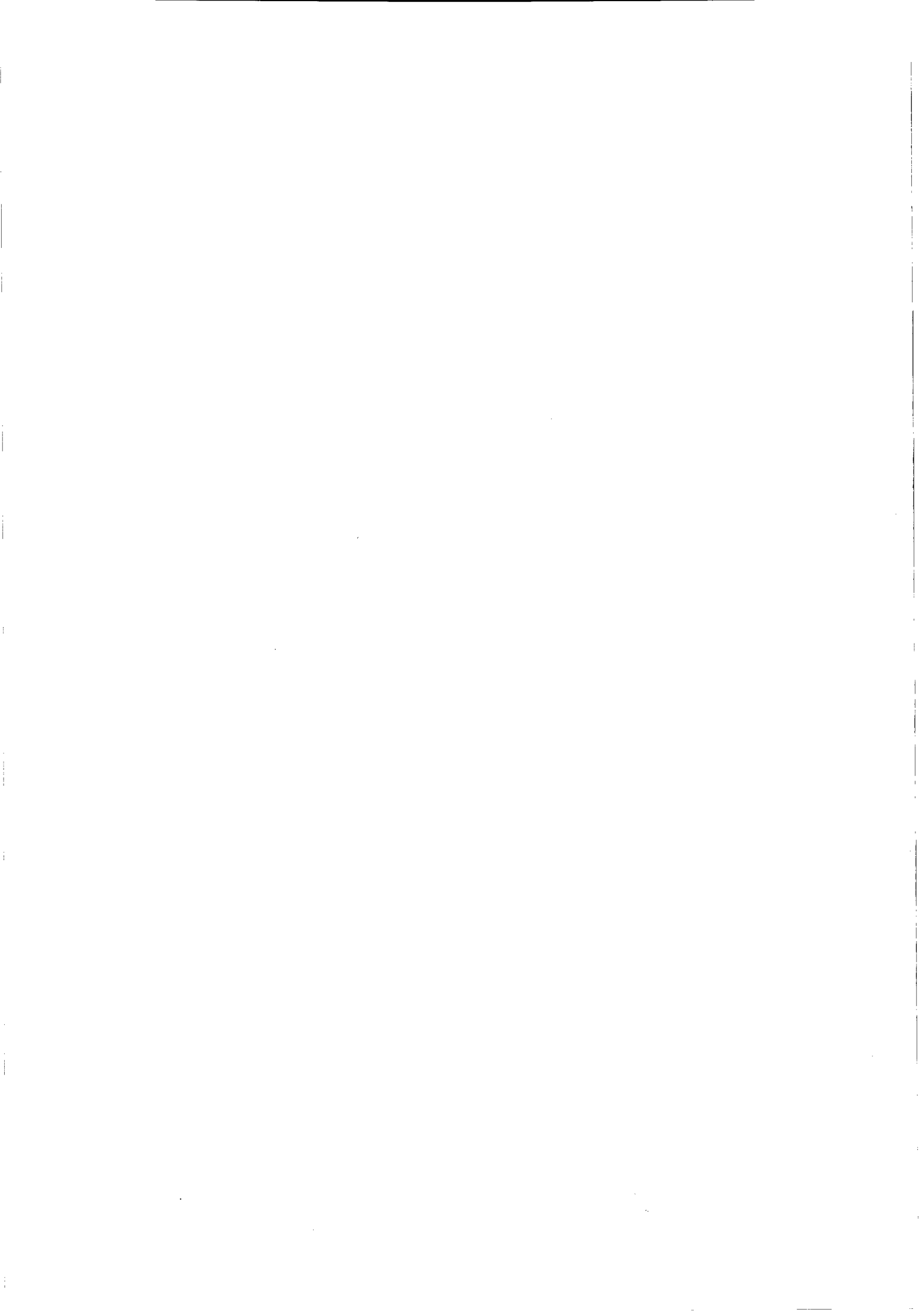
Ministerie van Economische Zaken, *'Op zoek naar marktmogelijkheden voor Nederlandse milieutechnologieën'*. rapport opgesteld door Arthur D. Little (1994).

Ministeries van Economische Zaken, Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen, en Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, *'Kennis in beweging'* (1995).

Rond, T. de, *'De milieuproduktiesector in Nederland in 1991 en 1992'*. VLM, FME, Zoetermeer (1993).

Senter, *'TOP Milieubiotechnologie Meerjarenprogramma 1990-1993'* (1991).

VSNU, *'BIOS 1994. Research schools in the Netherlands'* (1995).



10. Medische technologie



1. Omschrijving technologiegebied

1.1 Technologiegebied, disciplines

Onder medische technologie valt een breed scala van ontwikkelingen gericht op geneeskunde en medische zorg. Kunstmatige organen, biocompatibele materialen, medische beeldvorming, medische informatiesystemen, geneesmiddelen en hulpmiddelen voor virus- en bacteriedetectie zijn er voorbeelden van. Tabel 1 geeft een overzicht van het technologiegebied.

Tabel 1. Medische technologie: disciplines, technologieën, toepassingen

DISCIPLINES	TECHNOLOGIE	TOEPASSINGEN
<u>Elektronica, informatietechnologie:</u> Digitale en analoge elektronica; informatietheorie, signaalverwerkingsalgoritmen; micro-optica, microsysteemtechnologie, sensoren; micro-elektronica; Computer Vision; netwerktechnologie; meet- en regeltechniek, biosensoren <u>Werktuigbouwkunde:</u> Biomechanica <u>Materiaalkunde</u> <u>Biologie/Medische Wetenschappen:</u> Immunologie; fysiologie; epidemiologie; genetica; microbiologie; (bio-)farmacologie, celbiologie <u>Chemie</u> Organische chemie, biochemie	<u>Diagnose en communicatie</u> signaalverwerking en beeldvorming, -verwerking (CT, NMR, ultrageluid); (micro-)robotica; medische informatie- en communicatietechnologie <u>Patiënthulpmiddelen</u> biocompatibele materialen, kunstmatig bloed, kunstmatige organen, elektronische hulpmiddelen <u>Geneesmiddelenontwikkeling</u> diagnostica (bacterie- en virusdetectie, biosensoren), productie antilichamen <u>Genetic engineering</u> eiwitontwikkeling, recombinant DNA, immunoen transplantatietechnologie	<u>Instrumenten medische zorg</u> (o.a. radiodiagnostiek, tomografie) <u>Klinisch instrumentarium:</u> miniaturisering van biocompatibele sensoren en micro-mechaniken/monsternamen/laboratoriumapparatuur <u>Functie-onderzoek:</u> expertsystemen; erfelijkheidsonderzoek <u>Therapeutische behandeling:</u> genterapie, transplantatie, ziekten en aandoeningen <u>Apparatuur voor thuiszorg</u> (gehandicapten, ouderen) <u>Hulpmiddelen gehandicapten</u> <u>Gebouwbeheersystemen</u>

Belangrijke basisdisciplines liggen enerzijds op het terrein van de elektronica en informatietechnologie. Deze disciplines zijn noodzakelijk voor de ontwikkeling van diagnose- en communicatiesystemen. Micro-elektronica en computertechnologie vormen de basisdisciplines voor het afbeelden van driedimensionaal lichaamsdoorsneden, het bewerken van driedimensionale beelden, het verbeteren van mechanismen voor transport en opslag van data. Anderzijds liggen belangrijke disciplines voor wat

betreft geneesmiddelenontwikkeling en ook genetic engineering op het terrein van de medische wetenschappen (genetica, immunologie), microbiologie, biotechnologie en (bio-) chemie. Het beeld is hier uitermate complex. Wanneer men kijkt naar een technologie als *genetic engineering* komen enerzijds zeer gevarieerde en specifieke toepassingen in beeld zoals erfelijkheidsonderzoek, eiwitten met speciale eigenschappen, genterapie, transgenese, bloedtransfusie en transplantatie. Naar de disciplines gezien zijn vooral de genetica, biologische disciplines, immunologie en biotechnologie van groot belang.

Belangrijke ontwikkelingen in de medische technologie vinden plaats op het terrein van de *gezondheidsinformatie- en diagnosesystemen*. Zo wordt gewerkt aan nieuwe diagnostische systemen (medische beeldvorming via technieken zoals Computer Tomografie, Magnetic Resonance Imaging, en ultrageluid) en communicatienetwerken waardoor de rol van de arts kan verschuiven naar supervisory control. Op het gebied van *biocompatibele materialen* liggen de belangrijke ontwikkelingen op terreinen zoals implantaatmaterialen en kunstmatig bloed en huid. Op het gebied van *virusdetectie* is de behoefte groeiende aan nieuwe zeer gevoelige (near) real time systemen.

In de publikatie '*Medische technologie; ieders belang, ieders zorg*' (1992) wordt het technologiegebied ingedeeld in drie categorieën, namelijk 1. apparatuur en hulpmiddelen, 2. technieken en methoden, en 3. geneesmiddelen. Met de tweede categorie worden technieken en methoden bedoeld die een directe relatie hebben met het medisch handelen van de arts. Deze staan veelal in relatie met ontwikkelingen in de eerste categorie. In het kader van dit rapport is er voor gekozen om in de eerste plaats de categorie apparatuur en hulpmiddelen nader te beschouwen. Het gebied van apparatuur en hulpmiddelen omvat onder andere technologieën als medische beeldvorming, biomaterialen en biomechanica die als kansrijk worden gezien. Wel zal steeds ook op het gebied geneesmiddelenonderzoek worden ingegaan vanwege de omvang van de Nederlandse industriële R&D. In totaal gaat het daarbij om 660 Mf, zo'n 5 % van alle totale R&D-uitgaven in Nederland (Booz Allen, 1993).

1.2 Relatie met andere technologiegebieden

Zoals uit sectie 1.1 blijkt en in Tabel 2 aangegeven is de medische technologie in ruime zin sterk gerelateerd aan de disciplines elektronica, biotechnologie, biologie en medische wetenschappen. Medische technologie maakt in hoge mate gebruik van informatietechnologie en geavanceerde elektronica bij het ontwikkelen van medische apparatuur (diagnose, patiëntbewaking, communicatiesystemen).

Tabel 2. *Relatie medische technologie met andere technologiegebieden*

TECHNOLOGIEGEBIED	SAMENHANG MEDISCHE TECHNOLOGIE
Materiaaltechnologie	Biocompatibele materialen (implantaten), biomechanica
Elektronica	Mens-computerinteractie, signaal-en beeldverwerking, röntgentechnologie, componenten medische apparatuur, alarmering
Computational Modelling	Computer-ondersteunde ontwikkeling van geneesmiddelen
Procestechnologie	Bioprocestechnologie (zie biotechnologie)
Voedingsmiddelentechnologie	Novel Foods, gezondheidsaspecten van voeding
Biotechnologie	Bioprocestechnologie onontbeerlijk bij productie van geneesmiddelen (b.v. antibiotica)
Informatie-/ communicatie-technologie	Communicatienetwerken, expertsystemen, medische beeldverwerking

Ook in de procestechnologie wordt kennis gegenereerd die van belang is voor de medische technologie. De bioprocestechnologie vormt een basisdiscipline bij de ontwikkeling van geneesmiddelen (qua marktomvang het belangrijkste toepassingsgebied van biotechnologie) en implantaatmaterialen. Materiaaltechnologie is van belang voor de toepassing van bio-compatibele materialen (implantaten e.d.).

1.3 Belang van het technologiegebied

De totale uitgaven in de zorgsector liggen tegen de 60 mrd per jaar. Medische technologie draagt uiteraard enerzijds aan deze kosten bij (kosten van moderne apparatuur; de ontwikkelingskosten van een modern geneesmiddel bedragen tegen de 500 mln). Medische technologie kan evenwel op deelgebieden in principe kostenverlagend werken, met name geldt dit voor toepassingen van informatietechnologie en het effect daarvan op behandelkosten. Het belang van het technologiegebied blijkt ook uit aantal en omvang van bedrijven en instellingen die werkzaam zijn op dit terrein. De markt voor medisch-technologische apparatuur (diagnoseapparatuur, röntgenapparatuur, verpleegbehandelapparatuur etc; dus uitgezonderd geneesmiddelen) ligt boven de 4 mld; daarnaast is er een flinke exportmarkt. Het aantal handels- en productiebedrijven die in 1992 in de sector werkzaam zijn wordt geschat op ruim 600. Het betreft hier naar schatting meer dan 14.000 personen, waarvan 64 % in een productiebedrijf werkzaam zijn. In een aantal regio's vindt een verdichting plaats van medisch technologische activiteiten (Tabel 3). Zo zijn er in de regio Amsterdam-Haarlem 250 bedrijven met ruim 7500 werknemers, naast enkele belangrijke kenniscentra.

Tabel 3. Regionale concentratie medisch-technologische kenniscentra

REGIO	BELANGRIJKE ACTOREN
Amsterdam	Nederlands Kankerinstituut Centraal Laboratorium van de Bloedtransfusiedienst (CLB) Academische Ziekenhuizen Medische faculteiten
Eindhoven	Philips Medical Systems Nederland TUE-BMT
Twente	Biomedisch Technologisch Instituut (BMTI-UT) Roessingh Research and Development, Enschede Stichting Medisearch (Ziekenhuis Enschede en UT)
Utrecht	Universiteit Utrecht Producenten medische apparatuur, verbandmiddelen Groothandel medische en tandheelkundige instrumenten RIVM Hubrecht Laboratorium (KNAW) Academisch Ziekenhuis

Bron: Technologie initiatieven in Nederland (1994)

2. De onderzoekinfrastructuur

2.1 Actoren in de onderzoekinfrastructuur

2.1.1 Algemeen

Het medisch-technologisch wetenschappelijk onderzoek vindt vooral plaats bij de technische universiteiten en de acht medische faculteiten (deze beschikken over coördinatiecentra voor medische technologie), Academische Ziekenhuizen, TNO Preventie en Gezondheid, TNO Centrum voor Verouderingsonderzoek, en bij overige (deels) departementaal gefinancierde centra zoals KNAW-instituten en het Nederlands Kanker Instituut. Voorts zijn er zelfstandige onderzoeksinstituten zoals het Nationaal Ziekenhuis Instituut en het Centraal Laboratorium van de Bloedtransfusiedienst. Daarnaast vindt onderzoek plaats in de laboratoria van de medische instrumentenindustrie. Voor wat betreft geneesmiddelen is het onderzoek gebundeld in een tweetal onderzoekscholen (LACDR, GUIDE); daarnaast zijn er de laboratoria van de farmaceutische industrie. Een overzicht van de onderzoekinfrastructuur is opgenomen in tabel 4.

Tabel 4. Overzicht van de onderzoekinfrastructuur medische technologie

CENTRA	ACCENTEN	FTE'S (incl. AIO's)
<p>UNIVERSITAIR <i>Onderzoekscholen:</i> BMSE (UT) LACDR (RUL/VU) GUIDE (RUG/UU)</p> <p><i>Universitaire centra:</i> Met name TUD, UT, TUE Medische faculteiten, Chemische en farmaceutische subfaculteiten</p>	<p>Biomedische wetenschappen, engineering Geneesmiddelen Geneesmiddelen, gezondheidswetensch.</p> <p>TUD: spectroscopie, spin imaging, 3D-imaging UT: biomedische technologie, biosensoren, biosignalen TUE: technologie rond vitale functies, medische elektronica UvA, UU/AZU: beeldverwerking RUG, UU, UvA, RUL: geneesmiddelenontwikkeling RUL: biofarmacie</p>	<p>171 (65 AIO's) 110 (37 AIO's) 209 (150 AIO's)</p> <p>- - Medische elektronica: 38 - - -</p>
<p>TOEGEPAST TNO-PG</p> <p>TNO-CVO TNO-TPD</p> <p>NKI NIA</p> <p>IRV</p>	<p>Zorgsystemen (preventie); diagnostiek; technologie in de gezondheidszorg Verouderingsprocessen Biomedische diagnostische instrumentatie</p> <p>Kanker-/aids onderzoek en -behandeling Zorgsystemen, verzuim, arbeidsomgeschiktheid, werkplekverbetering Revalidatie</p>	<p>TNO: plm. 200</p> <p>7</p> <p>400 90</p> <p>-</p>
<p>INDUSTRIËLE R&D <i>Instrumentatie:</i> Philips Medical Systems Pie Medical Delft Instruments Nucletron</p> <p><i>Geneesmiddelen:</i> AKZO, Merck Sharp & Dohme, Duphar, Janssen, Yamanouchi/ Gist Brocades</p>	<p>Voorbeelden:</p> <p>Tomografie, NMR, beeldverwerking, röntgen Ultrasonie technologie Röntgen, ultrasonie scanning Beeldverwerking</p> <p>Geneesmiddelenontwikkeling, diagnostica e.d.</p>	<p>onbekend</p>
<p>OVERIG SOMT</p>	<p>Platform van ondernemingen in de medische technologie</p>	

De NWO-notitie *'De organisatie van het gezondheidsonderzoek in Nederland'* (1994) schat de omvang van het *totale* gezondheidsonderzoek in 1993 op ongeveer 1 mrd. Door de centrale overheid (OC&W, WVS, EZ) wordt daarvan 670 Mf gefinancierd. De rest komt uit het particulier initiatief (80 Mf) en vanuit de industrie (250 Mf).

De 670 Mf overheidsgefinancierd onderzoek kan allereerst worden verdeeld in een 1-e geldstroom van 400 Mf naar medische faculteiten en Academische Ziekenhuizen, een 2-e geldstroom van 20 Mf die aangewend wordt via NWO-MW (nog exclusief de besteding door NWO-STW over 1993-1994 van 5.4 Mf aan medisch-technologisch onderzoek) en een resterende 3-e geldstroom van 130 Mf die via departementen en speciale fondsen loopt. Deze speciale fondsen betreffen bijvoorbeeld aids-onderzoek gefinancierd via de Raad voor het Gezondheidsonderzoek, en het Preventiefonds. Naast deze drie geldstromen is er 120 Mf als basisfinanciering van overheids- of publieke instituten zoals de KNAW, RIVM, TNO, het NKI en het NIVEL.

Uit deze, en andere schattingen van medisch-technologische R&D moet worden afgeleid dat er momenteel geen betrouwbare gegevens zijn over de precieze omvang van medisch-technologische R&D. Beschikbare schattingen wijken te sterk van elkaar af:

- De NWO-schatting van industriële R&D van 250 Mf is farmaceutisch gericht en wordt verricht door in hoofdzaak AKZO-Farma, Merck, Duphar, Janssen, Gist-Brocades.
- Een rapport van Booz Allen (1993) komt evenwel zelfs op 660 mln R&D op het gebied van farma-R&D door het bedrijfsleven, waarbij het met name om humane therapeutica gaat.
- Een deel van de industriële medische R&D is echter meer technologisch gericht (Philips Medical Systems, Delft Instruments, Pie Medical etc). Het rapport *'Medische technologie, ieders belang, ieders zorg'* (1992) schat de medisch technologische R&D op 900 mln, waarvan 60 % (540 Mf) besteed werd door universiteiten, 20 % (180 Mf) door instituten en 20 % (180 Mf) door de industrie. Gezien de gehanteerde afbakening gaat het om apparatuur-R&D.
- In de sector medische technologie is volgens de schatting van Swarte (1994) in 1992 rond de 439 mln. gulden uitgegeven aan R&D, wat 7,3 % van de totale omzet in de betreffende sector is. Het betreft hier de R&D op de gebieden medische apparaten, medische disposals, hulpmiddelen voor gehandicapten en projecten bij productie- en handelsbedrijven; *niet* de geneesmiddelenontwikkeling.

2.1.2 Universitair onderzoek

Universitair medisch-technologisch onderzoek vindt plaats bij de technische universiteiten, de medische faculteiten en de Academische Ziekenhuizen. Op het gebied van beeldverwerking zijn belangrijke centra de TU Delft (3D-beeldanalyse,

beeldherkenning), RU Utrecht/Academisch Ziekenhuis (3D-Vision) en de Universiteit van Amsterdam (architecturen). De TU Eindhoven verricht onderzoek op het gebied van medische elektronica, met name gericht op patiënt monitoring. Op het gebied van biomedische technologie trekt de Universiteit Twente de onderzoekschool Biomedical Science and Engineering (BMSE). Deze onderzoekschool moet nog worden erkend door het KNAW. Participanten zijn aangegeven in tabel 5.

Tabel 5. *Onderzoekschool Biomedical Science and Engineering*

UNIVERSITEITEN	AIO'S	STAF
UT	36	22
RUL	21	15
KUN	1	1
TUD	7	3
TOTAAL	65	41

BIOS 1994, Onderzoekscholen in Nederland

Biomedische materialen en biosignalen en -sensoren vormen zeer belangrijke onderzoeksgebieden aan de Universiteit Twente. Het onderzoek rond biosignalen is gericht op spiersystemen, revalidatie, neurologie, urologie en cardiologie. Het heeft een internationaal zeer sterke reputatie. Dit geldt eveneens voor het onderzoek van de Universiteit Twente op het gebied van biosensoren (meettechnieken, bio- en immunosensoren, transducenten, micro-engineering).

Voor het terrein van de geneesmiddelenontwikkeling zijn twee onderzoekscholen relevant: LACDR (Leiden Amsterdam Centre for Drug Research) en GUIDE (Groningen Utrecht Institute for Drug Exploration). Enkele belangrijke onderzoeksthema's van de LACDR betreffen moleculaire mechanismen en geneesmiddelenontwerp, hormonen en de hersenfunctie, moleculaire en cellulaire mechanismen in toxicologie, werking en verwerking van geneesmiddelen. De RU Leiden kent een belangrijke groep rond biofarmacie (Centrum voor Bio-Farmaceutische Wetenschappen) die actief is op onderzoek naar nieuwe methoden voor de productie van geneesmiddelen en ontwerpen van moleculen met geneeskrachtige werking. De onderzoekschool GUIDE (RU Groningen, RU Utrecht) richt zich eveneens op geneesmiddelenonderzoek, met name op de pathofysiologie, moleculair ontwerp en klinische evaluatie. Deelprogramma's zijn onder meer synthese en receptorfarmacologie, toxicologie en (bio-)analyse, membraantransport, immunofarmacologie, klinische farmacologie. Vergeleken met de LACDR is er overlap maar ligt de nadruk meer op de klinisch-medische aspecten.

Overigens wordt in een rapport van Booz Allen met betrekking tot farma-R&D aangegeven dat uitbesteding van ontwerp en ontwikkeling van geneesmiddelen vooral plaats vindt aan LACDR, VU, NKI, RUU, Dijkzigt en AMC. Academische ziekenhuizen spelen vooral een rol bij het klinisch testen. Technische ontwikkeling vindt plaats bij de LU Wageningen, de KU Nijmegen en de RU Groningen.

2.1.3 Toegepaste instituten

Binnen TNO vindt het gezondheidsonderzoek vooral bij het instituut Preventie en Gezondheid (TNO-PG) plaats in Leiden. TNO-PG heeft onder andere de divisie Technologie in de Gezondheidszorg, waar een breed onserzoeksprogramma met betrekking tot medische technologie wordt uitgevoerd, (onder andere in opdracht van VWS). Verder werkt PG op het gebied van technische voorzieningen voor gehandicapten samen met het Instituut voor Revalidatie Vraagstukken (IRV) te Hoensbroek, een initiatief van TNO, de samenwerkende Revalidatiecentra Limburg en de RU Limburg. Daarnaast kent TNO ook het Centrum voor Verouderingsonderzoek, waar onder meer speciale aandacht gegeven wordt aan samenwerking met vakgroepen en centra van Nederlandse universiteiten en academische ziekenhuizen.

2.1.4 Industriële R&D

De belangrijkste partijen op het gebied van industriële instrumentatie-R&D zijn:

- Philips Medical Systems (tomografie, NMR, beeldverwerking en beeldvorming, röntgenapparatuur; 70 FTE)
- Pie Medical, recent overgenomen door Philips Medical Systems (ultrasone scanapparatuur)
- Delft Instruments (röntgen-apparatuur, ultrasone scanners)
- Nucletron, recent overgenomen door Delft Instruments (radiodiagnostiek, hulpmiddelen).

Op het gebied van geneesmiddelenonderzoek vinden in Nederland R&D-activiteiten plaats door AKZO Farma, Brocades, Duphar, Pharmachemie, Glaxo, Janssen, BYK Cedona. Uitbesteding van R&D neemt toe. Alleen AKZO Farma, Duphar en Gist Brocades kennen én productie, én R&D.

Beeldverwerking is een gebied waar Nederland sterk in is. Het aantal Nederlandse bedrijven dat beeldvormende apparatuur ontwikkelt is zeer klein maar concurreert wereldwijd en met succes. De bedrijven onderhouden nauwe banden met onderzoeksgroepen in academische ziekenhuizen of technische universiteiten voor onderzoek naar nieuwe medische toepassingen en technische verbeteringen. De eigen produktontwikkeling richt zich alleen op strategische onderdelen. Overigens participeert alleen Philips Medical Systems in Europese onderzoekprogramma's.

Met name de signaal- en beeldverwerking wordt als een belangrijk en kansrijk technologiegebied gezien. Op dit gebied is de R&D-positie van Nederland (universiteiten, bedrijfsleven) goed te noemen. De onderzoeksgroepen medische beeldverwerking hebben een uitstraling naar andere toepassingsgebieden. Voorbeelden van bedrijven in Nederland die medische apparatuur met een beeldverwerkingscomponent produceren zijn Dräger medical Electronics (patiëntbewakingsapparatuur), Nucletron (radiodiagnostische apparatuur), Pie Medical (ultrasone scanners), Philips Medical Systems (röntgenapparatuur, CT- en NMR-scanners, ultrasone scanners, cardiovasculaire diagnose apparatuur, radiodiagnostische hulpmiddelen), Delft Instruments (röntgenapparatuur, ultrasonescanners, radiodiagnostische hulpmiddelen). Daarnaast lijkt de thuiszorgtechnologie zich tot een veelbelovend terrein te ontwikkelen. Voorbeelden van bedrijven die op dit terrein werkzaam zijn, zijn Bruls Telecommunicatie (akoestische patiëntbewakingssystemen), Estafette (draadloze hulpoproep- en personenalarmeringsystemen), Goedhart (apparatuur voor doven en slechthorenden), en Lindeman (zusteroproepsystemen).

2.1.5 Overig (branche-organisaties, intermediairs)

Enkele belangrijke branche-organisaties op het gebied van de Medische Technologie zijn SOMT (ondernemingen in de medische technologie), Faron (10 fabrikanten; elektromedische en röntgenapparatuur), Nefemed (60 producenten, importeurs en handelaren; medische producten) en Het Instrument (150 handels- en distributiebedrijven in medische technologie en laboratoriumtechnologie).

2.1.6 Stimulering van wetenschap en technologie

Het *Stimuleringsprogramma Medische Technologie* werd opgestart in 1987, liep tot 1991 en had een budget van 71 miljoen gulden. Gedurende het programma bestonden de volgende thema's: Medische beeldvorming en medische informatica, Biodiagnostica, Biomaterialen, Thuiszorgtechnologieën, Biosensoren, Implanteerbare elektronica, Lasertechnologie en Biomechanica. Het stimuleringsprogramma Medische Technologie kent geen vervolg. De Projectgroep Medische Technologie heeft in haar advies over het stimuleringsprogramma gepoogd een draagvlak te creëren rond de drie belangrijk geachte technologieën genoemd in par. 1.1 (medische beeldtechnieken, biomaterialen, biomechanica). Deze zouden volgens de Projectgroep onderwerp van een Innovatief Onderzoek Programma kunnen zijn.

Beeldbewerking ten behoeve van medische doeleinden was onderzoeksterrein in SPIN-programma's (3D Computer Vision, 3D Image Analysis). Aan 3D Computer Vision werkten mee de RU Utrecht, het Academisch Ziekenhuis Utrecht, de faculteit Technische Natuurkunde van de TU Delft, de faculteit Biologie van de UVA. In het programma 3D Image Analysis werkten mee naast eerder genoemde instituten het

Hubrecht Laboratorium van de KNAW. In opdracht van het ministerie van Economische Zaken is een voorstudie uitgevoerd naar de haalbaarheid van een IOP Beeldverwerking (met veel aandacht voor medische beeldverwerking); de Stuurgroep IOP heeft als gevolg daarvan besloten een IOP Beeldverwerking in te stellen waarvoor een programmavoorstel zal worden uitgewerkt.

2.2 Relatienetwerken

Tabel 6 vat een aantal netwerken samen. Stimuleringsprogramma's zoals SPIN hebben een belangrijke functie gehad bij het creëren van deze netwerken. Er zijn veel samenwerkingsverbanden werkzaam op het gebied van de medische technologie. Er is echter nauwelijks sprake van enige samenhang tussen de verschillende initiatieven. Dit wordt als een groot obstakel voor verdere ontwikkeling ervaren.

Tabel 6. Relatienetwerken

KADER	RELATIENETWERK
SPIN-projecten	TUD, RU Utrecht, Academisch Ziekenhuis Utrecht
SOMT	± 45 % van alle medisch technologische bedrijven (aangesloten zijn: Faron, Indent, VNFR, Nefemed, MTI). Issues: kwaliteitszorg, regelgeving, certificering en export
Centre for Life Science and Technology	kennisinstellingen, bedrijfsleven, lokale/provinciale overheden. Wil Centre of excellence worden op dit gebied
Stichting Biomaterialen Nederland	bedrijven en universiteiten
Stichting New Drugs Research	Bedrijven, universiteiten, NWO. Doel: bevorderen van strategische aanpak geneesmiddelenonderzoek, o.m. via een onderzoekprogramma.
STW	Diverse projecten Medische Technologie (universiteiten, bedrijven)

De Stichting New Drugs Research is met financiële steun van EZ, OC&W en VWS begin 1994 tot stand gekomen. Er wordt, met NWO, gewerkt aan de opzet van een strategisch onderzoekprogramma.

3. Evaluatie onderzoekinfrastructuur

Het medisch technologisch onderzoek staat internationaal gezien op een hoog peil (zie ook Van Paassen, 1994). Op het vlak van medische beeldvorming heeft Nederland sterke centra in universiteiten (medische faculteiten van universiteiten, de TU Delft) en bedrijfsleven alsmede TNO. Zeer sterk is Nederland ook in biomedische materialen (Universiteit Twente) en in biosignalen en biosensoren (eveneens Universiteit Twente).

Het belangrijkste knelpunt van het onderzoek rondom medische technologie aan de apparatuurkant is het grote aantal betrekkelijk losstaande initiatieven die er op onderzoeksgebied gaande zijn en het ontbreken van samenwerking en structureel overleg. Er zijn veel initiatieven in het veld gaande, waar goed gewaardeerd onderzoek uit voortkomt. Maar er is tevens een grote behoefte aan samenwerking. Door het ontbreken van samenwerking en een duidelijke structuur in het veld zijn de onzekerheden bij produktontwikkeling en marktwerking relatief hoog. Daarnaast is er vaak onvoldoende inzicht in de vraagarticulatie en ligt ook een probleem in het niet beschikbaar krijgen van middelen om nulseries te produceren. De omvang, tijdshorizon en toepasbaarheid van medisch-technologisch onderzoek sluit nog vaak niet aan bij het bedrijfsleven. Tevens ontbreekt het in de gezondheidszorg aan medewerking bij de ontwikkeling van nieuwe produkten.

Met name kleinere producerende ondernemingen hebben behoefte en baat bij een duidelijke structuur. Hiertoe moet ondermeer een duidelijk op deze behoeften gerichte kennisinfrastructuur opgebouwd worden. Daarbij kunnen branches een belangrijke rol spelen. Slechts een klein deel van de medisch technologische bedrijven is aangesloten bij specifieke medisch-technologisch gerichte branche- of sectorverenigingen.

Ten aanzien van geneesmiddelenonderzoek heeft een rapport van Booz Allen & Hamilton uit 1993 een aantal conclusies opgeleverd die intussen overigens tot vervolgacties hebben geleid. In het rapport werd aan farmaceutisch onderzoek een strategisch belang toegekend. Geconstateerd werd echter dat de aansluiting van activiteiten van onderzoeksinstituten met de meer toegepaste R&D-afdelingen van bedrijven een knelpunt vormde, en dat de kennisinfrastructuur te fundamenteel georiënteerd en te versnipperd was. Wel stond Nederland mondiaal op de vijfde plaats op het gebied van publikaties in de klinische geneeskunde. Desalniettemin stond Nederland volgens het onderzoek internationaal niet bekend als land met wereldwijd erkende top-expertise. Inmiddels zijn er twee onderzoekscholen gevormd (LACDR, GUIDE) en is de Stichting New Drugs Research opgericht. Opvallend is tevens dat de UU en Glaxo een langjarige samenwerkingsovereenkomst hebben gesloten voor onderzoek.

Andere belangrijke samenwerkingsverbanden en platforms waarin de onderzoeksweld, de zorgsector en het bedrijfsleven elkaar treffen zijn de Stichting Biomaterialen

Nederland en het Centre for Life Science and Technology. Via de vorming van onderzoekscholen, SPIN-projecten en STW-projecten zijn tal van relaties tussen het bedrijfsleven en de kennisinfrastructuur ontstaan. Dat dergelijke relaties succesvol kunnen zijn tonen bedrijven op het vlak van beeldvormende apparatuur. Deze bedrijven onderhouden nauwe banden met onderzoeksgroepen in academische ziekenhuizen of technische universiteiten. Van het medisch gerichte onderzoek van beeldverwerking gaan impulsen uit naar andere toepassingsterreinen van beeldverwerking.

De Nederlands markt van medisch technologische produkten groeit over de hele breedte van de produktgroepen, met een gunstige toekomst verwachting. Naast de al eerder genoemde gebieden van medische beeldverwerking, biomaterialen en biomechanica wordt ook de thuiszorgtechnologie als veelbelovend gezien, mede omdat de verschuiving van intramurale zorg naar extramuraal zorg erg in de belangstelling van de overheid staat.

Bronnen

Booz Allen & Hamilton, *'Farmaceutisch onderzoek in Nederland: een strategisch perspectief'*. Ministerie van Economische Zaken (1993).

Combée, B. e.a. *'Medische technologie, ieders belang, ieders zorg'*. Projectgroep Medische Technologie, Den Haag juni 1992.

Hoeksema, H.L., G. van Ark, *'De organisatie van het Gezondheidsonderzoek in Nederland'*. NWO, Den Haag januari 1994.

Ministerie van Economische Zaken, *'Vorstudie IOP beeldverwerking'* (1994).]

NWO medische wetenschappen, Commissie Geneeskunde, *'De besturing van het medisch wetenschappelijk onderzoek in Nederland'* 1993.

Paassen, P.A.M., *'Excelleren in de medische technologie: de kracht van netwerken in de gezondheidszorg'*. SMO 1994.

Schaffers, J.W.M., J. Kuijper, F. Prakke e.a. *'Technologieverkenning Signal Processing'*. Ministerie van Economische Zaken (1992).

Swarte, *'Trends in de markt van medische technologische produkten'*. SOMT/SENTER, Den Haag 1994.

Technologie initiatieven in Nederland - SMO boek, 94-2.

11. Arbeid en gezondheid



1. Omschrijving technologiegebied

1.1 Technologiegebied, disciplines

Tabel 1 geeft een afbakening van het technologiegebied arbeid en gezondheid weer. Er bestaan verschillende manieren om het terrein van arbeid en gezondheid af te bakenen. Eén manier, die haar basis vindt in de huidige arbowetgeving, geeft aan dat arbodiensten erkende beroepsbeoefenaren op vier verschillende disciplines in huis dienen te hebben. Daarbij gaat het om een bedrijfsarts; een arbeidshygiënist; een veiligheidskundige; een arbeids- en organisatiedeskundige. Daarnaast dienen de arbodiensten de nodige expertise op het vlak van ergonomie in huis te hebben. De genoemde competenties verwijzen dan ook direct naar de zogenaamde kerndisciplines binnen dit gebied.

Tabel 1. *Arbeid en gezondheid: disciplines en toepassingen*

DISCIPLINES	TECHNOLOGIEËN	TOEPASSINGEN
(bedrijfs-)geneeskunde bewegingswetenschappen toxicologie epidemiologie chemie, biochemie biologie sociologie psychologie ergonomie ingenieurswetenschappen arbeidshygiëne	Ontwikkeling van diagnose- detectie- en interventietechnieken Ontwikkeling van zorgsystemen Ontwerp van mens-middel systemen	Inventarisatie aandoeningen Chemische factoren Biologische factoren Fysische factoren en perceptie Lichamelijke belasting Psychische belasting / stress Ontwerp mens-middel systemen Zorgsystemen, reïntegratie arbopraktijk, interventieprojecten

Voor een adequate beschrijving van de kennisinfrastructuur en de verschillende disciplines die in het onderzoek een rol spelen is evenwel een meer fijnmazige blik nodig. De voormalige Commissie Arbeidgezondheidskundig Onderzoek (CARGO) omschrijft de relevante kennisinfrastructuur dan ook als volgt: "de interdisciplinaire bestudering van uit de arbeid voortvloeiende begunstigen en bedreigingen van het gezonde bestaan, alsmede de mogelijkheden begunstigen te verwezenlijken en bedreigingen te elimineren".¹

¹ CARGO. Inventarisatie van zwaartepunten van arbeidsgezondheidskundig onderzoek in Nederland in 1990. Leiden, 1990.

1.2 Relatie met andere onderzoeksgebieden

Binnen de genoemde ruime definitie van arbeidgezondheidskundig onderzoek zijn een 12-tal categorieën van disciplines te onderscheiden, die op hun beurt nader kunnen worden onderverdeeld. Het terrein van arbeid en gezondheid wordt gekenmerkt door een mix van een groot aantal disciplines. 'Harde' technologie speelt hier een betrekkelijk ondergeschikte rol bij de verdeling ontwikkeling van het terrein. Het arsenaal aan methoden en technieken is bovendien zo breed dat het niet mogelijk is daaruit enkele methoden of technieken op de voorgrond te tillen. In plaats daarvan volstaan we met een opsomming van de relevante sub-disciplines ten aanzien van de bovengenoemde disciplines in Tabel 2.

Tabel 2. *Het terrein arbeid en gezondheid en ondersteunende disciplines*

CATEGORIE	ONDERSTEUNENDE DISCIPLINES
Gezondheidswetenschappen	(Bedrijfs-)geneeskunde, huidgeneeskunde, verplegingswetenschappen
Bewegingswetenschappen	Bewegingswetenschappen, gezondheidswetenschappen, biomechanica, (arbeids-)fysiologie, fysiotherapie, functionele anatomie
Toxicologie	(Moleculaire) toxicologie, farmacie, immunologie
Epidemiologie	Epidemiologie, (bio-)statistiek, (bio-)informatica, softwareontwikkeling
Chemie	Analytische chemie, chemische technologie, fysische chemie
Biochemie	Biochemie, moleculaire wetenschappen, immunologie, klinische genetica
Biologie	(Medische) biologie, diergeneeskunde
Sociologie	(Medische) sociologie, arbeids en organisatie sociologie, andragogie, onderwijskunde, rechten, bedrijfskunde
Psychologie	(Klinische) psychologie, arbeids- en organisatie psychologie, sociale psychologie, fysiologische psychologie, organisatiekunde, geneeskunde, psychologie
Ergonomie	Technische ergonomie, biofysica, informatica, mens-machine interactie
Ingenieurswetenschappen	Werktuigbouwkunde, elektrotechniek, bouwkunde, natuurkunde, fysica
Arbeidshygiëne	Arbeidshygiëne, milieuhygiëne, bedrijfsverpleegkunde

1.3 Belang van het technologiegebied

Het gebied arbeid en gezondheid is van groot maatschappelijk én economisch belang. Voor het bedrijfsleven vanwege de kosten van ziekteverzuim, produktiviteitsverbetering, maar ook het scheppen van een goed en competitief werkklimaat. Voor de werknemers eveneens vanuit het oogpunt van werkklimaat, en daarnaast aspecten zoals veiligheid, gezondheid. Maatschappelijk vanuit het oogpunt van de beheersing van de kosten van gezondheidszorg.

Het terrein van arbeid en gezondheid omvat activiteiten in de 1e en 2e lijn. In de *1e lijn* opereren primair de bedrijfsverenigingen, de arbodiensten, adviesbureaus en de arbeidsinspectie. Zij zijn verantwoordelijk voor de arbozorg, arbo-risicobeheersing (preventie) en arbozorgverlening (zie Tabel 3). In de *tweede lijn* gaat het om instellingen die primair via onderzoek, ontwikkeling van methoden en technieken, alsmede via kennisoverdracht en opleiding bijdragen tot een adequate arbozorg (in de 1e lijn). Kenmerk van het terrein arbeid en gezondheid is dat er geen sprake is van een echt scherpe scheidslijn tussen de 1e en 2e lijn. Vooral de actoren in de 2e lijn gaan zich door een toenemende afhankelijkheid van 3e geldstroomfinanciering richten op advisering ten behoeve van private organisaties. Daarnaast zou men als het ware ook nog spreken van een '*nulde lijn*'; de bedrijven zelf die technologische activiteiten ontwikkelen ten behoeve van arbeid en gezondheid (preventietechnieken, ergonomisch ontwerpen, mens-machine interactie etc).

Tabel 3. *Activiteiten in de eerste lijns arbozorg*

ACTIVITEIT	OMSCHRIJVING
arbozorg	De georganiseerde planmatige verbetering van het kwaliteitszorgsysteem. Dit omvat naast veiligheid, gezondheid en welzijn ook de sociaal-medische begeleiding bij problemen en ziekte
arbo-risico-beheersing	Beschermen en bevorderen van veiligheid, gezondheid en welzijn van werknemers. Dit omvat anticiperen op risico's, interveniëren in risicovolle situaties en reïntegreren als zich (tijdelijke) beperkingen voordoen ten gevolge van ziekte, gebrek of ongeval
arbozorg-verlening	De ondersteuning door arbodeskundigen bij het handhaven en verbeteren van de kwaliteit van het werk en de afstemming daarvan op de capaciteiten van de werkenden

Tabel 4. Overzicht van de onderzoekinfrastructuur arbeid en gezondheid

CENTRA	ACCENTEN	FTE's incl. AIO's
UNIVERSITAIR <i>onderzoekscholen:</i> IFKB (VU) KLI ETG	Bewegingswetenschappen Arbeid, organisatiepsychologie Gezondheidswetenschappen, 1-e lijn	(TOTAAL: plm. 424) 68 (18 staf) 271 (13 staf) 203 (66 staf)
<i>universitaire centra</i> Coronel Lab (UvA)	Inventarisatie van aandoeningen en informatiesystemen; chemische factoren; lichamelijke belasting; psychische belasting; zorgsystemen en reïntegratie.	17
NCB (VU) KUN	Normstelling, diagnose Chemische factoren; psychische belasting; arbopraktijk en interventieprojecten.	- 23 (1990)
LUW TUD	Arbeidshygiëne; biologische factoren. Fysische factoren; Mens-middel systemen (ergonomie) Arbopraktijk en interventieprojecten	13 (1990) 9 (Veiligheidskunde)
RUG UT	Psychische belasting. Fysische factoren; Mens-middel systemen (ergonomie).	13 -
VU	Lichamelijke belasting	17 (1990)
TOEGEPAST TNO-PG	Chemische factoren; fysische factoren; lichamelijke belasting; psychische belasting; zorgsystemen en reïntegratie; arbopraktijk en interventieprojecten	50
TNO-TM	Fysische factoren; mens-machine systemen, interfaces, taakstructurering	16
TNO-MEP	Industriële veiligheid	15
TNO Voeding	Chemische factoren,	25
TNO Bouw	Werkplek, arbeidshygiëne	-
IMAG-DLO	Lichamelijke belasting	9 (1990)
OVERIGEN NIA	Inventarisatie van aandoeningen en informatiesystemen; arbopraktijk en interventieprojecten	6 FTE's (in onderzoek)
BGD's	Preventie, uitbesteding onderzoek	-
Arbodiensten	Zorgaanbod, doorlichting, preventie (uitbesteden onderzoek)	-

2. De onderzoekinfrastructuur

2.1 Actoren in de onderzoekinfrastructuur

2.1.1 Algemeen

Gelet op de functieverdeling tussen de 1e en 2e lijns arbozorg, gaat de aandacht bij het in kaart brengen van de onderzoekinfrastructuur vooral uit naar de instellingen binnen de 2e lijn. De instellingen zijn afkomstig uit een viertal categorieën: universiteiten, bedrijfsgeneeskundige diensten (BGD-en), TNO en overigen.

Binnen de kennisinfrastructuur is sprake van een groot aantal disciplinair georiënteerde zwaartepunten. Vaak komen die niet geïsoleerd voor, maar worden zij juist door interdisciplinaire koppelingen naar andere disciplines binnen een instelling samengevoegd tot een expertisecentrum.² Om die reden wordt hier voorgesteld om de zwaartepunten niet te identificeren aan de hand van de afzonderlijke disciplines, maar juist uit te gaan van de themavelden waarop het onderzoek zich toespitst (Tabel 4). Daarbij dient te worden bedacht dat het onderzoek niet gemakkelijk eenduidig aan de themavelden is toe te rekenen; het beeld is daarom geenszins compleet. Om het overzicht beperkt te houden beperken we ons tot de grootste zwaartepunten, in termen van FTE-inzet.

De Commissie Arbeidsgezondheidskundig Onderzoek (CARGO) heeft in het kader van haar werkzaamheden getracht een kwantitatieve inschatting te maken van de onderzoekscapaciteit. Het blijkt dat beschikbare cijfers een vertekend beeld geven.³

De CARGO oordeelde dat het wel mogelijk was om de cijfers te gebruiken voor een relatieve ordebepaling tussen de belangrijkste participanten in de onderzoekinfra-

² De commissie CARGO kwam bij haar inventarisatie in 1990 tot niet minder dan 206 verschillende zwaartepunten. De helft daarvan (80% van de totale onderzoeksinspanning) betrof disciplinaire zwaartepunten met minimaal 1,5 FTE.

³ Voor 1990 kwam men op niet minder dan 460 mensjaren. Daarbij werden echter ook een aantal kanttekeningen geplaatst. Op de eerste plaats laat het interdisciplinaire karakter van het terrein arbeid en gezondheid (zeker in de afbakening naar de expliciete technische disciplines) niet altijd een heldere scheidslijn toe binnen het onderzoek. Op de tweede plaats - en dit betreft vooral de universiteiten - is bij het aangeven van de formatieplaatsen niet altijd een goede scheiding mogelijk tussen capaciteit aangewend voor onderzoek en opleiding. Op grond van deze argumenten kwam de CARGO tot de conclusie dat het cijfer van 460 mensjaren een aanzienlijke overschatting van de werkelijke onderzoekscapaciteit bevat. Ten derde bestaat een aanzienlijk deel van de onderzoekscapaciteit uit tijdelijke plaatsen (bij de universiteiten was dit het meest omvangrijk: 59%). Deze tijdelijke plaatsen fluctueren sterk met de uitvoering van programma's.

structuur. Die verdeling laat het volgende beeld zien (Tabel 5). De grootte van de onderzoeksgroepen varieert overigens sterk.

Tabel 5. Aantal zwaartepunten met een omvang van 1,5 FTE of meer (1990)

INSTELLING	AANTAL ZWAARTEPUNTEN
universiteiten	51
Bedrijfsgeneeskundige diensten	5
TNO-instituten	29
overige instellingen	18
TOTAAL	103

De beschikbare eigen onderzoekscapaciteit van BGD-en is veelal klein, waardoor onderzoek regelmatig wordt uitbesteed. De BGD-en hadden in 1990 slechts 5 zwaartepunten met een onderzoekscapaciteit van 1,5 of meer FTE's. Ook de arbo-diensten doen vooral aan uitbesteding van onderzoek. Bij de universiteiten en TNO-instituten zijn er veel kleine tot middelgrote groepen. Er zijn betrekkelijk weinig onderzoeksgroepen met een capaciteit van tien of meer mensjaren. De in de volgende paragraaf beschreven onderzoekscentra beschikken over de grootste onderzoeksgroepen.

2.1.2 Onderzoekscholen, universiteiten

De meeste universitaire onderzoekscentra bevinden zich in medische faculteiten. Men kan enkele onderzoekscholen identificeren die zich richten op het specifieke terrein van arbeid en gezondheid. Het gaat om een capaciteit van 424 onderzoekers (VSNU, 1995) waarvan 66 vaste staf:

- Instituut voor Fundamentele en Klinische Bewegingswetenschappen (VU, KUN; 68 FTE).
- Het Kurt Lewin Instituut (RUG, VU, UVA, KUN; 271 FTE).
- De onderzoekschool Extramurale en Transmurale Gezondheidszorg (RULi, Nederlands Instituut voor Onderzoek van de Eerstelijns Gezondheidszorg, KUN, VU; 203 FTE).

De *Universiteit van Amsterdam* kent twee belangrijke centra: de Vakgroep Gezondheidskunde (Coronel laboratorium) en het Nederlands Centrum voor Beroepsziekten. De Vakgroep Gezondheidskunde kent drie zwaartepunten in het onderzoek: toxicologie (industriële en milieutoxicologie); bedrijfsgezondheidszorg; arbeidsgebonden aandoeningen: vooral met betrekking tot het bewegingsapparaat en gecombineerde

belastingen (stress / vermoeidheidsonderzoek). Het Coronel Lab participeert in het onlangs opgestarte NWO-prioriteitenprogramma Psychische Vermoeidheid in de Arbeidssituatie (6.5 Mf, looptijd 6 jaar). Het programma voorziet onder leiding van een dwarsverbandcommissie in de samenwerking tussen universiteiten (UvA, UU, RU Limburg, RUG) en buiten-universitaire onderzoeksgroepen (TNO). Het Nederlands Centrum voor Beroepsziekten richt zich vooral op de melding en registratie van beroepsziekten (ten behoeve van normstelling) en op het ontwikkelen van protocollen ten behoeven van diagnostisering.

Bij de *Katholieke Universiteit Nijmegen* richt het Instituut Sociale Geneeskunde / Vakgroep Toxicologie zich op de risico's in de chemische industrie; het opstellen van normen en richtlijnen; en het opstellen van protocollen voor gezondheidsbewaking in de bedrijfsgezondheidszorg. De Vakgroep Arbeids- en Organisationspsychologie richt zich op stress in organisatie (burn-out, social support, stress in de middenloopbaanfase, ziekteverzuim, arbeidsongeschiktheid). Het Psychologisch Laboratorium van de KU Nijmegen (i.s.m. KUB) leidt een interventieproject naar beïnvloeding van ziekteverzuim en maakt hierbij gebruik van een interdisciplinaire aanpak (sociotechniek, kwaliteit arbeid, organisationspsychologie en personeelwetenschappen).

Aan de *Landbouwwuniversiteit Wageningen* vormen de vakgroepen Gezondheidsleer en Luchtkwaliteit het belangrijkste onderzoekszwaartepunt in Nederland op het vlak van biologische factoren en arbeidshygiëne. Zwaartepunten in onderzoek zijn: biologische factoren in het binnenmilieu; onderzoek naar gezondheidseffecten van biologische factoren binnen een beroepsomgeving

Aan de *Rijksuniversiteit Groningen* verrichten de vakgroepen Experimentele en Arbeidspsychologie en Psychologie onderzoek op het gebied van taakuitvoering, werkplekanalyse, cognitieve psychologie, cognitieve informatiekunde, psycho-fysiologische meet- en verwerkingsmethodes en de toepassing daarvan binnen de arbeidspychologie. De zwaartepunten in het huidige onderzoek hebben betrekking op psychische vermoeidheid in de arbeidssituatie. Dit vindt plaats in het kader van het eerder genoemde NWO-prioriteiten programma Psychische Vermoeidheid in de Arbeidssituatie. In aansluiting op dit programma wordt onderzoek uitgevoerd naar behoud en/of herstel van het arbeidsvermogen van mensen met een chronische ziekte (in het bijzonder aandoeningen van het bewegingsapparaat) en/of handicap.

De *Rijksuniversiteit Limburg* voert in de Vakgroep Medische Psychologie onderzoek uit naar ziekteverzuimbegeleiding: met name evaluatie van begeleiding door bedrijfsgezondheidszorg; naar reïntegratie in combinatie met aanpassing van de werksituatie; en naar preventieve strategieën. De Vakgroep Arbeidsepidemiologie is actief op het gebied van blootstelling aan uiteenlopende stoffen en risico-analyse (modellering, normering). De vakgroep participeert in het NWO-prioriteitenprogramma psychische vermoeidheid in de arbeidssituatie (zie RU Groningen).

De *Technische Universiteit Delft* beschikt in de faculteit Industrieel Ontwerpen over uitstekende faciliteiten op het vlak van registratie- en analysetechnieken van lichaamsbewegingen, -krachten en maten, van oogbewegingen en gezichtsvelden. De faculteit Werktuigbouwkunde concentreert zich op interdisciplinair onderzoek naar mens-machine systemen waarbij de interactie tussen technische hulpmiddelen en gebruikers (technisch, bio-fysisch en psychologisch) een belangrijke plaats inneemt. De Vakgroep Veiligheidskunde van de Faculteit Wijsbegeerte en Technische Maatschappijwetenschappen geldt als het belangrijkste centrum in Nederland op het vlak van arbeidsveiligheid. Op het terrein van arbeidsveiligheid zijn drie thema's of zwaartepunten gedefinieerd:

- het terrein van veiligheidszorg: ondermeer het analyseren van praktijksituaties en het ontwikkelen en evalueren van oplossingen en oplossingsstrategieën;
- veiligheid in het ontwerpen: via systeemanalyse komen tot verbeterde functionele eisen ten aanzien van veiligheid. Het doel is arbeidsveiligheid integraal mee te nemen in het systeemontwerp;
- kwantitatieve risico-analyses: ondermeer het geschikt maken van methoden van risico-analyse, die voor andere toepassingen ontwikkeld werden, voor het terrein van de arbeidsveiligheid.

Aan de *Universiteit Twente* is de primaire invalshoek van de Vakgroep Ergonomie het verbeteren van mens-computer systemen. Uitvloeisel daarvan is het komen tot een optimaal ontwerp van de werkplek. Een en ander richt zich in het bijzonder op de inzet van mens-computer systemen in complexe kantooromgevingen. Afgezien van het methodisch ontwerpen van mens-computer systemen doet men ook onderzoek naar de fysieke, perceptieve en cognitieve aspecten van dergelijke systemen.

De *Vrije Universiteit (Amsterdam)* voert in de Faculteit der Bewegingswetenschappen onderzoek uit gericht op de relatie tussen bewegingstechniek (of houding) en fysiologische en mechanische belasting bij uiteenlopende bewegingsvormen. In het bijzonder is kennis ontwikkeld op de diverse vormen van armarbeid.

2.1.3 Instituten voor toegepast onderzoek

Bij TNO Preventie en Gezondheid (TNO-PG) wordt onderzoek naar arbeid en gezondheid uitgevoerd door de gelijknamige divisie (70 FTE). Het onderzoek is gericht op veiligheid en gezondheid in werkomstandigheden in relatie tot doelmatige bedrijfsvoering en arbeidsparticipatie. Men verzorgt tevens beroepsopleidingen voor bedrijfs- en verzekeringsartsen. Binnen TNO worden de activiteiten op het vlak van arbeid, gezondheid en welzijn (arbeidsomstandigheden) gecoördineerd in het samenwerkingsverband *TNO Centrum voor Arbeid*. Het Centrum fungeert als centrale ingang voor het arbeidsomstandighedenonderzoek door TNO en coördineert de

activiteiten op het gebied van onderzoek en consultancy. De belangrijkste zwaartepunten liggen bij de volgende deelnemende instituten:

- TNO Preventie en Gezondheid (Afdeling Arbeid en Gezondheid); het zwaartepunt ligt op een drietal terreinen: organisatie-ontwikkeling en psychische belasting (stress-onderzoek); werkplekinrichting en fysieke belasting; opleidingen arbeid en gezondheid
- TNO Voeding (Afdeling arbeidstoxicologie); het onderzoek is vooral gericht op de blootstelling aan toxische (vooral chemische) stoffen. Daarbij gaat het om meetmethoden, maar ook om het bepalen van de gezondheidseffecten. Op grond daarvan wordt een bijdrage geleverd aan normstelling en wordt kennis ontwikkeld omtrent preventie.
- TNO Technische Menskunde (Afdeling Werkomgeving); de expertise is in den brede gericht op systeemergonomie. Daarbij gaat het om de interdisciplinaire samenhang van werkplekinrichting, (complexe) mens-machine interfaces taakstructurering, fysieke en psychische belasting en het ontwerp en gebruik van beschermingsmiddelen.
- TNO Bouw (Afdeling bouwfysica, binnenmilieu en installaties); de expertise is gelegen op de terreinen werkplek/binnenmilieu, werkplek/binnenklimaat en arbeidshygiëne.
- TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie (Afdeling Industriële Veiligheid); het werkgebied omvat expertise op risico-analyses, ongevalsanalyses, industriële veiligheid en veiligheidsmanagement.

De onderzoekscapaciteit van het DLO-instituut *IMAG* (de afdeling Arbeid) omvat een breed spectrum aan disciplines, waarbij het zwaartepunt ligt op fysieke belasting en ergonomie. Doelstellingen zijn het verbeteren en optimaliseren van het werk en de werkomstandigheden. Het onderzoek wordt in principe toegespitst op arbeid in de land- en tuinbouw.

2.1.4 Overigen

Het *Nederlands Instituut voor Arbeidsomstandigheden (NIA)* onderscheidt als werkterreinen arbomanagement (ontwikkelen en implementeren van zorgsystemen, verzuimmanagement); ontwerp van werkorganisaties en werkplekken; arbokwalificatie (totaalpakket van opleidingen en lesmateriaal) en brede informatievoorziening op arbokundig gebied. Het NIA heeft nadrukkelijke zwaartepunten op informatiesystemen rond ziekteverzuim, arbeidsongeschiktheid en kwaliteit van de arbeid en integrale functieverbetering (veiligheid, gezondheid en welzijn). Doelgroepen zijn bedrijven en instellingen, overheden en andere beleidsinstellingen als mede intermediaire organisaties (waaronder branche-organisaties). Het overgrote deel van de activiteiten is gericht op advisering en training; de onderzoeksactiviteiten - ziekteverzuim, methodeontwikkeling voor meten van psychische belasting, stress onderzoek - hebben

een omvang van 6 FTE. Onlangs is besloten dat het NIA en TNO-PG zullen samensmelten.

Gewezen is reeds op de beperkte eigen onderzoekscapaciteit van de BGD-en. De onderzoeksterreinen die het meest nadrukkelijk ontwikkeld zijn betreffen de aard en mate van potentiële blootstelling, en actiegericht onderzoek (preventie en overheidsbeleid).

2.1.5 Stimulering van wetenschap en technologie

In het kader van het reeds genoemde onlangs gestarte NWO-prioriteitenprogramma Psychische vermoeidheid in de arbeidssituatie wordt 6.5 Mf voor de komende 6,5 jaar beschikbaar gesteld. Het ministerie van VWS vult dit aan met 1 Mf mits bundeling van onderzoek op het terrein van chronisch zieken tot stand komt. Het VWS financiert, naast TNO via doelfinanciering (16.6 Mf), het NIVEL (Instituut Onderzoek Eerstelijns Gezondheidszorg) met 2.6 Mf over 1995.

2.2 Relatienetwerken

Een van de belangrijkste conclusies van de Commissie Arbeidsgezondheidskundig Onderzoek was dat er op het brede terrein van arbeid en gezondheid sprake is van een sterke versnippering in onderzoekscapaciteiten zonder dat er sprake is van een goede coördinatie of programmering van het onderzoek. Voorstellen om daar verandering in te brengen middels het oprichten van een programmabureau of het herstructureren van de 2e-lijnstructuur hebben tot op heden geen opvolging gekregen. Wel zal de beoogde fusie tussen het TNO-PG (divisie Arbeid en Gezondheid) en het NIA zorg dragen voor een de facto herstructurering van het veld arbeid en gezondheid.

Op het terrein van arbeid en gezondheid ontbreekt het aan (formele) netwerken die in een dergelijke programmeringsfunctie kunnen voorzien. Wel zijn er beroepsgeoriënteerde verbanden (Platform Arbeidsveiligheid voor de veiligheidkundigen) of de formele beroepsverenigingen (ondermeer voor arbeidshygiënist en ergonomen), maar die hebben geen programmerende werking op het onderzoek. Binnen het welzijnsonderzoek (psychische belasting) heeft de aansturing van het NWO-prioriteitenprogramma (psychische vermoeidheid in de arbeidssituatie) middels een dwarsverbandcommissie wel tot een duidelijke structurering binnen het veld geleid.

Tabel 6. Relatienetwerken

KADER	RELATIENETWERKEN
NWO Prioriteitenprogramma Psychische vermoeidheid	RUG, UU, UvA, RU Limburg, TNO-PG, NIA.
Platform Arbeidsveiligheid	deelnemers uit universiteiten, overheid en bedrijfsleven die werkzaam zijn op het vlak van arbeidsveiligheid
Nederlandse Vereniging voor Ergonomie	beroepenvereniging voor ergonomen met een additionele platformfunctie

3. Evaluatie onderzoekinfrastructuur

Op het terrein van arbeid en gezondheid zijn geen systematische beoordelingen van de zwaartepunten voorhanden. De studies welke in het verleden zijn uitgevoerd (Raad voor Gezondheids Onderzoek, CARGO), hadden een inventariserend karakter. Ook het onderzoek dat op dit moment plaats vindt door het Coronel Lab (in opdracht voor de Raad voor Gezondheids Onderzoek) heeft een inhoudelijk inventariserend karakter. Dit onderzoek, dat in het najaar van 1995 wordt afgerond, moet wederom vooral bijdragen aan de inhoudelijke programmering van het onderzoek.

Wel zijn er aan het begin van de jaren '90 zijn door de Commissie Arbeidsgezondheidskundig Onderzoek een aantal inhoudelijke aanbevelingen opgesteld. Kort samengevat gaat het daarbij om:

- betere programmering van samenhangende onderzoeksprogramma's;
- programma voor de kwaliteits- en effectiviteitsbevordering van de bedrijfsgezondheidszorg;
- inventarisatie en registratie van beroepsziekten en veiligheidsrisico's;
- bevorderen toegang tot het arbeidsproces en afstemmen van de arbeidssituatie op de belastbaarheid van werknemers;
- uitbouw van het onderzoek naar psychische belasting en aandoeningen van het bewegingsapparaat;
- uitbreiding van de onderzoeksinspanningen ten aanzien van long- en huidaandoeningen in relatie tot blootstelling aan chemische en biologische factoren;
- onderzoek intensiveren naar de aard en de omvang van (risico's op) andere arbeidsgebonden aandoeningen.

Een belangrijk deel van deze aanbevelingen heeft inmiddels zijn weerslag gevonden in de zwaartepunten van onderzoeksinstellingen. Los daarvan zijn enkele meer

algemene trends te noemen. Daar waar de overheid in het recente verleden nog een groot belang hechtte aan instrumentontwikkeling, is de aandacht nu verschoven naar doelgroepgericht en/of branchespecifiek toegepast onderzoek. Dat geldt in het bijzonder voor het welzijnsonderzoek. Daarnaast wordt - zeker in de tweede lijns infrastructuur (ondermeer TNO en NIA) toegewerkt naar een grotere interdisciplinariteit binnen het onderzoek.

Bronnen

CARGO, *'Inventarisatie van zwaartepunten van arbeidsgezondheidskundig onderzoek in Nederland'* (1990).

NWO-MW, *'De organisatie van het Gezondheidsonderzoek in Nederland'* (1994).

VSNU, *'BIOS 1994; Research Schools in the Netherlands'* (1995).

12. Transporttechnologie en logistiek



1. Omschrijving technologiegebied¹

1.1 Technologiegebied, disciplines

Transporttechnologie heeft betrekking op alle aspecten van transport: de transport- en verkeersmiddelen, de organisatie en beheersing van transportstromen en de transportinfrastructuur. Maatschappelijke vraagstukken zoals congestie, energiegebruik, ruimtelijke ordening en milieuhinder bepalen in toenemende mate de eisen die aan de afwikkeling van transportstromen worden gesteld. Om deze redenen ligt de transporttechnologie ingebed in een gevarieerd scala van disciplines zoals logistiek, energietechnologie, verkeerskunde, distributiekunde, telematica en operationele research, en niet in de laatste plaats de werktuigbouwkunde als kerngebied. Bij het formuleren van transportvraagstukken en -technologiegebieden treedt dan ook onmiddellijk het themadoorsnijdende karakter en de diversiteit van het onderwerp naar voren. Deze diversiteit van het technologiegebied blijkt ook uit een rapport van de *Stuurgroep Collectieve Programmering Verkeers-, Vervoer- en Infrastructuur-onderzoek* (kortweg Stuurgroep VVI-onderzoek, augustus 1994). Deze stuurgroep heeft de volgende thema's voor innovatief en strategisch onderzoek benoemd, met een nadruk op de eerste vier: 1. Mobiliteitsontwikkeling van personen; 2. Logistieke ketens; 3. Intermodaal vervoer; 4. Collectief personenvervoer (ook in relatie met goederenvervoer); 5. Informatietechnologie; 6. Technologische oplossingen; 7. Beleidsvorming.

De belangrijke strategische onderzoeksthema's voor de komende jaren liggen voor wat betreft de *beheersing van transportstromen* aldus in mobiliteitsontwikkeling, organisatie van logistieke ketens, intermodaal vervoer en overslag en distributie. Voor wat betreft de ontwikkeling van *transportmiddelen* gaat de aandacht onder meer uit naar schone en high-power verbrandingsmotoren en de ontwikkeling van hogesnelheidssystemen. Bij onderzoek op het gebied van *transportinfrastructuren* gaat het onder meer om efficiënte overslag- en distributienetwerken naast de bekende 'civiele' infrastructures (wegen, bruggen, spoorlijnen). Voor wat betreft de beheersing van transportstromen wordt de rol van telematica en informatietechnologie van steeds groter belang. Daarbij gaat het om zaken als elektronische gegevensuitwisseling, tracking and tracing, radiocommunicatiesystemen, geïntegreerde avionica.

In dit hoofdstuk richt de aandacht zich met name op de kennisinfrastructuur op het vlak van *beheersing van transportstromen*, met name op logistieke technologie en verkeersmanagement (EDI, tracing & tracking, marktinformatiesystemen). Daarbij worden de hieraan gerelateerde optimaliserings- en managementvraagstukken ook in de beschouwing betrokken, aangezien transporttechnologie niet op zichzelf staat. Daarnaast wordt in dit hoofdstuk ingegaan op het terrein van transportmiddelen. Het

¹ Deze bijdrage is samengesteld door S. Heugens, W. Korver en H. Vethman (TNO-INRO).

terrein van de transportinfrastructuur wordt in Hoofdstuk 14 (Civiele Technologie en Bouw) bestreken.

Tabel 1. *Transporttechnologie: disciplines, technologieën en toepassingen*

DISCIPLINES	TECHNOLOGIE	TOEPASSINGEN
Logistiek management Distributiekunde	<u>beheersing transportstromen</u> Overslag- en distributietechnologie	<u>beheersing transportstromen</u> Overslag- en distributienetwerken
Verkeerskunde Vervoersstromenonderzoek Vervoersplanologie	Bereikbaarheidsanalyses Scenario-analyse Modellering en simulatie Locatie-analyse	JIT-levering Multimodaal vervoer Fleet management Logistieke besturing
Operationele research	Geografische informatiesystemen	Bimodale transportsystemen
Gedragwetenschappen	<u>telematica en IT</u>	<u>telematica en IT</u>
Economie Ruimtelijke wetenschappen Rechten	Nerwerktechnologie Chipcardtechnologie Remote sensing Protocollen en standaards (EDI, artikelcodering e.d.) Video imaging	Emissie-monitoring Routeplanning Reserveringssystemen (passagier en goederen) Fleet management Avionicasystemen Verkeersgeleiding Tracing & tracking Marktinfosystemen OV Boordcomputers Klanteninformatie Automatic debiting Parkeersystemen
Milieukunde	<u>voertuigelektronica</u>	
Luchtvaart- en ruimtevaart-techniek	Mechatronica, micro-elektronica, signaalverwerking Voertuigidentificatie en -herkenningstechnologie	
Informatica; telematica (Micro-)Elektronica		
Werktuigbouw Maritieme techniek	<u>transportmiddelen</u>	<u>transportmiddelen</u>
Civiele techniek (infrastructuren)	High-power, high-performance verbrandingsmotoren Alternatieve voorstuwings-technologieën Katalysatorsystemen Engine management Besturingstechnologie (intelligent cruise control, collision avoidance etc)	Wegtransportsystemen Verbrandingsmotoren Hogesnelheidssystemen Smart vehicles Motormanagement

1.2 Relaties met andere technologiegebieden

Transporttechnologie staat zoals vermeld op een aantal manieren in verbinding met de andere technologiegebieden (Tabel 2). Ontwikkelingen op het gebied van *logistiek en verkeersmanagement* steunen voor een belangrijk gedeelte op de informatietechnologie. Voor technologie op het gebied van verkeersmanagement is tevens geavanceerde

elektronica (bijvoorbeeld voertuigherkenning en -registratie) van groot belang. Verder speelt milieutechnologie een rol als het gaat om vermindering van emissies uit verbrandingsmotoren. Civiele technologie is van groot belang voor de realisering van de infrastructuur ten behoeve van het transport over weg, rail en water. Voor wat betreft *transportmiddelen* zijn van belang produktietechnologie (fabricage van transportmiddelen en componenten), materiaaltechnologie (materiaalontwikkeling en -beproeving), energietechnologie (aandrijfsystemen, verbrandingsmotoren), computati-onal modelling (computer-ondersteund ontwerpen, analyseren van materiaaleigenschappen).

Tabel 2. *Relaties transporttechnologie met andere technologiegebieden*

TECHNOLOGIEGEBIED	SAMENHANG MET TRANSPORTTECHNOLOGIE
Milieutechnologie	Katalysatoren; alternatieve verbrandingsmotoren
Elektronica	Remote sensing, signaalverwerking, besturing en coördinatie van transportmiddelen en -systemen
Computational modelling & Simulation	Computer-ondersteund ontwerpen van voertuigen; simulatie (t.b.v. verkeersmanagement); analyse van stromingen (aerodynamica, vloeistofdynamica)
Informatie- en communicatie-technologie	Tracing & tracking; verkeersmanagement; reizigersinformatiesystemen; avionica etc
Voedingsmiddelentechnologie	Transport, distributie, bewaren, verpakken
Energietechnologie	Verbrandingsmotoren, aandrijfsystemen
Produktietechnologie	Fabricage van transportmiddelen en componenten
Materiaaltechnologie	Ontwerp van specifieke (lichte, duurzame, bestendige, high-performance etc) materialen
Luchtvaart- en ruimtevaart-technologie	Avionicasystemen, remote sensing, materialen
Civiele Technologie	Speciale infrastructuren, ondergronds bouwen, waterbouwkunde

1.3 Belang van het technologiegebied

De organisatie van het vervoer van goederen en personen is een belangrijk maatschappelijk vraagstuk. Enerzijds hangt dit samen met de toenemende mobiliteit van personen en goederen, anderzijds met de externe effecten die voortvloeien uit het vervoer (ruimtegebruik, congestie, milieuhinder). Naast een maatschappelijk belang is een zich verder ontwikkelende transporttechnologie ook noodzakelijk voor goede

van ongeveer 70 mld (17 mld voor transportmiddelen, 54 mld voor transport en opslag), zo'n 12 % van het BBP. Een relatief aanzienlijk deel van de produktie is bestemd voor export (55 % van de produktie op het gebied van transportmiddelen, 50 % van de produktie op het gebied van transport en opslag). In het verlengde hiervan is het toenemend belang van Schiphol en Rotterdam te noemen.

De concurrentiepositie van transportbedrijvigheid staat van verschillende kanten onder druk. In het goederenvervoer stellen verladers steeds hogere eisen aan het vervoer, terwijl de marges verminderen. In het personenvervoer wordt de consument steeds mondiger en verwacht 'value for money'. Bovendien wordt de markt steeds internationaler, waardoor ook de concurrentie vanuit andere landen toeneemt. Teneinde deze positie te verbeteren wordt een 'veredelingsstrategie' vrij algemeen van belang geacht (onder andere door de WRR). Hierbij gaat het om twee zaken: 1. Verbetering van efficiency en vermindering van de belasting van de milieugebruiksruimte door rationalisatie van transportmiddelen en systemen; 2. Waardetoevoeging tijdens transport en overslag (vervlechting produktie en vervoer). Bij deze strategie is onder meer informatietechnologie-ontwikkeling en bovenal kennisontwikkeling noodzakelijk. In dit proces is sprake van een steeds belangrijker wordende rol van de logistiek in de gehele keten; niet alleen in uitvoerende (het fysieke transport) maar ook in coördinerende functies.

Belangrijke toepassingsgebieden van informatietechnologie in het verkeer en het vervoer zijn de verkeersbegeleidingssystemen voor resp. het goederenvervoer en het personenvervoer. Vrijwel alle van de bovengenoemde IT-gebieden worden in deze twee systemen benut. Het uiteindelijke doel van dergelijke systemen is het vergroten van de verkeersefficiency in de meest brede zin des woords. Een hogere efficiency biedt een betere uitgangspositie bij het concurreren op de internationale vervoersmarkt. De in verhouding nu al hoge vervoerskosten van Nederlandse transportbedrijven (met name door hoge loonkosten) vormen hierbij een extra stimulans. IT maakt tevens een betere beheersing van verkeer- en vervoersstromen mogelijk, waardoor de eerder besproken veredelingsstrategie richting logistiek management in de keten beter uitvoerbaar wordt. De inzet van IT bij het optimaliseren van het gebruik van de infrastructuur is natuurlijk vanuit een maatschappelijk oogpunt eveneens van groot belang (denk aan de fileproblematiek, wegveiligheid).

2. De onderzoekinfrastructuur

2.1 Actoren in de kennisinfrastructuur

2.1.1 Algemeen

Logistieke kennis. De basis voor logistieke kennis ligt bij de grote bedrijven, in samenspel met de branche-organisaties en de universiteiten. De grote transportbedrijven vertolken een voortrekkersrol bij de kennisontwikkeling in de sector. Het betreft niet alleen vragers naar kennis voor in-house expertise maar ook deelname aan studieclubs (bijvoorbeeld Nederland Distributieland, Vereniging Logistiek Management), overigens tezamen met universiteiten en onderzoek- en adviesbureaus (denk aan het NEA). Daarnaast financieren enkele transportbedrijven een leerstoel (onder andere Nedlloyd). Logistiek management en veranderingen in het economisch krachtenveld hebben bij dergelijke concerns volop de aandacht. Deze innovatieve houding is maar in beperkte mate terug te vinden in de meer kleinschalige logistieke dienstverleners die zich overwegend terughoudend opstellen ten opzichte van vernieuwingen op het gebied van transport en distributie. Een ander punt van aandacht is de overwegend operationele gerichtheid van veel transportmanagers, waardoor strategische vraagstukken wat onderbelicht zijn.

Informatietechnologie, voertuigelektronica, verkeersmanagement. De informatietechnologie ten behoeve van verkeersbeheersing en -begeleiding wordt vooral gestimuleerd door de leveranciers van transportmiddelen (internationaal), tezamen met nationale en vooral internationale overheden en enkele grote transportbedrijven. Kenniscentra liggen bij enkele grote transportbedrijven en bij publieke instellingen zoals universiteiten en TNO.

Transportmiddelen en infrastructures. De kennisbasis voor het ontwerpen en maken van transportmiddelen is vooral aanwezig bij enkele grote ondernemingen en publieke kenniscentra. Verscheidene instituten binnen TNO en enkele GTI's, alsmede universiteiten, leveren eveneens een substantiële bijdrage aan technologie-onderzoek naar verkeers- en transportmiddelen en infrastructuur. Veel van dergelijk onderzoek wordt in internationaal verband opgepakt; er is sprake van samenwerkingsverbanden, voornamelijk in EU-verband.

Tabel 3. Onderzoekinfrastructuur Transporttechnologie

CENTRA	ACCENTEN	FTE's (incl. AIO'S)
UNIVERSITAIR <i>Onderzoekschool:</i> TRAIL (TU Delft, EUR) <i>Universitaire centra:</i> TUD EUR TUE UvA UT Nijenrode RUG	Transport en verkeerstechnologie, bedrijfsvoering, transportinfrastructuren, maatschappelijke ontwikkelingen Transportinfrastructuren, voertuigtechniek, maritieme techniek, lucht-/ruimtevaart Vervoerseconomie Voertuigtechniek, logistiek en distributie Vervoerseconomie Productie en logistiek Productie en logistiek Verkeerskunde	45 Totaal plm. 200 FTE (excl. AIO's)
TOEGEPAST TNO-WT TNO-TPD TNO-INRO TNO-TM NLR MARIN WL SWOV AVV (V&W) NEA	Wegtransportmiddelen, verbrandingsmotoren, botsveiligheid, voertuigdynamica Verkeersmanagement Verkeers en vervoersonderzoek, logistiek Mens-machine interface Lucht- en ruimtevaarttechniek Scheepsbouw, voortstuwing, besturing Waterbouw, simulatie Verkeersveiligheid Aansturen en uitvoeren onderzoek transport/infra Advisering, studies	200 - 50 - 900 (totaal) 200 (totaal) 500 (totaal) 50 400 -
INDUSTRIËLE R&D NedCar Fokker Daf Trucks Nedlloyd Frans Maas Philips ECT Stork NS	Voertuigontwerp en -ontwikkeling Lucht- en ruimtevaarttechniek, produktietechniek Vrachtwagens Logistiek Telematica, mobiele communicatie en logistiek Elektronica voor voertuigbesturing Overslag, distributie, telematica Railvervoer Railvervoer	Onbekend
OVERIG CROW (COPI) CUR (COPI) NDL VNL PbIVVS(V&W, VROM)	Programmering collectief onderzoek weg/railbouw Programmering onderzoek geo/waterbouw Belangenvereniging logistiek en distributie Vereniging, Logistiek Management Projectbureau; aansturen onderzoek	

Tabel 3 geeft een inventarisatie van de kennisinfrastructuur op het gebied van transporttechnologie. Voor dit terrein zijn ook van belang tal van onderzoeksactiviteiten met betrekking tot materiaaltechnologie, produktietechnologie, lucht- en ruimtevaarttechnologie e.d. die relevant zijn voor het ontwerpen en produceren van transportmiddelen en componenten daarvan. Deze zijn niet in tabel 3 opgenomen maar worden in de betreffende hoofdstukken behandeld. In de Annex bij dit hoofdstuk gaan we daarnaast uitvoerig in op een aantal R&D-initiatieven op het gebied van transporttechnologie, met name rond verkeersmanagement en informatietechnologie. In tal van dergelijke initiatieven vindt samenwerking plaats tussen kenniscentra en het bedrijfsleven, zowel op nationaal als internationaal niveau.

2.1.2 Universitair onderzoek

Op universitair niveau verrichten vooral de TU Delft, de TU Eindhoven, de Erasmus Universiteit Rotterdam en de Universiteit van Amsterdam relevant onderzoek. De *TU Delft* kent belangrijke activiteiten op terreinen als infrastructuurontwikkeling (zie ook Hoofdstuk 14, Civiele Technologie), lucht- en ruimtevaarttechnologie (Hoofdstuk 13), voertuigtechnologie, havens en scheepvaartwegen, en transporttechnologie. Voor wat betreft transporttechnologie ligt het accent op de dynamica van weg- en railvoertuigen en op de ontwikkeling van transportsystemen en technische logistieke systemen. Bij de *TU Eindhoven* vindt onderzoek plaats op het gebied van logistiek management en distributie, en voertuigtechnologie. De *Erasmus Universiteit Rotterdam* kent accenten op de terreinen vervoers- en havenconomie en bedrijfskundige aspecten van transport. Belangrijke onderzoeksactiviteiten worden ook verricht door de RU Groningen (Verkeerskundig Studiecentrum) en Nijenrode (logistiek management).

De *onderzoekschool TRAIL* (Transport, Infrastructuur en Logistiek) wordt gevormd door een aantal faculteiten van de TU Delft (Civiele Techniek, Werktuigbouwkunde & Maritieme Techniek, Technische Bestuurskunde, Technische Wiskunde en Informatica, Bouwkunde) en de Erasmus Universiteit Rotterdam. Het onderzoekprogramma van TRAIL betreft het transport van personen en goederen in alle vervoersmodaliteiten. 'Transport' omvat naast verplaatsingsactiviteiten ook alle gerelateerde handelingen zoals overslag, opslag en distributie. Toepassing van informatietechnologie, energievoorziening, milieu, veiligheid en ruimtelijke indeling zijn belangrijke aandachtspunten. De onderzoeksthema's van TRAIL liggen op de terreinen transport en verkeerstechnologie, integrale bedrijfsvoering in de transportsector, transportinfrastructuren en maatschappelijke ontwikkelingen. TRAIL werkt samen met TNO en SWOV in het Centrum TransportTechnologie (CTT).

Het aanbod van relevante opleidingen en onderzoek is minstens even divers als de vraag naar logistieke kennis. Opvallend is de grote hoeveelheid niet reguliere opleidingen: volgens Nederland Distributieland ('Kennis en Concurrentiekracht' 1991) houden

circa 50 organisaties zich bezig met opleidingen op logistiek terrein. Verder meldt Nederland Distributieland dat 9 van de circa 85 hogescholen een substantieel onderdeel logistiek hebben. Op vrijwel alle universiteiten wordt logistiek gedoceerd als onderdeel van het studieprogramma, soms ook als hoofdvak of afstudeerrichting. De jaarlijkse uitstroom omvat circa 500 personen. Nederland Distributieland stelt in het genoemde rapport dat de integratie van de kennisvelden goederenstroombeheersing, technologie en bedrijfseconomie meer aandacht verdient binnen het hoger onderwijs.

Op grond van analyse van jaarverslagen van universiteiten en VF-programma's zijn als eerste inschatting plm. 200 FTE's aan universitair onderzoek aan het gebied van transport toe te rekenen.

2.1.3 Instituten voor toegepast onderzoek (TNO, GTI's, departementale instituten)

Binnen TNO verrichten verschillende instituten onderzoek wat betreft transport-technologie. Het belangrijkste instituut is TNO Wegtransportmiddelen (TNO-WT). Belangrijke aandachtsvelden bij TNO Wegtransportmiddelen zijn voertuigdynamica, botsveiligheid en verbrandingsmotoren. Hieronder valt de toepassing van voertuigelektronica in actieve beheersing van transportmiddelen (de zogenaamde 'smart vehicles'), motormanagement, en alternatieve aandrijvingsvormen. Door de Technisch Fysische Dienst (TNO-TPD-TU Delft) wordt onder meer gewerkt aan verkeersgeleidingsystemen. Het Centrum voor Infrastructuur, Transport en Regionale Ontwikkeling (INRO) is actief op onder meer de werkvelden Logistiek Management en Verkeer en Vervoer. Het laatstgenoemde werkveld betreft vooral mobiliteitsanalyses, vervoersmodellen en dynamische verkeersbeheersing.

Van de GTI's zijn met name het NLR, WL en MARIN van belang. Het NLR (in totaal 900 onderzoekers) richt zich op onderzoek met betrekking tot aërodynamica (vleugelontwerp, integratie van voortstuwing), materialen, ontwerp van vliegtuigen, ruimteonderzoek, en het besturen en beheersen van lucht- en ruimtevaartobjecten en -systemen (ATC). Hierop wordt nader ingegaan in Hoofdstuk 13 Luchtvaart- en ruimtevaarttechnologie en Hoofdstuk 5 Computational modelling & simulation. Het Waterloopkundig Laboratorium (totaal aantal onderzoekers: 500) richt zich onder meer op waterstaatkunde en natte waterbouwkunde. Bij het MARIN (200 onderzoekers) komen scheepsbouw, voortstuwing en ontwerp aan de orde. Naast de GTI's en TNO vindt relevant onderzoek plaats bij de SWOV op het gebied van verkeersveiligheid. De Adviesdienst Verkeer en Vervoer (AVV) van het ministerie van Verkeer en Waterstaat tenslotte bezit een sleutelrol bij zowel het uitzetten als zelf verrichten van onderzoek.

Precieze inschatting van de omvang qua budgetten en onderzoeksjaren op het domein van transporttechnologie is in het kader van deze studie niet mogelijk.

2.1.4 Industriële R&D

Op het gebied van logistiek is veel kennis aanwezig bij grote bedrijven zoals Nedlloyd, Frans Maas. ECT is een toonaangevende partij op het gebied van verslag en distributie (systeemontwikkeling containervervoer, automatisering, telematica). De grote transportbedrijven vertolken een voortrekkersrol bij de kennisontwikkeling. Op het gebied van transportmiddelen kent Nederland enkele grote ondernemingen met researchactiviteiten zoals NedCar (automobiëlindustrie; veelal ingenieursbureau-activiteit), Daf Trucks (vrachtwagens, omvangrijke toegepaste research), Fokker (belangrijke research op het gebied van vliegtuig- en ruimtevaartontwikkeling; zie Hoofdstuk 13). Belangrijke partijen zijn ook Stork en de NS (railvervoer), Koni (schokdempers), Duvedec (carrosserie).

2.1.5 Overig (brancheorganisaties, intermediairs)

Nederland Distributieland tracht de belangen van de gehele Nederlandse transport- en distributiesector (rail-, binnenvaart-, diepzee-, en luchtvervoer) vanuit een geïntegreerde visie te behartigen. Zij heeft veel gedaan aan de stimulering van telematica-onderzoek. Binnen het wegtransport is de NOB de meest representatieve organisatie.

Zeer verweven met het transportnetwerk is het NEA (Nederlands centrum voor onderzoek, advisering en onderwijs op het gebied van verkeer en vervoer) waarin de organisaties voor het vervoer (wegvervoer, binnenvaart) vertegenwoordigd zijn. Verder doen ook INRO-TNO, het NEI, de TU Delft en commerciële adviesbureaus regelmatig onderzoek voor brancheorganisaties.

2.1.6 Stimulering van wetenschap en technologie

Het is duidelijk dat de gezamenlijke *overheden* een belangrijke partij vormen bij transporttechnologie, via (mede-)financiering van universiteiten, TNO, GTI's en intermediairs. Alhoewel gegevens over precieze budgetten voor zover gericht op transporttechnologie niet steeds beschikbaar zijn, is het belang van de overheidsstimulering goed te schetsen. Financiering van de publieke kennisinfrastructuur vindt in hoofdzaak plaats door middel van de eerste geldstroom naar universiteiten, basis- en doelfinanciering van TNO, financiering door V&W, EZ, OC&W en Defensie van GTI's (NLR, GD, MARIN, WL) en de SWOV, en financiering door V&W en EZ van

intermediairs en adviesorganen zoals de NOVEM, de CUR, CROW, en het Nederlands Instituut voor Maritieme Ontwikkeling (voorheen CMO).

Belangrijkste partij is het *Ministerie van Verkeer en Waterstaat*. Bij dit ministerie worden rechtstreeks gelden bestemd voor onderzoek naar transport en infrastructuur en indirect via de verschillende regionale directies en diensten. De *Adviesdienst Verkeer en Vervoer* (AVV) van het ministerie heeft een sleutelrol bij het verrichten en uitzetten van onderzoek. Verder is er nog het *Projectbureau Integrale Verkeers- en Vervoerstudies* (PbIVVS), waarin ook VROM en de NS participeert. Het ministerie van V&W investeert ongeveer 250 mln per jaar in kennis, zowel extern (TNO, GTI's, andere instituten, intermediairs) als intern ten behoeve van de uitvoering van kerntaken (specialistische diensten, die op hun beurt deels weer extern uitbesteden). Ongeveer 80 % van deze 250 mln komt uiteindelijk terecht bij de externe kennisinfrastructuur.

In totaal rond de 100 mln wordt door V&W, hetzij via de externe kennisinfrastructuur, hetzij intern, besteed aan onderzoek op het gebied van transport en infrastructuur. Onderzoek ten aanzien van uitvoering van de eigen kerntaken rond transport bedraagt ongeveer 86 mln van in totaal 158 mln, en valt te verdelen in inland transport (57 mln), infrastructuur (13 mln) en verkeersveiligheid (16 mln). Onderzoek dat direct via de externe kennisinfrastructuur wordt verricht op het gebied van transport omvat ongeveer 10 mln van in totaal 97 mln (het grootste deel, hier niet meegerekend, gaat naar het NLR) en is verdeeld over TNO (4 mln), SWOV (4 mln) en MARIN (2 mln).

Het *ministerie van VROM* stelt eveneens budgetten beschikbaar. Deze gelden worden voornamelijk verstrekt via de Rijks Planologische Dienst (RPD). Het *ministerie van EZ* stimuleert via verschillende regelingen technologisch onderzoek. Specifiek kan nog het Rationeel Energiegebruik Verkeer en Vervoer (REVV-programma) van de *Novem* worden genoemd. Het *ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen* draagt via geldstromen naar universiteiten en andere instellingen bij tot de kennisinfrastructuur. Naast de centrale overheden zijn de lagere overheden van belang: de gemeenten en de provincies.

De COPI's (Collectief Onderzoek Programmerende Instellingen) spelen een belangrijke rol bij het programmeren van onderzoek op het gebied van verkeer, vervoer en infrastructuur. CROW (Stichting Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water- en Wegenbouw en de Verkeerstechniek) is een coördinatiepunt voor onderzoek in de bouw en verkeer, opgericht door bouwbedrijven. CUR is een soortgelijke organisatie, voor en door uitvoerders in de bouw (aannemers etc) en is actief op het gebied van bodemonderzoek en waterbouw (Zie ook Hoofdstuk 14).

Belangrijk voor de versterking van het onderzoek naar infrastructuur en hieraan gerelateerde transporttechnologie zijn de projecten van de *Interdepartementale Commissie Economische Structuurversterking* (ICES). De voor het terrein transport-

technologie relevante ICES-projecten zijn Land-Water-Impuls (40 Mf, trekker V&W), Transporttechnologie (35 Mf, V&W), Ondergronds bouwen (40 Mf, V&W), Main Port Rotterdam (25 Mf, OC&W) en Agro-ketenkennis (30 Mf, LNV).

2.2 Relatienetwerken

Vaste samenwerkingsverbanden tussen organisaties (onderzoeksinstituten en/of aanbieders van produkten) zijn niet op grote schaal te vinden binnen de sector verkeer en vervoer. Dit betekent geenszins dat er geen samenwerking is (Tabel 4). Het tegenovergestelde zelfs; heel veel projecten worden gezamenlijk uitgevoerd. Zowel op nationale schaal als internationale schaal is dit het geval. Dergelijke projectmatige samenwerkingsverbanden worden door de opdrachtgevers vaak ook gestimuleerd. Op Europees (EU) niveau is dit zelfs onontbeerlijk. Het merendeel van de opdrachten wordt alleen gegund aan samenwerkingsverbanden. Binnen Europa spelen het Prometheus- en DRIVE-programma en het komende Vierde Kaderprogramma hierin een belangrijke verbindende en stimulerende functie. Vanuit Nederland zijn met name Rijkswaterstaat, TNO, Philips en Verkeerskundig Studiecentrum Groningen betrokken bij het DRIVE-programma. Voor onderzoek en nieuwe toepassingen binnen verkeer en vervoer is informatie-uitwisseling van essentieel belang. Hiervoor zijn meerdere organisaties actief in landelijke platforms en samenwerkingsverbanden. Een aantal landelijke organisaties organiseert jaarlijkse bijeenkomsten voor verschillende deelgebieden binnen verkeer en vervoer. Bovendien organiseren deze organisaties op ad-hoc basis enkele keren per jaar bijeenkomsten over specifieke thema's. Zo is er het Colloquium Verkeersplanologisch Speurwerk (CVS) en zijn er verkeerskundige en vervoers-logistieke werkdagen. De KIVI-afdeling Verkeerskunde organiseert regelmatig bijeenkomsten voor leden over specifieke thema's, o.a. voertuigtechniek.

Tabel 4: Relatienetwerken

KADER	SAMENWERKING
Nederland Distributieland	Bedrijven (wegtransport, luchtvaart, scheepvaart), kenniscentra. Verbetering van de concurrentiepositie van het Nederlands transport en de distributie.
Vereniging Logistiek Management (VLM)	Beroepsorganisatie. Deze organisatie richt zich op het vergroten en verspreiden van logistieke kennis. De VLM entameert en participeert ook in internationaal onderzoek op dit terrein.
Railforum	Spoorwegvervoer. Een divers samengestelde groep van organisaties die in meer en mindere mate begaan zijn met de toekomst van het spoorvervoer in Nederland, o.a. NEA, Grontmij, Ministerie van V&W, Trailstar.
COPI's (CUR, CROW)	CROW: Coördinatiepunt voor onderzoek, opgericht door bouwbedrijven. CUR: Coördinatiepunt voor onderzoek voor en door uitvoerders in de bouw.
EU-projecten (DRIVE e.d.)	Rijkswaterstaat, TNO, Philips, Verkeerskundig Studiecentrum Groningen
ICES Transporttechnologie ICES Land-Water-Impuls ICES Ondergronds Bouwen ICES Mainport Rotterdam	Bedrijven, kenniscentra (TRAIL, TNO), overheden
Stuurgroep VVI-onderzoek	Collectieve Programmering Verkeers- Vervoer- en Infrastructuuronderzoek.
CVVO	TNO-instituten verkeer en vervoer (300-400 personen)

3. Evaluatie onderzoekinfrastructuur

De eerste indruk is dat op het gebied van logistieke kennis de universiteiten, de grote onderzoeksbureaus en de grote bedrijven een voortrekkersrol vervullen, maar dat het midden- en kleinbedrijf terughoudend is. Een complicerende factor is de overwegend operationele gerichtheid van veel logistieke managers, grote bedrijven zoals Nedlloyd en Frans Maas uitgezonderd.

Verschillende rapporten waaronder die van de Stuurgroep VVI-onderzoek (1994) stellen dat de kennis te versnipperd en te verkokerd is en dat er dikwijls sprake is van ad-hoc aanpak. Innovatieve en strategische studies krijgen hierdoor te weinig aandacht. Aanzetten tot verbetering van deze situatie zijn te onderkennen in de initiatieven van

Ministeries (Stuurgroep VVI-onderzoek) universiteiten (bijvoorbeeld Trail), TNO (CVVO) en intermediaire organisaties (onder andere VLM en NDL). Een belangrijke stimulans voor een versterking van de kennisinfrastructuur in Nederland vormen de ICES-projecten. De Interdepartementale Commissie Economische Structuurversterking heeft in totaal 250 miljoen gulden beschikbaar gesteld voor projecten op diverse gebieden, waaronder transporttechnologie, agrologistiek en mainport Rotterdam. Bijna de volledige onderzoekswereld op het gebied van verkeer en vervoer is betrokken (geweest) bij de ontwikkeling van plannen. In de loop van 1995 zijn de eerste projecten gestart.

Op bepaalde deelterreinen is wel sprake van strategisch onderzoek, het betreft dan met name onderzoek in internationaal (EU-)verband, denk aan DRIVE en het komende Vierde Kader Programma. In Nederland is het ministerie van V&W nauw betrokken bij dergelijk onderzoek, ook op nationaal niveau.

Verder spelen grote en kleinere bedrijven een rol van betekenis bij de ontwikkeling van nieuwe telematica voor verkeersmanagement. Denk bij de eerste categorie aan Philips, Siemens Nederland, VDO Nederland, bij de tweede aan Simac systems, Groeneveld Transport Efficiency, en Baan Info Systems.

Zoals reeds aangegeven zou een meer geïntegreerde onderzoekinfrastructuur nastrevenswaardig zijn. Dit is de taak van de Stuurgroep VVI-onderzoek. Hierbij verdient het lange termijn onderzoek nadrukkelijk de aandacht. Op internationaal niveau speelt het Vierde Kader Programma en op nationaal niveau het ICES-programma hierbij een belangrijke rol. Het zijn echter voornamelijk de grote onderzoeksbureaus en bedrijven die hierbij aansluiting vinden. Een nader inzicht in alle direct betrokkenen bij het onderzoek naar transporttechnologie is dan wel wenselijk. Wellicht is het tevens mogelijk de betrokkenheid van kleine en middelgrote transportondernemingen bij nieuwe technologie te vergroten.

Bronnen

Nederland Distributieland (1991), *'Kennis en concurrentiekracht'*, Den Haag.

Stichting C.R.O.W. (1994), *'Naar een nieuwe onderzoeksprogrammering voor verkeer, vervoer en infrastructuur'*. Stuurgroep Collectieve Programmering Verkeers-, Vervoer- en Infrastructuuronderzoek ('Stuurgroep VVI-onderzoek').

Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid WRR (1991), *'Meer dan transport alleen'*. Den Haag.

TNO-STB (1995), *'Op weg naar een OCV-dienstenverkenning, een verkennende voorstudie'*. Auteurs: R.H. Bilderbeek, H. Vethman, P. den Hertog en S. Heugens. Apeldoorn.

TNO-INRO (1994), *'Deelclusters in de Nederlandse verkeers- en vervoerindustrie'*. Auteurs: W. Korver, H. Vethman. Delft.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, *'Vizier op onderzoek. beleidsvisie kennisinfrastructuur V&W'* (1993).

ANNEX: ENKELE R&D-INITIATIEVEN TRANSPORTTECHNOLOGIE NADER BELICHT

Onderstaand wordt ingegaan op een aantal initiatieven rond informatietechnologie en verkeersmanagement. Achtereenvolgens komen hieronder aan bod de verkeersmanagementsystemen voor autoverkeer, voor het openbaar vervoersysteem en systemen specifiek voor goederen. De bedrijvigheid op deze terreinen is niet eenduidig uit de statistieken af te leiden. Dit komt mede doordat de bedrijven in meerdere branches actief zijn. De informatietechnologie wordt eveneens toegepast in andere sectoren. Bedrijven zoals Siemens en Philips zijn actief in vele gebieden waar verwante informatica wordt toegepast. Een andere oorzaak die het moeilijk maakt een snel overzicht te krijgen van deze sector is dat een groot deel van de ontwikkeling van nieuwe verkeersgeleidingssystemen in internationaal verband plaatsvindt. Desalniettemin wordt hieronder een aantal verkeersbegeleidingssystemen voor respectievelijk personenvervoer en goederenvervoer beschouwd die in de nabije toekomst van belang zullen zijn.

Verkeersbeheersing in stedelijke gebieden. Lokale verkeersregelsystemen worden door veel fabrikanten aangeboden (Tabel 1). In onderstaande tabel zijn de belangrijkste vermeld. Belangrijkste bedrijven in Nederland die zelfstandig vorm geven aan verkeersregelsystemen zijn: ASCOM-Hasler, Nederland-Haarlem, Peek-Traffic en Siemens. Bedacht moet worden dat deze bedrijven hardware leveren, voor de bijbehorende software maken ze vaak gebruik van ingenieursdiensten. Grote systemen die in een heel gebied het verkeer regelen worden voor zover bekend niet door Nederlandse bedrijven aangeboden.

Tabel 1. Belangrijkste hardware aanbieders lokale verkeersregelsystemen.

	Vestigingsplaats	R.&D. in NL?	Omvang (werkne- mers)
ASCOM-Hasler	Arnhem	Ja	50
Nederland-Haarlem ¹	Haarlem	Ja	100
Peek-Traffic ²	Hilversum	Ja	125
Siemens	Den Haag	Ja	65
Brimos Wegbebakening	Hattem	Inst. bedrijf	?
Ko Hartog BTA	Heiloo	Inst. bedrijf	< 50
Methon	Heemstede	Inst. bedrijf	?
Nettenbouw	Amersfoort	Inst. bedrijf	?
Stork Nolte Infratechn.	Eindhoven	Inst. bedrijf	?
Verenigde VTN bedr.	Culemborg	Inst. bedrijf	?

Bron: Verkeerskunde, 1993.¹ Nederland-Haarlem is onderdeel van Volker-Stevin.² Peek Traffic bv - voorheen Philips Verkeerssystemen - is een werkmaatschappij van Peek plc, een multinationale onderneming op het gebied van elektronica voor verkeer en vervoer, die in meer dan 50 landen actief is. Het hoofdkantoor is gevestigd in Abington (Engeland).

Autonomous Intelligent Cruise Control (AICC). Bij AICC is het doel het behouden van een veilige onderlinge afstand tussen voertuigen. AICC moet werken onder alle condities. Daartoe dient AICC - maar ook Automatische Voertuiggeleiding, *Collision Avoidance*² etc - in combinatie met *Friction Monitoring* te worden toegepast. Belangrijk researchprogramma van de Europese automobiellindustrie, gedeeltelijk gefinancierd door de EU, op het gebied van geavanceerde elektronica in het wegverkeer is Prometheus³ (omvang van 90 Mecu per jaar). Betrokkenheid van Nederlandse fabrikanten hierbij is gering, NedCar is hierbij bijvoorbeeld niet betrokken. Wel wordt momenteel het door Mercedes ontwikkelde systeem door TNO-TM getest in hun simulator. TNO-breed is er een door de AVV gefinancierd project waarin getracht wordt de effecten van de introductie van AICC-systemen beter te modelleren. TNO-instituten die hierbij betrokken zijn, zijn: INRO, TPD, WT en TM. Vanuit het PRO-GEN programma wordt gewerkt aan beoordeling van de effecten van AICC op verkeersafwikkeling en verkeersveiligheid. Ten aanzien van beoordeling van band-weg contact heeft het DVR (Delft Vehicle Dynamics Research; TNO-WT en TU Delft) een internationaal vooraanstaande positie. Dyna-

² Deze technieken beogen vanuit de beoordeling van de omgeving, naderingssnelheid en afstand tot mogelijke obstakels op de weg de rijtaak te automatiseren. Hierbij spelen zowel de rechtuitsituatie (snelheidsaanpassing) en rijbaanwisselingen (autonoom inhalen). Integratie met friction monitoring en zichtafstandbeoordeling (vision enhancement) is hier aan de orde. Voorbeelden van werkende concept-cars zijn VITA II (Daimler benz) en MOVER 2 (Mazda).

³ Program for a European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety.

mische actuele monitoring van verminderde wegdekcondities is aan de orde binnen het DRIVE-ROSES project (TNO, TU Delft).

Automatische voertuiggeleiding. TNO-MT, TNO-WT en TNO-INRO zijn, mede in opdracht van de AVV, bezig hiervoor een onderzoekslijn op te zetten. Deze technologie verkeert nog in de (aller)eerste ontwikkelingsfase.

Proper Vehicle Operation. Dit omvat beoordeling van de bestuurder, voertuig en omgeving als basis voor een verbeterde performance. Onderwerpen binnen dit aandachtspunt zijn beoordeling van de actuele wrijvingscondities en verbetering van het laterale voertuiggedrag (camber control, actieve achterwielbesturing). TNO-WT is in beide onderwerpen actief. Deze onderwerpen worden overigens meestal in combinatie met andere ontwikkelingen zoals CAS en AICC toegepast.

Systemen voor bedrijfswagens. Onderwerpen zijn hier bijvoorbeeld kantelsignalering en *controlled suspension*. Kantelsignalering omvat de beoordeling van een vrachtwagen ten opzichte van zijn kritische kantelgrens (TNO-WT). *Controlled suspension* behelst de actieve ophanging van vrachtwagens, waarmee potentieel de kritische dwarsversnelling voor kantelen significant kan worden verhoogd (TNO-WT, TNO-TPD i.s.m. TU Delft).

Routegeleidingssystemen. Bij de routegeleidingssystemen bestaat een belangrijk verschil tussen statische en dynamische systemen. Statische systemen zijn al op de markt. Dynamische systemen, dat wil zeggen er is interactie tussen de verkeerssituatie en de gegeven route-adviezen, zijn nog in ontwikkeling. Wel worden allerlei veldtests uitgevoerd die mede mogelijk worden gemaakt door middel van EU-subsidies. Bekende voorbeelden zijn: EUROSCOUT van Siemens, Trafficmaster in Londen en SOCRATES: Philips + andere bedrijven. SOCRATES staat voor System of Cellular Radio for Traffic Efficiency and Safety. Het SOCRATES programma was het grootste project in het DRIVE-I. Doel van het SOCRATES-project is cellular radio als het basis communicatie-middel te maken voor allerlei RTI-toepassingen (Road Transport Informatics). Het betreft bedrijven uit de elektronische industrie, auto-industrie, telecommunicatie-apparatuurindustrie en onderzoeksinstituten. Bedrijven betrokken bij dit project zijn: Ian Catling Consultancy samen met Tate Associates als hoofdaannemer en onder andere Philips (Research laboratories UK en Project Centre NL⁴).

⁴ Verder nog British Telecom, SEMA Group (France), Swedish National Road Administration, Robert Bosch (Duitsland), Volvo (Zweden), Saab-Scania (Zweden) en Universitat Politecnica de Catalunya (Spanje).

In Nederland voeren verschillende bedrijven al enige jaren onderzoek uit naar systemen voor elektronische tolheffing, geïnstalleerd is het nog nergens. In Oslo is wel een automatic debiting system werkzaam. In Nederland heeft met name Philips een belangrijke rol in dit onderzoek. Ook de AVV is belangrijk, deze organisatie levert ondermeer de voorzitter van de stuurgroep binnen DRIVE die zich bezig houdt met het opstellen van allerlei standaarden voor elektronische tolheffing binnen de EU.

Reizigersinformatiesystemen. Nu reeds bestaat een OV-informatie lijn, die binnenkort uitgebreid wordt met informatie over de trein- en de teletaxidiensten. OV-reisinformatie is onderdeel van de NS. Het door de NS gebruikte systeem is ontwikkeld door CVI (een NS-dochter). Het ministerie van V&W wenst te komen tot een verdere afstemming tussen onder meer attractieparken, de luchthaven Schiphol en het openbaar vervoer [Brand, 1993B].

Automatisch betalen. Verschillende actoren binnen het openbaar vervoer zijn hier actief mee bezig. Dat is dan met name onderzoek naar mogelijkheden om de chipkaart te introduceren. Het meest actief is de Nederlandse Spoorwegen. In 1992 is in samenwerking met Digital en Nedap uitgezocht of de chipkaart als integraal vervoerbewijs dienst kan doen en welke technieken daarvoor beschikbaar zijn.

Telematica-systemen goederenvervoer. Het aanbod van telematica-systemen voor goederenvervoer wordt mede bepaald door de vraag vanuit het goederenvervoer en dus beïnvloed door de situatie van de verschillende, in het goederenvervoer werkzame bedrijven. Gedacht kan worden aan de grootte en de specialisatie van de onderneming, de plaats in de logistieke keten en de kenmerken en wensen van de opdrachtgevers. Door de grote verschillen tussen de partijen in de transportsector, naar aard, activiteiten, ontwikkelingsstadium en interacties met anderen, bestaan er dan ook grote verschillen in het (optimale) gebruik van de informatietechnologie.

In de Telematica Gids Goederenvervoer [INRO-TNO, 1993] is een overzicht opgenomen van het aanbod van telematicasystemen voor, en telematica activiteiten door het goederenvervoer. De leveranciers die produkten op de markt brengen, staan als volgt gerubriceerd: ritten- en routeplanningssystemen (1), boordcomputers (2) en communicatie- en navigatiesystemen (3). Per leverancier is het produkt weergegeven, het aantal gebruikers in Nederland (tussen haakjes) en het al dan niet ondernemen van R&D-activiteiten door de leverancier betreffende het produkt.

Tabel 2.1. Rit- en routeplanningssystemen

LEVERANCIER	PRODUKT (aantal gebruikers)	ACCENT R&D
Delta Logis B.V	CarGo, CarGo Assistent (40)	-
Ordis Transport en Verkeer	Intertour en Interload (25)	-
MAI Nederland B.V	MAI Transport Pakket (300)	eigen ontwikkeling
Roadshow B.V	Roadshow (Europa: 40)	eigen ontwikkeling
Logitrans International	Routemaster (18)	eigen ontwikkeling
AKB/ORES	Tracc (>100)	eigen ontwikkeling
Baan Info Systems	Triton Trans (20)	eigen ontwikkeling

Tabel 2.2. Boordcomputers

LEVERANCIER	PRODUKT (aantal gebruikers)	ACCENT R&D
Fleetlogic Systems	Fleet Logic (>200) Transys (70)	eigen ontwikkeling
VDO Nederland	FMS 1325 (Europa: 500) FMS 1332 (Europa: 3000)	eigen ontwikkeling
Groeneveld Transp. Eff.	Greenlog (35)	eigen ontwikkeling
ICS B.V.	ICS Truck Black Box (200)	eigen ontwikkeling
Simac Systems B.V.	Logiq (50)	eigen ontwikkeling
Heemex B.V.	Mactruck (12)	-

Tabel 2.3. Mobiele communicatie- en plaatsbepalingssystemen

LEVERANCIER	PRODUKT (aantal gebruikers)	ACCENT R&D
Navigatiesystemen		
Philips Car Syst. Intern.	CARIN (Europa: >1000)	eigen ontwikkeling
Siemens Nederland B.V.	Euroscout (>500)	eigen ontwikkeling
Blaupunkt/Bosch	Travelpilot (>1000)	eigen ontwikkeling
Radio Holland	Loran-C GPS	-
VDO Nederland B.V.	VDO GPS-5	eigen ontwikkeling
Tele Atlas	Car Pilot	?
Geïntegreerde systemen		
CAP Debis Orga-soft	Dornier (10)	-
Alcatel Mobicom	Euteltracs (25)	-
Radio Holland	Prodat (Prodat 2) (15) Terrafix Trimble Veloc	-

13. Produkttechnologie



1. Omschrijving technologiegebied

1.1 Technologiegebied, disciplines

Produktietechnologie kent als toepassingsterrein de verschillende processtappen en bewerkingen die nodig zijn voor het vervaardigen van discrete, dat wil zeggen afzonderlijke, produkten. Dit in tegenstelling tot de procestechnologieën die in continu verlopende processen (bijvoorbeeld in de basischemie en de voedingsmiddelenindustrie) worden toegepast. Produktietechnologie bestrijkt het gehele scala van operationele functies zoals ontwikkeling van produkten en fabricageprocessen, ontwerpen en engineering, werkvoorbereiding, besturing van het fabricageproces, be- en verwerkingsprocessen in de fabricage, onderhoud, logistiek en productie-organisatie. Produktietechnologie omvat in sterke mate de toepassingen van informatietechnologie, met name bij de besturing van fabricageprocessen (materiaalbewerking, assemblage) en in ontwerp- en engineering-fasen.

Tabel 1. Produktietechnologie: disciplines, technologieën, toepassingen.

DISCIPLINES	TECHNOLOGIEËN	TOEPASSINGEN
Ontwerpen	<i>ontwerp. engineering</i>	<u>Algemeen:</u> Kostenbesparing, verkorting doorlooptijden, produktdifferentiatie Efficiënte produktlijnen, lean production, 'virtuele fabriek' Geavanceerde productiesystemen (assemblage robots, CNC-machines etc) Integratie logistiek, productie, verkoop <u>Sectoren:</u> metaalprodukten, elektrotechnische industrie, machinebouw, transportmiddelen, bouwmaterialen, kunststofverwerking (etc)
Werktuigbouw	CAD/CAE	
Elektronica	Design for Manufacturing Rapid Prototyping	
Materiaalkunde	Concurrent engineering Mechatronica	
Informatietechnologie	<i>besturing fabricageprocessen</i> Intelligente productiebeheersing en sturing	
Meet-/regeltechniek	Machine vision CNC numerieke besturing	
Procesbesturing	<i>fabricage</i> Materiaalbewerking	
Organisatiekunde	Computer Integrated Manufacturing (CIM) Flexibele productieautomatisering	
Management	Integratie van productie en informatie (PDI, CALS)	
Logistiek	Nanotechnologie	
	<i>onderhoud</i> Diagnosetechnologie	

Kenmerkende technologieën in de centrale bedrijfsfuncties zijn (Tabel 1):

- *Produktontwikkeling*: Rapid prototyping, milieugerichte produktontwikkeling.
- *Ontwerp en engineering*: computer aided design (CAD), computer aided engineering (CAE), design for manufacturing (DFM), Rapid Prototyping, construeren, beproeven.
- *Besturing van de fabricage*: intelligente produktiebeheersing en -besturing, machine vision, CNC numerieke besturing, robotsturing, CIM, CAD/CAM., logistiek, produktieorganisatie, integratie van produktie en logistiek.
- *Fabricage (materiaalbewerking, assemblage)*: materiaalbewerkingstechnieken zoals omvormen en verspanen, CIM, cellular manufacturing, flexibele produktautomatisering, sensoren, vision, logistiek, produktieorganisatie.
- *Onderhoud*: geïntegreerde automatisering, predictief onderhoud, diagnosesystemen.

Het toepassingsterrein omvat met name de metaalproducerende en -verwerkende industrie, rubber- en kunststofverwerking, elektrotechnische industrie, bouwmaterialen, machinebouw en automobielinindustrie. Actuele onderwerpen zijn computer integrated manufacturing (CIM), lean production systemen en flexibele produktie-automatisering. Ook niet-technische aspecten zoals produktie-organisatie en logistiek zijn belangrijk. De recente technologieverkenning Produktietechnologie (Berenschot, 1995) legt de nadruk op de algemene technologie voor ontwerp en (discrete) produktie. Met name betreft het 'vaktechnologieën' die gericht zijn op primaire processen, zoals rapid prototyping (produktontwikkeling) en identificatietechnologie, naast de 'ondersteunende computertechnologie' (DFA, DFM, CAD/CAE, MRP, EDI) en 'managementmethodieken' zoals concurrent engineering en co-development. De conclusie is dat een aantal veelbelovende technologieën nog te weinig worden benut.

1.2 Relatie met andere technologiegebieden

Produktietechnologie is een multidisciplinair gebied. Het is sterk gerelateerd aan informatietechnologie (belangrijk bij ontwerpen en engineering, en bij de besturing van fabricageprocessen inclusief de logistiek) en aan materiaalbewerkingstechnologie. Het is sterk gerelateerd aan niet-technische disciplines zoals produktieorganisatie, management en logistiek en aan conceptuele methoden zoals toegepast bij produktontwikkeling. Bij de nieuwste ontwikkelingen op het gebied van produktietechnologie spelen computers en daaraan gerelateerde technologieën een centrale rol. Toepassingen als CAD, CAM en numerieke besturing zijn reeds ingeburgerd; integratie van produktie, handel, logistiek staat door toepassing van telematica voor de deur.

1.3 Belang van het technologiegebied

Vanwege de relatief hoge loonkosten is voortdurende produktievernieuwing in Nederland een strategische noodzaak. Produktietechnologie, gericht op effectiviteits- en efficiencyverbetering, is dan ook van zeer groot belang voor het producerende bedrijfsleven, met name in essentiële economische clusters zoals de maakindustrie, chemie, bouw, landbouw/voeding, transport en commerciële diensten.

Tabel 2. *Relatie produktietechnologie met andere technologiegebieden*

TECHNOLOGIEGEBIED	SAMENHANG MET PRODUKTIE TECHNOLOGIE
Materiaaltechnologie	Materiaalbewerking vormt de kern van produktietechnologie, naast assemblage
Elektronica	Moderne produktietechnieken zijn onontbeerlijk in de elektronica productie; besturingselektronica onontbeerlijk in de fabricagebesturing
Informatie- en communicatiesystemen	Toepassingen o.a. CAD/CAE, automatisering van productie, numerieke besturing, robotsturing
Luchtvaart- en ruimtevaarttechnologie	Materialen, hechten, vliegtuigproduktietechnologie
Transport- en logistieke Technologie	Produktietechnologie is nauw gerelateerd aan logistiek management; b.v. tracking/tracing

De totale omzet van de belangrijkste bedrijfstakken (basismetaleen, metaalprodukten, machine-industrie, elektronische industrie, transportmiddelen, instrumenten) omvatte in 1992 volgens CBS-gegevens 92 mrd, waarvan 49 mrd export. Het betreft 2500 bedrijven waarvan 650 met meer dan 100 werknemers. Met name gaat het om de metaalproduktenindustrie (16.8 mrd omzet, 5 mrd export), de machine-industrie (17.5 mld omzet, 9 mrd export) en de transportmiddelenindustrie (18 mrd omzet, 11.5 mrd export). Handelsactiviteit maakt een groot deel uit van de omzet; zo bedroeg de invoer van machines in Nederland in 1992 f 35.5 mrd; de uitvoer f 30 mrd. De vier belangrijkste technologie-segmenten in de discrete productie zijn plaatbewerking, verspanen, verbindingstechnologie en oppervlaktebewerkingen. Een breder belang van dit technologiegebied ligt in het verbeteren van de produktiestructuur van economische ketens. Er is een belangrijke kern van innovatieve ondernemingen - in de metaalprodukten- en machine-industrie volgens de Stichting Collectief Onderzoek Metaal ongeveer 500 -; daarnaast is er een grote groep volgers.

2. De onderzoekinfrastructuur

2.1 Actoren in de onderzoekinfrastructuur

2.1.1 Algemeen

Technologievernieuwing op het gebied van produktietechnologie is in Nederland beperkt en ook verspreid over vele deelreinen. In een recent rapport van AT Kearney/Knight Wendling (1994) wordt geconstateerd dat in Nederland ten opzichte van produktontwikkeling te weinig wordt geïnvesteerd in produktie-R&D en dat Nederlandse bedrijven een knelpunt ervaren op het vlak van gekwalificeerd en ervaren technisch personeel.

Het merendeel van het onderzoek naar produktietechnologie wordt uitgevoerd binnen TNO en de technische universiteiten. De technische universiteiten bestrijken een breed scala van terreinen. TNO richt zich op produktontwerp en -vervaardiging, materiaalbewerking rond metalen en kunststoffen, en fabricagetechnieken. Industriële R&D wordt vooral verricht bij de grote producenten, waaronder Philips Centrum voor Fabricage Technologie, Fokker, Hoogovens, NedCar en Stork, maar ook veel door onderzoekscollectieven. Tabel 3 geeft een overzicht. Het belang van goed gestructureerd onderzoek naar produktietechnologie wordt steeds meer onderkend, niet alleen met als doel kennisopbouw maar vooral ook ten behoeve van kennisdoorstroming naar het kleine en middelgrote bedrijfsleven.

2.1.2 Universitair onderzoek

Universiteiten zijn voor wat betreft produktietechnologie actief op uiteenlopende thema's als werkvoorbereiding (Universiteit Twente), modelvorming rond plaatwerk en omvormtechnieken (Universiteit Twente, TU Eindhoven), computer integrated manufacturing en robotsturing (alle Technische Universiteiten, in het bijzonder de TU Delft met haar CIM-centrum/robotlaboratorium), assemblage- en verbindings-technieken, logistiek management (Universiteit Twente, TU Eindhoven) en toepassing van lichte materialen in vliegtuigen (Laboratorium voor Lichtgewicht Constructies TU Delft). CAE-activiteit is in hoofdzaak gelokaliseerd aan de TU Delft (faculteiten Werktuigbouwkunde, Technische Wiskunde en Informatica), onder andere in het CIM-centrum Delft dat zich op industriële dienstverlening (kennisoverdracht, advies, voorstudies, demonstraties) richt. Ook aan de TU Eindhoven bestaat op het terrein van CAE enige activiteit. De *TU Delft* heeft in de faculteit Werktuigbouwkunde een zwaartepunt op het gebied van assemblage (onder andere het Flair-DIAC project, gericht op robotsturing).

Tabel 3. Overzicht van de onderzoekinfrastructuur produktietechnologie

CENTRA	ACCENTEN	FTE's (incl. AIO's)
<u>UNIVERSITAIR</u> Onderzoekschool BETA i.o. (UT, TUE) Universitaire centra: TUD TUE UT	Logistiek, planning, kwaliteitscontrole CIM, CAD/CAM, CAE, robotsturing, assemblage en verbinden, lichte materialen in constructies, lijm-/hechtingstechniek Modelvorming voor plaatbewerking en omvorming, logistiek management Werkvoorbereiding; Modelvorming voor plaatbewerking en omvormen, CAM, productieautomatisering	61 Totaal plm. 200 FTE 60 74 79
<u>TOEGEPAST</u> TNO-Produktcentrum TNO-Metaalinstituut TNO-KRI/BC NLR	Produktontwikkeling, Rapid prototyping, DFMA. Materiaalverwerking, oppervlaktetechnologie, verbindingstechnologie, CAD/CAM, werkvoorbereiding, fabricagetechnologie, assemblage/montage. Kunststoffen produktietechnologie Vliegtuigproduktietechniek	TNO: plm. 200 FTE 110 (totaal) 106 (totaal) 207 (totaal) 900 (totaal)
<u>INDUSTRIËLE R&D</u> Philips CFT Hoogovens Stork Fokker Engineering en advies: Comprimo Stork Berenschot HAS Rietschoten/Houwens CCM IPL	Verbindingstechniek Omvormen Verbindingstechnologie Vliegtuigproduktietechnologie Ontwerpen Machines Advies, logistiek Automatisering Elektronica Mechatronica Logistiek	- - - - Totaal: produktietechnologie algemeen: 500; productieautomatisering: 1000; software, informatica: 1000
<u>OVERIG</u> SCOM NIL IPM PMP	Stimulering collectief onderzoek metaal Kennisbevordering lastechniek Beïnvloeding publiek onderzoek metaal Coördinatie onderzoek metaal/kunststof	

Bron: Onder meer Platform IPV (1991), VSNU (1995), Berenschot (1995)

De *TU Eindhoven* richt zich vooral op logistiek en planning. Er zijn voorts kernen op het gebied van mechanische bewerkingsprocessen en -systemen.

De *Universiteit Twente* kent sterke activiteiten op het gebied van productie en logistiek, productieautomatisering en computer aided procesplanning. Aan de *Universiteit Twente* is voorts een *Centrum voor Productie, Logistiek en Operations Management* (CPLOM) in oprichting, een interfacultair researchinstituut gericht op analyse en besturing van complexe processen in industriële productie- en distributiesystemen. In dat kader is er een onderzoeksprogramma *Integrale Productievernieuwing* opgezet. Het accent ligt daarbij op ontwerp en besturing van de gehele produktieketen (niet op de fabricagetechnologie). Aan deze activiteit is gekoppeld de onderzoeksschool in oprichting *Institute for Business Engineering and Technology Application* (BETA), waarin deelgenomen wordt door de *Universiteit Twente* en de *TU Eindhoven*. Centrale thema's zijn hier productie, logistiek, kwaliteitsbeheersing en beheersing van innovatie. Er wordt getracht om tot een *Centrum voor Integrale Productie Vernieuwing* (CIPV) te komen, gericht op een integrale benadering van het fabricageproces, waarin behalve CPLOM ook UT-onderzoekscholen zoals BETA, CTIT (telematica en informatietechnologie) en CMO (materiaaltechnologie) zijn gebundeld.

Voor wat betreft de FTE-inzet in universitair onderzoek in produktietechnologie bestaan geen actuele gegevens. In het IPV-rapport (1991) werd een raming gemaakt met betrekking tot de onderzoekscapaciteit ingezet op het gebied 'Integrale Productievernieuwing'. Volgens deze raming, die recent bevestigd is door de *Technologieverkenning Produktietechnologie van Berenschot* (1995), ligt het aanbod van de drie Technische Universiteiten rond de 200 mensjaar.¹ De onderzoeksschool BETA (*Business Engineering and Technology Application*) waarin de *Universiteit Twente* en de *TU Eindhoven* deelnemen heeft volgens VSNU-gegevens een capaciteit van ongeveer 60 onderzoekers (20 stafleden en 41 AIO's). Op basis van recente jaarverslaggegevens van universiteiten kan worden aangenomen dat ongeveer 200-240 FTE ingezet is op het gebied van produktietechnologie (exclusief materiaaltechnologie).

2.1.3 Instituten voor toegepast onderzoek (TNO, GTI's)

TNO is een belangrijke partij op het gebied van produktietechnologie. De activiteiten van TNO op het gebied van productievernieuwing hebben een omvang van ongeveer 200 FTE (materiaaltechnologie, produktietechnologie, produktiesystemen). Het TNO Metaalinstituut (TNO-MI) is gericht op materiaalverwerking, fabricagetechnieken

¹ Raming IPV-Kennisinfrastructuur: TU Delft: 57 FTE (met name op het gebied van assemblage); TU Eindhoven: 74 FTE (met name op het gebied logistiek en planning); Universiteit Twente: 68 FTE (computer aided procesplanning). Het aantal FTE's gefinancierd door de derde geldstroom bedroeg in 1991 37.

(waaronder omvormen, verbinden, precisietechnologie, verspanen) en oppervlakte-technologie, voor met name de machineindustrie. TNO Produktcentrum richt zich op mechanisch en industrieel ontwerpen, toepassing van informatietechnologie (CAD, CAM, CAE, PDI/CALS), ontwikkeling van elektronica, produktvervaardiging; met name voor de industriële gebruikers. Tenslotte richt TNO-KRI/BC zich op produktontwikkeling en op produktietechnologieën (spuitgieten, rubbertechnologie, composieten). Onder meer de volgende gebieden worden door TNO bestreken:

- Produktietechnologie (discrete produktie): werkvoorbereiding, verbindingstechnologie, omvormtechniek, verspanen, materiaalbewerking met lasers, assemblage (Metaalinstituut).
- Produktiesystemen: procesbeheersing, produktie- en onderhoudsinformatiesystemen (Metaalinstituut).
- Materiaalontwikkeling en -verwerking met betrekking tot kunststoffen (Kunststof en Rubber Instituut/Branche Centra).
- Mechanisch en industrieel ontwerpen (onder andere Design for Manufacturing, Design for Assembly).
- Produktvervaardiging (modellen, testopstellingen, gereedschapsontwikkeling, kleinserie produkten, dienstverlening op het gebied van testen en keuren).
- CAD/CAM systemen, PDI/CALS (TNO CAD-Centrum, onderdeel van TNO Produktcentrum).
- Ontwerptechnieken en produktontwikkeling. In het TNO Produktcentrum wordt gewerkt aan het maken van proefmodellen en prototypen, met name via technieken als Rapid Prototyping en Design for Manufacturing.

Het rapport 'IPV-Kennisinfrastructuur' van het Platform Integrale Produktievernieuwing (1991) constateerde voor wat betreft TNO een onvoldoende mate van aansluiting van de activiteiten met de marktbehoefte, gepaard gaande met een marktpositie van TNO die te wensen overliet. Inmiddels zijn er veranderingen in gang gezet. Zo worden per 1/1/1996 TNO-KRI/BC, TNO Metaalinstituut en TNO Produktcentrum gebundeld in een nieuw instituut TNO Industrie waarbinnen technologieën op het gebied van produktontwikkeling, materialen, ontwerpen, verpakken, materiaalbewerking, fabricage worden samengebracht.

Voorts vindt bij het NLR belangrijk onderzoek plaats op het gebied van vliegtuigproduktietechniek (zie Hoofdstuk 13).

2.1.4 Industriële R&D

Industriële R&D op het gebied van produktietechnologie vindt met name bij de grote toepassers (materiaalproducenten en machinefabrikanten) plaats. Het gaat vooral om Philips CFT (Centrum voor Fabricage Technologie), Hoogovens, DSM, NedCar, Stork

(Stork FDO op het gebied van materiaalaspecten van procesinstallaties, Stork Demtec voor consultancy rond verspanen, lassen, industriële automatisering). De industriële R&D vindt veelal uitsluitend plaats ten dienste van het eigen bedrijf. Uitzondering is Philips CFT dat ook extern diensten aanbiedt.

Op het gebied van produktietechnologie kan eigenlijk moeilijk van een 'aanbiedend bedrijfsleven' worden gesproken. Het gaat immers vooral om het aanbieden van produktietechnologische oplossingen. Technologievernieuwing voor kleinere bedrijven komt behalve vanuit de publieke kennisinfrastructuur (TNO, technische universiteiten) en advies- en ontwerpbureaus, vanuit het gebruikende bedrijfsleven zelf als toeleveranciers van machines, grondstoffen, en produktiehelpmiddelen zoals matrijzen. Voorbeelden:

- Omvormen, bijvoorbeeld plaatbewerken, onder andere Hoogovens, Scania, DAF, Holec.
- Verspanen: Philips Machinefabrieken, Fokker Aircraft, Stork Demtec, Koning Machinefabriek, AMKO, Hilton.
- Verbinden: op het gebied van lastechnologie bijvoorbeeld Grasso, Volvo Car, Koninklijke Schelde Groep, Grootint, De Laval Stork, ESAB, Lincoln, Fokker Special Products, Koni, Polynorm. Op het gebied van bijzondere (met name micro) verbindingstechnieken bijvoorbeeld Philips CFT, Vitatron, Texas Instruments, Philips, Delft Instruments, Weld Equip.

Op het gebied van produktie van standaardmachines is in Nederland nauwelijks activiteit. Een tiental bedrijven is actief in segmenten zoals draaibanken, lasmachines, freesmachines, spuitgieten, onder andere Hembrug, Philips (SMD printplaatmontage) en Stork Plastics Machinery (kunststofverwerking).

Op het gebied van produktietechnologie zijn voorts een aantal *advies- en ingenieursbureaus* actief. Tot deze categorie behoren naast algemene advies- en ingenieursbureaus ook bedrijven die op het gebied van produktieautomatisering actief zijn en software- en informaticabedrijven. Voorbeelden zijn Stamicabon (DSM), Comprimo (overgenomen door Stork), Berenschot, Centrum voor Produktie Automatisering, HAS, Locamation, Van Rietschoten en Houwens, CCM (mechatronica). In de Technologieverkenning Produktietechnologie (1995) wordt door Berenschot het aanbod vanuit ingenieursbureaus voor zover het de algemene produktietechnologie, computertechniek en managementmethodieken betreft - dus exclusief de specifieke produktietechnologie zoals lijmen en lassen - op ongeveer 500 mensjaren geschat; het aanbod vanuit produktieautomatiseringsbedrijven (exclusief machineleveranciers) op 1000 mensjaren en het aanbod vanuit software- en informaticabedrijven eveneens op rond 1000 mensjaren.

2.1.5 Overig (brancheorganisaties, intermediairs)

Er zijn diverse, qua aard en doelstelling uiteenlopende, gremia die zich inzetten voor het toegankelijk maken van produktietechnologie voor het bedrijfsleven zoals:

- Stichting voor Collectief Onderzoek Metaal (SCOM). De SCOM is een onafhankelijk collectief dat zich richt op gemeenschappelijke verkenning, ontwikkeling en toepasbaar maken van technologie.
- Nederlands Instituut voor Lastechniek (NIL). De NIL is een stichting, gericht op bevorderen van kennis en het toepassen van de lastechniek en aanverwante technieken, naast collectieve onderzoeksprogrammering en voorlichting. De NIL werkt samen met het bedrijfsleven en TNO.
- Projectbureau voor onderzoek aan Materialen en Produktietechnieken (PMP). Het PMP beheert en coördineert onderzoeks- en kennisoverdrachtsprojecten ten behoeve van collectiviteiten in de metaal- en kunststofverwerkende industrie in ruime zin.
- Vereniging voor Produktietechnologie (VPT). Doelstelling is verzamelen van kennis over ontwerp- en produktietechnieken en toepasbaar maken voor producerende bedrijven, en opzetten en begeleiden van collectieve projecten. De VPT coördineert een werkgroep van bedrijven op het gebied van Rapid prototyping (maken van zachte matrijzen).
- Nederlandse Vereniging Algemene Toelevering (NEVAT). Deze is actief op terreinen als elektronica, plaatbewerking, precisietechnologie.
- Werkgeversverenigingen: Vereniging FME; Metaalunie. Activiteiten zoals het produktiviteitscentrum Metaal en branche technologische centra op de terreinen Mechatronica en Metaal. De Vereniging FME besteedt sectorspecifieke aandacht aan proces- en fabrieksautomatisering via de branchevereniging Holland Elektronika (sectie Industriële Automatisering) .
- Industrieel Platform Metalen (IPM) met trekkers Hoogovens, Fokker, Philips. Doelstelling van het IPM is het beïnvloeden van publiek onderzoek vanuit de visie van grote metaalbedrijven. De nadruk ligt op het metaalonderzoek.
- Het Aluminium Centrum.

Het rapport IPV-Kennisinfrastructuur (1991) constateerde nog een tekortschietende rol van de branches (de vraagzijde) die een sterkere rol zouden moeten spelen bij de formulering van onderzoeksbehoeften. Met name de SCOM vervult hier momenteel een belangrijke rol. Tevens zijn de laatste jaren tal van netwerken gevormd (zie onder).

2.1.6 Stimulering van wetenschap en technologie

Het terrein van de produktietechnologie heeft reeds geruime tijd veel aandacht vanuit de beleidskant gehad (zie ook 3.).

Momenteel loopt de tweede fase van het *IOP Metalen* (1994-1998). Dit programma is in 1988 van start gegaan met een omvang van 32 Mf. In de eerste fase van dit IOP (1988-1994) was de aandacht gericht op plaatbewerking, oppervlaktetechnologie, verbindingstechnieken en poedermetallurgie. Het accent in de tweede tranche ligt op plaatbewerking met deelonderwerpen als mechanische scheidingsprocessen van plaatmateriaal, vervormen en walsen, verbinden/lijmen, en meer geavanceerde vervormingsprocessen van plaatmateriaal (rubberpersen). Deelnemers aan het IOP Metalen zijn onder meer de Vereniging FME, Fokker, FOM-AMOLF, Hoogovens, TNO Metaalinstituut (met name op gebieden als omvormen, verlasbaarheid van metalen, oppervlaktebewerking), NLR, het Projectbureau Materialen en Produktietechnologie (PMP), het NIL en de Technische Universiteiten

Van belang is ook het *IOP Oppervlaktetechnologie*, waarvoor voor de periode 1993-1997 15 Mf beschikbaar is. de aandachtsgebieden daarin zijn ondergrond staal (constructieve toepassingen, toepassingen in de machine-industrie, gereedschapsstaal voor verspanende en omvormende bewerkingen), ondergrond aluminium (toepassingen in de bouw- en transportsector), en ondergrond kunststof (modificatie van elektrische en optische eigenschappen). Aan dit IOP nemen deel de TU's, RUG, TNO, ECN, en bedrijven zoals Fokker, DSM, Hunter Douglas, Océ, Philips, Stork-FDO.

Op *Europees niveau* zijn in het kader van kennisopbouw een aantal bedrijven en, in sterke mate, TNO betrokken bij projecten in het kader van Brite-Euram, CRAFT en Eureka.

Onduidelijk is welk budget in het kader van STW-projecten ingezet is op het specifieke gebied van produktietechnologie. Op het gebied van materialen werd voor de periode 1993/1994 10.8 Mf ingezet.

2.2 Relatienetwerken

Tal van relatienetwerken zijn ontstaan rond het IOP Metalen, IOP Oppervlaktetechnologie, in Europese programma's zoals Brite-Euram, en vanuit intermediaire koepelorganisaties zoals de Stichting voor Collectief Onderzoek in de Metaal (SCOM), het Nederlands Instituut voor lastechniek (NIL) en het Industrieel Platform Metalen (IPM). Tabel 4 toont een aantal belangrijke relatienetwerken. Belangrijke spelers zijn steeds TNO, een beperkt aantal grote industriële bedrijven en intermediaire partijen op het gebied van collectief onderzoek.

Tabel 4. Relatienetwerken produktietechnologie

KADER	RELATIENETWERK
IOP Metalen	Trekkers: FME, Fokker, Hoogovens, TNO-Metaalinstituut Projecten onder andere: - TNO Metaalinstituut - TU Eindhoven - TNO Metaalinstituut - NIL - TNO Metaalinstituut -FME - UT, TUE, TUD, TNO Metaalinstituut (scheidingstechnieken)
IOP Oppervlaktetechnologie	TU's, RUG, ECN, TNO, DSM, Fokker Aircraft, Hoogovens, Hunter Douglas, AD Chemicals, Océ, Reynolds Aluminium Holland, Signa Coatings, Stork FDO, Vacumetal, VOM
Nederlands Instituut Lastechniek (NIL)	Participanten: plm. 150 bedrijven, TNO, universiteiten, hogescholen. Diverse collectieve onderzoeksactiviteiten (o.a. verbindingstechniek).
Projectbureau Materialen en Produktietechnieken (PMP)	Aluminium Centrum, Bond voor Materialenkennis, Nederlandse Vereniging voor Kwaliteitstoezicht, Inspectie en Niet-destructieve Techniek, Nederlands Corrosie Centrum, NIL, FME
Europese projecten BRITE, CRAFT, Eureka	Enkele bedrijven en TNO
SCOM	Collectief onderzoek metaal
Industrieel Platform Metalen	Industriële bedrijven metaaltechnologie (trekkers: Hoogovens, Fokker, Philips)

3. Evaluatie onderzoekinfrastructuur

Produktietechnologie staat reeds geruime tijd in de aandacht. In 1988 werd door de RAWB reeds gesignaleerd dat de assemblageindustrie behoefte heeft aan moderne werktuigbouwkundigen die ingezet kunnen worden voor nieuwe industriële produktiesystemen. In zowel de rapportage van het Platform IPV (1991) als in de Startnotitie Produktietechnologie (1994) van de Overleg Commissie Verkenningen wordt geconstateerd dat onderzoeksgroepen bij universiteiten, technologische instituten en de commerciële infrastructuur een meer complementaire rol moeten vervullen in tegenstelling tot de huidige op concurrentie of vermindering van interactie gebaseerde rol. De in opdracht van EZ door Berenschot uitgevoerde verkenning Produktietechnologie (1995) onderstreept dit nogmaals.

Technologievernieuwing op het gebied van de produktietechnologie is in Nederland beperkt en ook verspreid over vele deelterreinen. Het Platform Integrale Produktie Vernieuwing heeft in haar rapport IPV-kennisinfrastructuur (1991) een evaluatie gegeven van de kennisinfrastructuur. Met name betrof het de werking ten opzichte van het midden- en kleinbedrijf. Het Industrieel Platform Metalen (IPM) heeft meer recent vanuit industriële optiek leemten in het metaalonderzoek gesignaleerd. De recente verkenning Produktietechnologie (Berenschot, 1994) concludeert - analoog aan IPV-Kennisinfrastructuur - dat de aanbodkant zich vooral op invoering en ondersteuning richt en dat de afstemming tussen de componenten van de kennisinfrastructuur nog kan worden verbeterd, met name op het punt van te grote overlap tussen onderzoek en ondersteuning. Het beeld op grond van genoemde studies van de laatste jaren is dat de kennisinfrastructuur relatief gefragmenteerd is, en dat het draagvlak in de industrie zwak is (te weinig R&D-investeringen). Op het gebied van produktietechnologie is de Nederlandse kennisinfrastructuur blijkens genoemde rapporten redelijk veelzijdig, maar nog niet voldoende toegerust op de functie van diffusie van kennis naar de op zich zeer omvangrijke doelgroep in het MKB. Uit het rapport 'Integrale produktievernieuwing' (1991) komen belangrijke manco's naar voren zoals:

- Niet goed functioneren van de belangrijkste aanbieder TNO: niet voldoende marktgericht, te weinig aansluiting met het bedrijfsleven. Aan dit manco is echter door TNO sinds 1991 veel aandacht besteed, culminerend in het samenvoegen van MI, KRI/BC en Produkticentrum in TNO Industrie per 1/1/1996.
- Onvoldoende samenhang van de dienstverlening van de non-profit aanbieders: onvoldoende herkenbaar in de markt.
- Onvoldoende herkenbare vraag vanuit het bedrijfsleven zelf: onvoldoende interesse van het MKB via de branche organisaties.
- Geringe omvang van de non-profit sector.

Geconstateerd wordt dat zeer vele non-profit organisaties zich op enigerlei wijze bezighouden met dienstverlening op het gebied van IPV. De voornaamste zijn TNO en de universiteiten. De marktomvang van het aanbod van de non-profit aanbieders buiten TNO wordt echter als gering beoordeeld.

Inhoudelijk gezien is de indruk dat er in Nederland eigenlijk relatief weinig aandacht (vergeleken met andere facetten van produktietechnologie zoals besturing en fabricage) wordt besteed aan ontwerp en engineering. Het onderzoek is ook niet direct toepassingsgericht. Het accent ligt op metaalbewerking, een facet op het kruispunt van materiaaltechnologie en produktietechnologie. Ook in een recent door EZ uitgebracht rapport (AT Kearney/Knight Wendling, 1994) wordt geconcludeerd dat in Nederland te weinig en over teveel deelterreinen verspreid wordt geïnvesteerd in produktie-R&D (vergeleken met produktontwikkeling). Knelpunten die door Nederlandse bedrijven worden ervaren liggen vooral op het vlak van voldoende gekwalificeerd en ervaren technisch opgeleid personeel. Aanbevolen wordt om bedrijven meer mogelijkheden te

geven om onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma's van kennisinstellingen te beïnvloeden door deze instellingen afhankelijker te maken van projectfinanciering.

Bronnen

A.T. Kearney, Knight Wendling, *'Producers in Nederland'. Analyse van de productieperformance van de Nederlandse maakindustrie'*. In opdracht van het ministerie van Economische Zaken (1994).

Berenschot, *'Technologieverkenning Produktietechnologie'*. In opdracht van het ministerie van Economische Zaken (1995).

Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie, *'Rahmenkonzept "Produktion 2000"; 1995-1999; Strategien für die industrielle Produktion im 21. Jahrhundert'* (1995).

Beleidsrapportage Adviesgroep Materialen, *'Materiaal om mee te werken'* (1993)

Eindrapportage Platform Integrale Productievernieuwing (1991).

Jaarverslagen universiteiten 1992, 1993

Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen, *'Wetenschapsbudget 1995'* (1994).

Stichting Industrieel Platform Metalen, *'Leemten in het metaalonderzoek in Nederland; witte vlekken'* (1994)

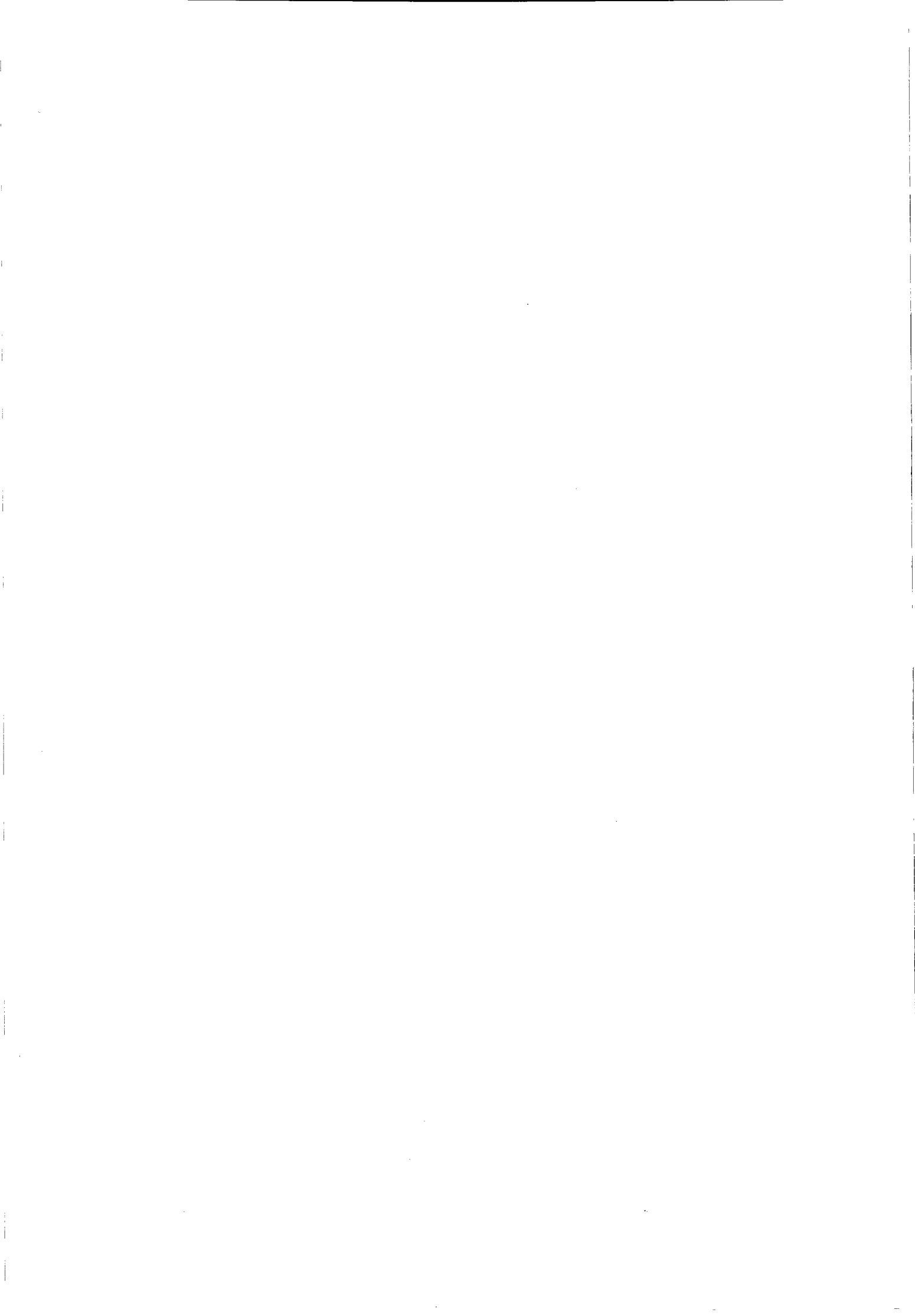
Stichting Industrieel Platform Metalen, *'Invulling Leemten in het metaalonderzoek in Nederland'* (1994)

Senter, *'TOP Metalen. Meerjarenplan 1994-1998'* (1994).

TNO-STB, *'Beoordeling van de geschiktheid van een aantal technologiegebieden voor technologiestimulering'*. Auteur: H. Schaffers (1994).

TNO-STB, *'Technologie en Economische Structuur in de Metaalprodukten en Machine-industrie in Nederland'*. Auteurs: J. Kuiper, B. Alders, F. Prakke (1993).

VSNU, *'BIOS 1994. Research Schools in the Netherlands'* (1994).



14. Energietechnologie



1. Omschrijving technologiegebied

1.1 Technologiegebied, disciplines

Het gebied van energietechnologie richt zich op activiteiten zoals exploratie en winning (niet alleen met betrekking tot olie en gas maar ook het genereren van duurzame energie), de energievoorziening (productie, opslag, transmissie, distributie), en energiebesparing (inbegrepen het verbeteren van het rendement van energie-opwekking en -verbruik). Het gebied is sterk interdisciplinair; het aantal en de diversiteit van de onderzoeksdisciplines die hier een rol spelen is groot. Het gebied energietechnologie is sterk verweven met milieu- en procestechnologie, hetgeen duidelijk wordt in thema's zoals duurzame ontwikkeling en energiebesparing. Subtechnologieën zoals procesintegratie en energieconversie spelen daarbij een belangrijke rol (zie 1.2). Ook is er een duidelijke relatie met transporttechnologie (motoren, power supply).

Het gebied energietechnologie kan onderscheiden worden in een aantal segmenten. Als indelingscriterium kiezen we de keten van *processen* (winning, productie, opslag, conversie, verbruik etc) rond energiebronnen (zoals olie, gas, kolen, kernenergie en duurzame bronnen). We onderscheiden 3 procesgerichte groepen; daarnaast onderscheiden we *systeem- en apparaatgerichte* technologieën.

- *Exploratie en winning* (olie, gas, kolen). Ontwikkelingen spelen zich af rond exploratietechnologie (on/off shore), procestechnologie, geologische/seismische technieken, transport en opslagsystemen (aardgas), verbrandings- en vergassingstechnologie.
- *Energieproductie, -opslag en -distributie* (elektriciteit, olie, kolen, gas). Thema's zijn verbranding/vergassing, vermogenselektronica (elektriciteitstransport en -distributie), energieopslag (electrical storage), hoge temperatuur supergeleiding, besturingstechnologie, compacte energiebronnen, reactoren (kernenergie, kernfusie), brandstofcellen, gasturbines, nucleaire reactoren, batterijen.
- *Energieconversie en -gebruik*. Onderzoeksthema's zijn duurzame bronnen, gebruik van energie, proces- en besturingstechnologie, fotovoltaïsche energiebronnen, brandstofcellen, procesintegratie.
- *Energiezuinige systemen en apparaten*. Technologische thema's zijn hier zuinige, high-power motoren, elektrische motoren en aandrijvingen, alternatieve brandstofmotoren, fotovoltaïsche energiegeneratie, energiezuinig ontwerpen.

Onderstaande tabel geeft een indruk van de kerntechnologieën en toepassingen, en de ondersteunende disciplines en 'toeleverende' technologieën.

Tabel 1. *Energietechnologie: disciplines, technologieën, toepassingen*

DISCIPLINES	TECHNOLOGIEËN	TOEPASSINGEN
thermodynamica materiaalkunde oppervlaktetechnologie supergeleiding telecommunicatie microsystemen modellering en simulatie processtechnologie procesbeheersing apparaatkunde geologie neurale netwerken herkenningstechnologie reactortechnologie transportstechnologie ontwerpen systems engineering	<p><u>Exploratie/winning</u>: processtechnologie, verbranding, vergassing etc.</p> <p><u>Productie, opslag, distributie</u>: verbranding, vergassing, vermogenselektronica, compacte energiebronnen, gasturbines, reactoren, brandstofcellen, batterijen.</p> <p><u>Besparing en gebruik</u>: proces- en besturingstechnologie, fotonvoltaïsche conversie, brandstofcellen, procesintegratie</p> <p><u>Systemen en apparaten</u>: high power motoren, brandstofcellen, fotonvoltaïsche energiegeneratie, elektrische motoren en aandrijvingen, alternatieve brandstofmotoren, ontwerpstechnologieën</p>	<p>Ontwikkeling marginale velden; verbeterd rendement</p> <p>Efficiënte energie-opwekings en -opslagsystemen</p> <p>Energiebesparing in industrie, bouw, huishoudens, alternatieve energiebronnen</p> <p>Zuinige motoren; Efficiënte conversieprocessen; Alternatieve energiebronnen; Elektrische voertuigen</p>

Bron: Deels gebaseerd op Interduct (1994); zie ook *National Critical Technologies Report* (1995).

1.2 Samenhang met andere technologiegebieden

Energietechnologie is in dit rapport zeer breed opgevat door processen te onderscheiden waarin bewerkingen rond energie plaatsvinden. Hierdoor is energietechnologie gerelateerd aan tal van economische activiteiten in andere sectoren zoals transport, milieu, informatie en communicatie. Tabel 2 geeft een overzicht. Het meest zichtbaar is de relatie met *transportstechnologie*. Rond transportsystemen spelen zich ontwikkelingen af op gebieden zoals alternatieve motoren, batterijen voor elektrische auto's, en brandstofcellen. Zorg voor energie-efficiency en energiebesparing vormt voorts een belangrijke doelstelling in de *milieutechnologie* (schone - elektrische - auto, duurzame energiebronnen, efficiënte energieopslag in batterijen, optimalisering van energieverbruik, procesgeïntegreerde technologieën, brandstofcellen). Energie is voorts gerelateerd aan technologieën die een voorwaardescheppende functie vervullen, zoals *materiaalstechnologie* (materialen voor geavanceerde motoren en voor energieopslag in batterijen), *elektronica* (power electronics, solid state switches), *computational modelling* (simulatie van energiesystemen), en informatietechnologie (monitoring van energieverbruik).

Tabel 2. Relaties Energietechnologie met andere besproken technologiegebieden

TECHNOLOGIEGEBIED	SAMENHANG MET ENERGIETECHNOLOGIE
Materiaaltechnologie	Keramische materialen; Supergeleidende materialen
Procestecnologie	Verbrandings-/vergassingstechnologie; procesintegratie
Elektronica	Power electronics, solid state switches
Katalyse	Katalyse van verbranding/vergassing
Informatie- en communicatietechnologie	Energiebeheersing in gebouwen (sensoren, gedecentraliseerde informatiesystemen); Power supplies voor radarsystemen
Computational modelling & Simulation	Modelleren en simuleren van energiesystemen
Milieutechnologie	Procesintegratie; Duurzame energiebronnen (zon, wind); Alternatieve energiebronnen; milieuvriendelijke batterijen; Brandstofcellen
Transporttechnologie en logistiek	Geavanceerde motoren; elektrische voertuigen; batterijen en brandstofcellen voor voertuigen
Engineering- en produktietechnologie	Materiaalbewerking (t.b.v. turbines, motoren e.d.)
Lucht- en ruimtevaarttechnologie	Energiebesparing; power supplies; batterijen

1.3 Belang van het technologiegebied

Op grond van maatschappelijke en economische ontwikkelingen wordt er een toename van de vraag naar energie verwacht. Hierin moet voorzien worden via het reeds geïnstalleerde vermogen, de import en eventueel nieuw vermogen. En dat binnen een raamwerk van milieu-eisen en verschuivingen in energiegebruik. Hiertoe is op een groot aantal terreinen behoefte aan onderzoek. In dit onderzoek zal bovendien rekening moeten worden gehouden met een aantal waarschijnlijke ontwikkelingen, zoals organisatorische veranderingen binnen de (Europese) elektriciteitswereld, een verschuiving van centraal naar decentraal opgesteld vermogen, de elektrische aandrijving in transportmiddelen, de 'elektrische maatschappij', en de toepassing van elektrotechnologie in de industrie.

Veelbelovend onderzoek speelt op tal van terreinen. Een voorbeeld is opwekking van duurzame energie door middel van brandstofcellen en waterstof. Een andere voorbeeld van een belangrijke ontwikkeling is *electrical storage*. Dit heeft betrekking op de elektrochemische opslag van energie in de vorm van oplaadbare lithium batterijen, een vliegwiel of een condensator. Technologisch gezien gaat het daarbij om snellere laadtechnieken, het ontwikkelen van polymere elektrolyten en elektromaterialen, en

nieuwe fabricagetechnieken. Toepassing daarvan ligt in de ontwikkeling van elektrisch aangedreven voertuigen. Belangrijke technologieën liggen ook op het terrein van conversie van brandstofmotoren naar elektromotoren. Deze trend is niet alleen van belang voor de petrochemische industrie maar ook voor alle energiegebruikende productie en huishoudens.

In Nederland zijn relatief veel energie-intensieve sectoren aanwezig (omzet 100 mrd), zoals de basismetaal, de basischemie, de petrochemie en de glastuinbouw. Deze sectoren zijn macro-economisch gezien van groot belang voor Nederland, door hun grote bijdrage aan werkgelegenheid, bruto nationaal produkt en exportsaldo. Energietechnologie is van groot belang in de economische clusters Energie (exploratie, winning, productie, distributie, besparing), Transport/havens (energieverbruikende verkeers- en vervoerssystemen), Bouw, Chemie en Maakindustrie. Maar ook voor de clusters die toeleveren aan de Nederlandse energiesector is de energietechnologie als technologiegebied van groot belang. Voor een groot aantal produktgroepen die geleverd worden aan de energiesector is hoogwaardige kennis van de energietechnologie van groot belang. De produktgroepen die vooral door Nederlandse bedrijven met Nederlandse kennis geleverd worden, zijn op het gebied van conventionele energie gasturbinemeters, off shore installatietechnieken, ultracentrifuge, rookgasreiniging, schakelsystemen/trafo's/kabels. De totale binnenlandse bestedingen in 1992 aan deze produktgroepen bedroegen f 785 mln. Op het gebied van duurzame energie en energiebesparing zijn andere produktgroepen van belang: warmte/kracht koppeling (WKK), hoog rendement CV ketels, zonneboilers, windturbines en energiezuinige verlichtingssystemen. De totale Nederlandse bestedingen aan deze produktgroepen bedroegen f 1,2 miljard in 1992.

Ook voor het thema duurzame ontwikkeling is energietechnologie van groot belang. De Nota Energiebesparing richt zich op een efficiency-verbetering van ruim 2% per jaar. De uitgaven op het gebied van energiebesparing en duurzame energie van de energiebedrijven en de Rijksoverheid bedragen in totaal f 875 mln per jaar. Om de beleidsdoelstelling te halen is behoefte aan verdere ontwikkeling van de energietechnologie. Op verschillende terreinen zal de ontwikkeling verder gebracht moeten worden, teneinde op middellange en lange termijn (na 2000) technieken beschikbaar te hebben die kunnen bijdragen aan verdere efficiency-verbetering en energiebesparing. Het MAP 2 (Milieu Actie Plan) bevat voor de energiedistributiesector maatregelen op het gebied van uitbreiding van warmtekracht tot een vermogen van 5000 MW in de periode 1990-2000 en het realiseren van duurzame-energie-opties tot 3% van het elektriciteitsverbruik per distributiebedrijf (windenergie, biomassa, waterkracht, zonne-energie, etc.). De milieuwetgeving in Nederland vormt dan ook een sterke prikkel voor het verder ontwikkelen van de energietechnologie.

2. De onderzoekinfrastructuur

2.1 Actoren in de onderzoekinfrastructuur

2.1.1 Algemeen

De aanbodzijde van het Nederlandse energie-onderzoek is reeds uitgebreid beschreven in Interduct (1994), dat daarbij van een door M+I uitgevoerd onderzoek gebruik heeft gemaakt.¹ Hoewel dit onderzoek op deelaspecten onvolledig is en de kwantitatieve gegevens met voorzichtigheid moeten worden geïnterpreteerd, wordt hiervan in het onderstaande gebruik gemaakt.

De belangrijkste aanbieders van *publiek energie-onderzoek* zijn technologische instituten: ECN, TNO, NWO-instituten (met name FOM Instituut voor Plasmafysica), de technische universiteiten (TUD, UT, TUE), en de overige universiteiten: RUU, LUW, KUN, UVA. Belangrijke *industriële researchlaboratoria* zijn Gasunie Research, Gastec, KEMA, SEP, Kon. Shell Exploratie- en Produktielaboratorium, Kon. Shell Laboratorium Amsterdam.

Enkele accenten in het energie-onderzoek zijn de volgende. De TU's dekken vrijwel het gehele energie-onderzoek af (besparing, olie en gas, steenkool, duurzame energiebronnen, kernenergie, elektriciteit), met name betreft het echter elektriciteit, duurzame energiebronnen en energiebesparing. Ook thema's zoals procesintegratie, energiemanagement en energiezuinig ontwerpen zijn zeer belangrijk. Industriële R&D-laboratoria (niet alleen in de procesindustrie maar ook in de papier- en kartonindustrie, de voedings- en genotmiddelenindustrie, de apparatenbouw en de landbouw) zijn met name actief op het vlak van efficiënt energieverbruik. Her en der worden interessante niches bewerkt. Voorbeelden: aan vliegtuigen wordt in Nederland sinds een aantal jaren ontwikkelingswerk gedaan door CCM. Onderzoek naar oplaadbare batterijen is erg versnipperd over verschillende onderzoeksinstituten (TNO-WT, TNO-MEP, ECN) en een aantal grote bedrijven (Philips, DSM, Norit).

¹ Recent is een actualisering van de M+I studie verschenen (M+I (1995)). Hoewel ook deze studie een aantal lacunes bevat zijn de gegevens voor zover bruikbaar meegenomen.

Tabel 3. Overzicht van de onderzoekinfrastructuur rond energietechnologie

CENTRA	ACCENTEN	FTE'S (incl. AIO's)
<u>UNIVERSITAIR</u> Onderzoekscholen: GEM i.o. (TUD) CTG (TUD) Universitaire centra: TUD TUE UT LUW UU, KUN RUG, UvA	Procesintegratie, duurzame energiebronnen en grondstoffen Fossiele brandstoffen, exploratie Energievoorziening, brandstofcellen, besparing, exploratie (olie, gas, steenkool), duurzame bronnen, kernenergie, elektriciteit Besparing, duurzame bronnen, elektriciteit Besparing, steenkool, elektriciteit Besparing Duurzame bronnen Systeemanalyse	110 60 Totaal: 200 (budget 70 Mf incl. 2-e en 3-e geldstroom)
<u>FUNDAMENTEEL</u> FOM-Plasmafysica	Thermonucleaire energie	20 (budget 5 Mf)
<u>TOEGEPAST</u> TNO-MEP TNO-GG TNO-WT ECN	Energiegebruik, -besparing Exploratie/winning Brandstofmotoren Nucleaire energie, fossiele brandstoffen, duurzame energie	250 (budget 50 Mf) - - 700 (budget 140 Mf)
<u>INDUSTRIE</u> Gasunie, Gastec, KEMA, Shell, NAM Bureaus (Comprimo, Gasunie, Heidemij etc)	Winning en distributie, conversie, elektriciteit, elektriciteitsdistributie, energiegebruik Engineering, advies	700 (budget 250 Mf) 150 (budget 36 Mf)
<u>OVERIG</u> Novem	Uitvoeringsorganisatie voor overheidsbeleid	Budget 150 Mf (1993)

Bron: O.a. op basis van Interduct (1994), M+I (1995). FTE's zijn inschattingen.

De binnenlandse markt voor onderzoek, ontwikkeling en advisering bedraagt jaarlijks ongeveer 760 mln (Bron: M+I, 1995). Hiervan is 25-30 % gericht op vermindering van het energieverbruik. De budgetten van de belangrijkste typen R&D-centra en de prioritaire thema's liggen als volgt.

Het *universitaire energie-onderzoek* had in 1994 volgens M+I (1995) een omvang van ongeveer 70 mln gulden hetgeen met ongeveer 200 FTE overeen komt. Van de 70 mln

was bijna 80 %, plm. 55 Mf, afkomstig uit de eerste geldstroom waarbij het met name om de TUD en de TUE gaat.

Aan de GTI's (ECN), FOM en TNO tezamen werd in 1994 ongeveer 170 Mf besteed aan energie-onderzoek. Hierbij lagen de prioriteiten vooral bij energiebesparing (36 mln) en fossiele brandstoffen (11 mln). Door het ECN wordt plm. 120 Mf besteed aan onderzoek. Met name gaat het om onderzoek naar nucleaire energie (43 mln) en fossiele brandstoffen (45 mln) en daarnaast om duurzame energiebronnen (15 Mf). TNO heeft momenteel een omzet op het gebied van energie-onderzoek van plm. 50 mln (250 FTE), daarbij gaat het vooral om energiebesparing (33 Mf).

In de *energievoorzieningssector* (Gasunie, Gastec, KEMA, NAM) werd in 1994 300 mln gulden aan energie-onderzoek en - ontwikkeling besteed (inclusief het KV-STEG demonstratieproject van Demkolec). Hierbij besteden Gasunie en Gastec 30 mln, Demkolec 150 mln, KEMA 60 mln en SEP 60 mln. Energie-onderzoek bij KEMA betreft met name het gebied van elektriciteitsdistributie, fossiele energie en milieu/energie onderzoek.

Tabel 4. Bestedingen energie-onderzoek per thema (IAE) en per type onderzoekcentra

THEMA	Universiteiten (totaal)	TNO, GTI's, FOM	Energiesector	Industrie
Energiebesparing	5.7	36.2	25.5	174.0
Olie en gas	10.9	10.9	18.6	-
Kolen	8.0	5.7	15.0	-
Duurzame bronnen	15.9	13.2	12.4	9.2
Kernenergie	2.8	64.4	47.3	19.6
Elektriciteit, opslag	18.6	34.1	176.1	47.9
Systeemanalyse	7.9	7.2	3.2	-
TOTAAL	69.8	171.7	298.1	250.0

Bron: Samengesteld op basis van M+I (1995)

2.1.2 Universitair onderzoek

De omvang van het universitaire energie-onderzoek bedraagt ongeveer 70 mln per jaar (inclusief derde geldstroom). Het betreft met name de TU's, de LUW, UU, UVA, KUN, RUG. Vooral de TU Delft bestrijkt een breed scala van onderzoeksonder-

werpen. Afgezien van de onderzoekschool i.o. GEM (Grondstoffen, Energie, Milieu) en het op exploratie en geologische karakterisering gerichte Centrum voor Technische Geowetenschappen is er geen aparte onderzoekschool of faculteit voor energietechnologie in Nederland. Wel is er aan de TU Delft de faculteit voor Mijnbouw en Petroleumwinning en het Interfacultair Reactor Instituut aan de TU Delft en zijn er in de TU's specifieke leerstoelen en laboratoria op energie-onderzoekgebied. Ook het onderzoek van onder meer de onderzoeksschool procestechnologie (OSPT), de onderzoeksschool NIOK (katalyse) en de J.M. Burgersschool voor Stromingsleer is van belang voor het terrein energietechnologie. Lacune-gebieden op universitair niveau zijn onder meer energieapparaten en warmtekracht. Voor wat betreft kernfusie is destijds bewust besloten thermonucleair onderzoek bij FOM Plasmafysica onder te brengen.

2.1.3 Fundamenteel onderzoek (FOM)

Het FOM instituut voor Plasmafysica voert thermonucleair onderzoek uit (kernfusie). Ook door FOM-Amolf wordt, evenwel in zeer beperkte mate, energie-gerelateerd onderzoek uitgevoerd.

2.1.4 Instituten voor toegepast onderzoek (TNO, GTI's)

Het Energie-onderzoek Centrum Nederland heeft activiteiten op het gebied van nucleaire energie en - na de recente bezuinigingen in bescheiden mate - kernfusie, fossiele brandstoffen (met name efficiënte en schone conversie van aardgas en kolen), stralingstechnologie, duurzame energie (zonne-energie door fotonvoltaïsche conversie van zonlicht in elektriciteit, windenergie en biomassa) en energiebeleidsstudies. De omzet van ECN over 1994 bedroeg ruim 140 Mf, waarvan 61 Mf basis- en doelfinancieringsprojecten naast ruim 80 Mf aan opdrachten. Deze opdrachten zijn inclusief 13 Mf aan Novem-projecten en 30 Mf EU-projecten, waaronder exploitatie van de HFR en Euratom-programma's (hieraan draagt de Nederlandse overheid plm. 20 Mf bij). Bij ECN behoort ook een vestiging van het Europese Joint Research Centre. ECN is het belangrijkste Nederlandse technologiecentrum op het gebied van energie. Het onderzoekspotentieel van ECN is de laatste tijd sterk onder druk komen te staan vanwege de omvangrijke overheidsbezuinigingen.

TNO houdt zich op het vlak van energie vooral bezig met energiebesparing in energie-intensieve industrieën, gebouwde omgeving, verkeer en vervoer; en met exploratie en winning van olie en gas. *TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie (TNO-MEP)* werkt aan energiegebruik in industriële processen en gebouwde omgeving. *TNO Wegtransportmiddelen* werkt aan energieconversie en -opslag in verkeer en vervoer. Op het vlak van energie-exploratie en -winning is *TNO GG* (ontwikkeling van marginale velden,

kostenreductie) actief. Het initiatief Environmental Technology Valley (ETV) beoogt om in samenwerking tussen TNO, het bedrijfsleven en universitaire centra de commercialisering te versterken van de innovatieketen op het gebied van milieu, energie en duurzame ontwikkeling.

2.1.5 Industriële R&D

Gastec en Gasunie Research voeren energie-onderzoek voor de nutssector uit en concentreren zich op aardgaswinning, -distributie en -eindegebruik. De *SEP* beheert de KV-STEG installatie (Demkolec) en voert onderzoek uit op het gebied van kernenergie en windenergie. *KEMA* voert bedrijfsgericht onderzoek uit op het gebied van fossiele brandstoffen, nucleaire energie, industriële energiesystemen, transport en distributie van elektrische energie, milieutechnologie met betrekking tot verbranding en hoogspanningstechnologie. De olie- en gasindustrie zelf verricht omvangrijk onderzoek dat voor een aanzienlijk deel is gericht op energiebesparing; zo heeft Shell twee belangrijke onderzoekscentra in Nederland. Belangrijke *adviesbureaus* op het gebied van energietechnologie zijn onder meer Comprimo (Stork), Tebodin, Heidemij Adviesbureau, Gasunie Engineering, Hoogovens Technical Services, Van Heugten, Deerens Raadgevende Ingenieurs, Coöperatief Adviesbureau Vereniging Krachtwerktuigen.

2.1.6 Overig (branche-organisaties, intermediairs)

Invloed op onderzoeksprioriteiten vanuit de vraagzijde gaat mede uit van belangenverteenwoordigende brancheverenigingen: op het vlak van elektriciteitsproductie de SEP; de elektriciteitsdistributie EnergieNed; op het vlak van olie- en gasproductie de IRO; op het vlak van energie-intensieve bedrijven SIGE.

2.1.7 Stimulering van wetenschap en technologie

Bij de *publieke niet-universitaire financiering van energie-onderzoek* zijn een aantal partijen betrokken: met name departementen en intermediairs. De NOVEM, als uitvoeringsorganisatie voor het overheidsbeleid (EZ, VROM), is in de energiewereld actief op het gebied van programmering, financiering en netwerkvorming. De overheid, in het bijzonder EZ, neemt een belangrijke plaats in bij financiering van energie-onderzoek en bij formulering van energiebeleid, hetgeen zijn weerslag heeft op de rol van bijvoorbeeld de Novem en ook van TNO. De tendens van de laatste tijd is, naast aanzienlijke bezuinigingen, dat de overheid meer de neiging krijgt om de markt de ontwikkeling van nieuwe technologieën te laten bepalen, waardoor verbeterde

afstemming van vraag naar en aanbod van energie-onderzoek wordt beoogd, maar - langere termijn thema's (duurzame ontwikkeling, klimaateffecten) mogelijk minder aandacht krijgen.

De publieke financiering van energie-R&D kan voor 1994/1995 - exclusief de eerste en tweede geldstroommiddelen voor het universitaire onderzoek - geschat worden op een omvang van 200 mln (Wetenschapsbudget 1995, TOF 1996).² Het betreft vooral het door EZ gefinancierde onderzoek op het gebied van kernsplijting via Euratom (20 Mf Nederlandse bijdrage in de kosten van de Hoge Flux Reactor HFR die door ECN wordt geëxploiteerd), het ondanks de bezuinigingen omvangrijke energie-onderzoek gefinancierd via Novem-programma's, de doelsubsidie van 6 Mf aan TNO op het gebied van energie vanuit EZ, basis- en doelfinanciering van plm. 60 Mf voor ECN, en het door LNV gefinancierde energie-onderzoek verricht door DLO (15 mln).

Het *publieke universitaire onderzoek* wordt door OC&W (eerste geldstroom, 55 Mf) en via de tweede geldstroomorganisatie NWO (FOM, STW), naast via de derde geldstroom door onder andere de Novem, gefinancierd. Bij de NWO-Stichting voor Technische Wetenschappen lopen momenteel geen specifieke onderzoeksprojecten op het gebied van energietechnologie; een aantal onderzoeksprojecten heeft echter wel een duidelijk energietechnologische inslag.

2.2 Relatienetwerken

Uit het Interduct-rapport (1994) blijkt dat er tal van samenwerkingsverbanden zijn, zowel projectmatig als structureel. Het rapport stelt wel dat afstemming en samenwerking tussen verschillende wetenschapsgebieden moeizaam verloopt. Tabel geeft een overzicht van relatienetwerken.

² De omvang van de Novem-middelen, verstrekt door EZ, voor zover beschikbaar voor energie-R&D werd door Interduct (1994) op plm. 150 Mf in 1992 geschat; uit TOF 1996 valt op te maken dat deze omvang vanwege bezuinigingen (oplopend tot 30 % in 1999) aanmerkelijk wordt verlaagd tot plm. 100 Mf.

Tabel 5. Overzicht van relatienetwerken energietechnologie

KADER	RELATIENETWERKEN
Samenwerkingsverbanden	elektrische energievoorziening: TUE, TUD, KEMA, industrie windenergie: TUD, ECN energie/milieu/economie: ECN-CPB, CPB-RIVM energie in ontwikkelingslanden: ECN, UT, TUD, TUE energiebesparing: SEO, VU, RUU
Overheidsstimulering	PINC (nucleair); TUD/IRI, ECN, KEMA, GKN, Nucon
Novem-programma's	brandstofcellen: ECN, TUD, industrie fotovoltaïsche zonne-energie: TUD, UU, KUN, LUW, ECN, Amolf, industrie energiegedrag: UT, RUG, industrie
Environmental Technology Valley	TNO, Gelderse Ontwikkelingsmaatschappij, LUW, UT, Nederlandse Apparatenbouwer voor de Procesindustrie (NAP), Novem, Stork, X-Flow, Paques, Synerchem
Branchenetwerken	SIGE: energie-intensieve industriële bedrijven in de olieraffinage

3. Evaluatie onderzoekinfrastructuur

Nederland heeft een aantal sterke centra op het gebied van energietechnologie, zowel universitair (TU Delft) als toegepast (met name ECN). Gedetailleerde gegevens over de relatieve sterkte van afzonderlijke onderzoeksinstituten zijn niet beschikbaar. Op basis van het materiaal bijeengebracht in het Interduct-rapport (1994) kunnen met de nodige voorzichtigheid een aantal aanwijzingen betreffende sterkten en zwakten worden geïdentificeerd. Deze dienen nog verder getoetst te worden. Zoals het Interduct rapport concludeert zijn oordelen over de sterkte van een onderzoeksgebied binnen het energieveld veelal gekleurd door het politieke belang. Desalniettemin noemt Interduct het onderzoek op het gebied van duurzame energiebronnen en energiebesparing relatief sterk; gebieden zoals brandstofcellen, geavanceerde gasturbines, keramische branders, zonneboilers, biomassavergassing en foto-voltaïsche zonne-energie worden met name genoemd.

Tabel 6. Overzicht van sterkten en zwakten energie-onderzoek

STERKTEN	ZWAKTEN
<p>Sterke centra: ECN, TU Delft. Op universitair niveau redelijk scherpe afbakening deelterreinen.</p> <p>Universitaire R&D en onderzoek van technische instituten in hoge mate complementair.</p> <p>TU Delft bestrijkt breed scala van onderzoeksgebieden, geordend in specifieke faculteiten of instituten (mijnbouwkunde en petroleumwinning, interfacultair reactorinstituut)</p> <p>Belangrijke kennisthema's hebben substantiële aandacht (duurzame energiebronnen, conversie, procesintegratie).</p> <p>Internationaal sterk: brandstofcellen, geavanceerde gasturbines, keramische branders, zonneboilers, biomassavergassing en foto-voltatische zonne-energie</p>	<p>Universitair onderzoek maakt gegeven de beperkte omvang een verbrokkelde indruk.</p> <p>Afstemming en samenwerking verloopt nog -moeizaam, vooral gestuurd door derde geldstroom financiering</p> <p>Aanzienlijke overlap in thema's tussen diverse technologiecentra (hoewel, mede onder druk van bezuinigingen, tot afstemming gepoogd wordt te komen)</p> <p>Afgezien van deelterreinen (geologische exploratie, grondstoffen, energie en milieu) geen specifieke onderzoeksschool of faculteit; hierdoor geen duidelijk aanspreekpunt.</p>

Bronnen: Interduct (1994), M+I (1995)

Ten aanzien van de in de tabel genoemde zwaktes dient vermeld te worden dat acties met betrekking tot afstemming van vraag naar en aanbod van energieonderzoek in gang zijn gezet (eindrapportage Verkenning Commissie Energie; voorts de binnenkort te verschijnen Energienota).

Bronnen

Interduct, 'Op weg naar een nieuwe (?) strategie voor het energieonderzoek'. In opdracht van het ministerie van Onderwijs en Wetenschappen (1994).

Grupp, H. 'Technologie am Beginn des 21. Jahrhunderts'. Physica Verlag (1993).

Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen, 'Wetenschapsbudget 1995' (1994).

Ministerie van Economische Zaken (diverse publikaties Directoraat-Generaal voor Energie).

M+I, 'Inventarisatie van de uitgaven voor energie-R&D in Nederland'. In opdracht van NOVEM (1995).

Office of Science and Technology Policy (1995), '*National Critical Technologies Report*'

TNO (1994), '*TNO-Strategie 2000*', Delft.

Diverse jaarverslagen van universiteiten en centra (1992, 1993, 1994)



15. Luchtvaart- en ruimtevaarttechnologie



1. Omschrijving technologiegebied

1.1 Technologiegebied, disciplines

Luchtvaart- en ruimtevaarttechnologie dienen van elkaar onderscheiden te worden, maar vertonen tegelijkertijd belangrijke raakvlakken. Beide zijn te beschouwen als een verzameling subtechnologieën in een 'waardeketen' die bestaat uit activiteiten zoals ontwerp, engineering, operationele toepassing en beheersing door besturings- en controlesystemen. Een aantal van de subtechnologieën en de achterliggende disciplines in deze keten zijn voor beide technologiedomeinen relevant. Daarbij gaat het om disciplines zoals stromingsleer, ontwerpen, instrumentatiesystemen, elektronica; en om subtechnologieën zoals computer aided design, concurrent engineering, materiaaltechnologieën, besturingstechnologie en simulatortechnologie. Tevens willen we tot de beide gebieden technologieën laten behoren die pas door de beschikbaarheid van lucht- en ruimtevaartssystemen inzetbaar worden, zoals remote sensing en geodesie (plaatsbepaling, aardgeoriënteerd ruimteonderzoek). De actuele technologische ontwikkelingen spelen zich af op een groot aantal gebieden zoals computer-aided ontwerp, nieuwe materialen en materiaalverschijnselen zoals scheurgroei, motoren, besturings- en beheerssystemen (zoals geïntegreerde avionica, air traffic control, satelliettechnologie, telecommunicatiesystemen). Tabellen 1a en 1b geven inzicht in de verzameling toepassingen, technologieën en disciplines.

Tabel 1a. Luchtvaarttechnologie

DISCIPLINES	TECHNOLOGIEËN	TOEPASSINGEN
Stromingsleer; aërodynamica Stabiliteit, besturing Toegepaste wiskunde, numerieke wiskunde, operationele research Constructie en materiaalkunde, werktuigbouw Computational mechanics Thermodynamica Aëro-akoestiek Voortstuwingsprocessen Vliegtuigbouw en -ontwerp High-performance computing	Constructietechnologie Composietmaterialen Lijmen en hechten Besturingstechnologie Drukbelastingstechnologie Multimedia, virtual reality Computer-aided design, computer-aided manufacturing (CAD/CAM) Radar-/sensortechnologie Verbrandingsystemen Simulatorontwikkeling Navigatie, plaatsbepaling	Vliegtuignieuwbouw Vleugeldelen, Motoronderdelen, Wielophangingen, Interieurtoepassingen Vluchtcontrolesystemen Geïntegreerde avionica Klimaatbeheersing Simulatoren voor training Micro-gravity

Tabel 1b. Ruimtevaarttechnologie

DISCIPLINES	TECHNOLOGIEËN	TOEPASSINGEN
Ruimtevaarttechniek Aëro-en thermodynamica Informatietechnologie Telecommunicatie Micro-elektronica Ontwerptechnologie Geodesie	Radar-/sensortechnologie Instrumentatie Robottechnologie Multimedia Computer-Aided Design, Computer-Aided Manufacturing (CAD/CAM) Positiebepaling, ruimte-observatietechnieken	Spacecraft thermal control Externe robotarmen Microscopen, stersensoren Gloveboxen Atmosferisch onderzoek, Aardobservatie, positiebepalingssystemen Test en simulatie Micro-gravity Remote sensing

Hieruit blijkt overigens ook dat deze technologieverzameling ook zeer relevant is voor andere toepassingsdomeinen zoals de transportmiddelenindustrie, de metaal- en metaalproducten-industrie en de civiele techniek.

1.2 Relaties met andere technologiegebieden

In de lucht- en ruimtevaarttechnologie staan nieuwe materialen, ontwerptechnieken, informatie- en besturingssystemen centraal (Tabel 2). Informatietechnologie vindt toepassing in onder meer CAD/CAM systemen, sensor- en besturingssystemen en systemen voor vluchtcontrole, communicatie en avionica. Deze systemen worden ondersteund door allerlei geavanceerde elektronica. Informatisering speelt tevens een belangrijke rol tijdens de ontwerpfase. Daarbij gaat het behalve om computer-ondersteund ontwerpen om onderzoek naar materialen en stromingsleer met behulp van computational modelling en simulatie. Belangrijk in de ontwerpfase is het onderzoek naar composietmaterialen (polymeren, aluminium-vezellaminaten) die licht van gewicht zijn maar toch voldoende stevigheid bieden. Bij de produktie en assemblage van onderdelen speelt produktie-technologie een belangrijke rol.

Ander onderzoek dat gerelateerd is aan lucht-en ruimtevaarttechnologie vindt plaats op de gebieden energie, transport en milieu. Het milieu-onderzoek is met name gericht op het verkrijgen van kennis omtrent atmosferische processen. Logistieke technologie is samen met informatietechnologie van belang voor vluchtafhandeling (vliegtuig - luchthaven - logistieke diensten). Gerelateerd aan energietechnologie is het onderzoek naar verbeterde voortstuwingstechnologieën.

Tabel 2. Relatie lucht-/ruimtevaarttechnologie met andere technologiegebieden

TECHNOLOGIEGEBIED	SAMENHANG MET LUCHTVAART- EN RUIMTEVAARTTECHNOLOGIE
Materiaaltechnologie	Composietmaterialen; lichte en bestendige materialen
Elektronica	Instrumentatie (radar, sensoren, besturingstechnologie)
Computational modelling & simulation	Computermodellen stromingsleer, aërodynamica, materiaal-analyse (scheurgroei)
Informatie- en communicatie-technologie	Simulators, vluchtcontrole, avionica
Milieutechnologie	Atmosferisch- en klimaatonderzoek; Milieuvriendelijke beschermingen
Transporttechnologie	Luchtvaarttechnologie is een vorm van transport- en maakt gebruik van logistieke technologie
Produktietechnologie	CAD/CAM; robottechnologie; metaal- en kunststofverwerking
Energietechnologie	Voortstuwingssystemen (verhoging rendement)

1.3 Belang van het technologiegebied

1.3.1 Luchtvaarttechnologie

Het technologiegebied is in Nederland van uitermate groot belang voor de vliegtuigindustrie.¹ Deze kan ruwweg onderverdeeld worden in twee hoofdactiviteiten: vliegtuignieuwbouw en refurbishment. De omzet in deze luchtvaartindustrie bedroeg in 1987 circa f 2,5 mrd en steeg tot bijna f 6 mrd in 1991 en bood in dat jaar nog werkgelegenheid aan 20.000 mensen. Momenteel is dat aantal door de saneringen bij Fokker een stuk teruggelopen. Fokker is echter met plm. 6600 banen nog steeds de derde grootste werkgever in de Nederlandse maakindustrie. Daarnaast is Fokker van grote betekenis voor het gehele luchtvaart- en ruimtevaartcluster, zowel direct (toelevering) als via de onderliggende technologische infrastructuur, en via tal van spin-offs (materialen, oppervlaktetechnologie, elektronica, ontwerpen, produktietechnologie) buiten dit cluster. In Nederland zijn twee bedrijven van belang voor de bouw van eindprodukten: Fokker wat betreft vliegtuignieuwbouw (omzet f 3,6 miljard in 1992) en KLM-REPA wat betreft refurbishment (omzet f 1,2 miljard in 1991). KLM maakt zelf produkten voor de herinrichting (groot onderhoud) van haar vliegtuigen.

¹ Zie het TNO-STB rapport 'De betekenis van Fokker voor Nederland' (1995), en het artikel 'Het web is meer waard dan de spin' (De Volkskrant, 19 augustus 1995).

De Nederlandse toeleveringsbedrijven hebben veelal een achtergrond in de metaalverwerking en de kunststofverwerking. Het sterkst zijn zij in de productie van fijnmechanische componenten (met name op het gebied van motoronderhoud). Voorts is de gasturbinesector belangrijk. DAF Special Products produceert onder andere wielophangingen voor vliegtuigen. Enkele bedrijven hebben een sterke internationale positie op het gebied van interieursystemen.

Verreweg de meeste R&D vindt plaats bij het Nationaal Lucht-en Ruimtevaartlaboratorium (NLR); daarnaast is de R&D-capaciteit van Fokker nog steeds van groot belang. Op universitair niveau is de TU Delft (Faculteit Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek) veruit de belangrijkste kennisaanbieder.

Gegeven de huidige discussies rond de vliegtuigindustrie kan de vraag gesteld worden naar het toekomstperspectief voor zowel de bedrijvigheid als het onderzoek en de technologieontwikkeling. Van belang is om te constateren dat de op vele fronten zeer sterke kennisinfrastructuur (TU Delft, NLR) in aanzienlijke mate gerelateerd is aan onderwerpen zoals materiaalonderzoek, produktiesystemen, civiele infrastructuren die ook in andere sectoren van belang zijn. Dit geldt ook voor tal van activiteiten van de toeleverende industrie.

1.2.2 Ruimtevaarttechnologie

Het technologiegebied is zeer kennis-intensief en is in Nederland meer ontwikkeld op onderzoeksniveau dan op industriële niveau. In deze sector worden hoofdzakelijk gemeenschappelijke internationale projecten uitgevoerd, in een complex conglomeraat van prime-contractors, sub-contractors met daaronder vaak nog een laag sub-contractors. De projecten zijn onder te brengen in hoofdgroepen:

1. Productie van satellieten en de *payload* (dit zijn de instrumenten die in de ruimte moeten worden gebracht voor aardobservatie, telecommunicatie of wetenschappelijke metingen).
2. *Ground-support-equipment* (regelt de besturing van en de communicatie van de satelliet). en
3. Raketten en lanceerinrichtingen.
4. Robotica-systemen; hierbij speelt Nederland een belangrijke rol onder meer in ESA-projecten.

Met name op het gebied van observatie en wetenschappelijke metingen ontplooiën een aantal Nederlandse universiteiten activiteiten. De industrie richt zich daarentegen meer op de materialen en systemen. De Nederlandse ruimtevaartindustrie is klein en treedt meestal op als sub-contractor voor de ontwikkeling of fabricage van componenten en subsystemen. De belangrijkste productiebedrijven zijn Fokker Space and Systems (f 240 miljoen omzet in 1992) en Stork Product Engineering. Anders dan in andere

sectoren zijn de kennisinstellingen (met name NLR, de NWO-stichting SRON, TU Delft, TNO-FEL, TNO-TPD) onlosmakelijk met het cluster verbonden, soms als producent van hardware, soms als ontwikkelaar van systemen voor de *payload* van de satelliet of op het gebied van simulatorsystemen.

Een hoofduitgangspunt van het Nederlandse ruimtevaartbeleid is de activiteiten, meest in internationaal kader, vooral te richten op potentiële gebruikers (wetenschappelijk onderzoek, aardobservatie, telecommunicatie).

2. De onderzoekinfrastructuur

2.1 Actoren in de onderzoeksinfrastructuur

2.1.1 Algemeen

Vliegtuigonderzoek. Het NIVR speelt hier een centrale rol en laat namens de overheid in het kader van het *Vliegtuigtechnologie Programma* (VTP; samenwerking onder andere NLR, Fokker, TU Delft) en het qua omvang overigens veel kleinere *Algemeen Research Programma* (ARP) veel basisonderzoek uitvoeren bij het NLR, het grootste lucht- en ruimtevaartlaboratorium in Nederland. Het onderzoek is vooral gericht op methodiekwontwikkeling, nieuwe materialen en nieuwe technieken, die in de toekomst van belang kunnen zijn voor de Nederlandse luchtvaartindustrie. Het meer fundamentele onderzoek wordt gedaan bij de TUD. Het toepassingsgerichte onderzoek wordt uitgevoerd door het NLR onder aansturing van Fokker en veelal in samenwerking met toeleveranciers (zoals Ten Cate Advanced Composites en Stork Veco), op gebieden als aërodynamica, structuren, materialen, mechanica en ruimtewetenschappen. Daarnaast is een aanzienlijk deel van het onderzoek gericht op vliegtuigtechnologie ten behoeve van Defensie, bijvoorbeeld het NH-90 helikopterproject. Nieuwe onderwerpen voor het NIVR liggen in haar ARP op gebieden als grenslaageffecten, uithardingsgedrag van composieten, milieuvriendelijke beschermstoffen, navigatiedisplays, robuuste regelsystemen, smart actuators. In het VTP staan centraal onderwerpen als voorontwerpmethodieken, aërodynamica en aëro-elasticiteit, geavanceerde constructies en materialen, geluid. Daarnaast loopt er onderzoek op gebieden als computational fluid dynamics en levensduurconcepten van gasturbines.

Ruimtevaartonderzoek. Volgens de NVR-publicatie *'Space Technology in the Netherlands'* (1993) zijn er meer dan 50 wetenschappelijke instellingen (universiteiten, instituten, laboratoria en onderzoeksinstellingen) betrokken bij ruimtevaart-projecten. De belangrijkste actoren in de onderzoeksgebied zijn evenwel het NIVR, het NLR, de NWO-stichting SRON, de TUD, de NISO (Netherlands Industrial Space Organization), Fokker Space Systems (FSS), en TNO-TPD.

Evenals in het luchtvaarttechnologisch onderzoek vervult de NIVR een centrale, coördinerende rol. De belangrijkste NIVR-onderzoeken vonden in 1993 plaats op het gebied van radartechnologie (Pharus: TNO-FEL, TU Delft, NLR), simulatoren, zonnepanelen voor kleine satellieten, geavanceerde materialen, mechanieken, microscopen, stersensoren, gloveboxen, programmatuur en werkstations.

Het grootste deel van de Nederlandse ruimteonderzoek-activiteit, 75 %, is afgestemd op de programma's van het Europees Ruimtevaart Agentschap (ESA). Nederland neemt daarbij ca. 4 % van dat wetenschappelijke programma, 2 % van de telecommunicatieprogramma's, 4 % van het microzwaartekracht-onderzoek en 2 % van grote infrastructurele activiteiten zoals Ariane voor haar rekening. Het in Noordwijk gevestigde ESTEC (1500 personeelsleden, omzet 400-500 Mf) staat als laboratorium van de ESA op zich los van de Nederlandse kennisinfrastructuur maar er zijn relaties met de TU Delft. Een voorbeeld van een project dat niet via ESA verloopt is de Italiaans-Nederlandse SAX-satelliet voor röntgenastronomie, die in april 1996 wordt gelanceerd.

Als belangrijkste hoofdcategorieën van ruimte-onderzoek onderscheiden wij:

- Astronomie (gammastraling, röntgentechnologie, UV, infrarood).
- Remote Sensing. Op dit gebied zijn van belang de Beleidscommissie Remote Sensing (BCRS) en onderzoekscentra op het gebied van milieu en klimaat (KNMI, RIVM, IMAU).
- Microzwaartekracht-onderzoek.
- Onderzoek in het kader van ESA-programma's.

Tabel 3 geeft een overzicht van de belangrijkste actoren in de kennisinfrastructuur op het gebied van luchtvaart- en ruimtevaarttechnologie.

Tabel 3. *Overzicht van de onderzoeksinfrastructuur lucht-/ruimtevaart*

CENTRA	ACCENTEN	FTE'S
UNIVERSITAIR TU DELFT (Faculteit L&R)	Vliegtuigbouw en aërodynamica Remote Sensing Microgravitatie-onderzoek Meteorologie Geavanceerde materialen Lijm- en hechtingstechnologie Computational mechanics Computer Aided Design	200 onderzoekers (budget L&R 25 Mf)
<i>voorts:</i> TUE, UT, RUL, UU, UvA, RUG	Remote sensing (UT), Micro-gravitatie (UU, UVA), Metereologie (UU), Materiaalonderzoek (TUE, UT)	Beperkt in omvang

beschikbare gegevens te herleiden daar dit gebied valt onder meerdere NABS-categorieën.

Op basis van het Wetenschapsbudget 1995 kunnen de financiële stromen, exclusief universitair onderzoek, op het gebied van *ruimteonderzoek* worden geïdentificeerd (in totaal gaat het om ruim 230 Mf). Het grootste deel van de middelen is bestemd voor de Nederlandse bijdrage aan de verplichte en optionele programma's van ESA. In totaal bedraagt de bijdrage aan ESA plm. 180 Mf in 1995.

OC&W	57	Mf	Deelname ruimte-exploratie (m.n. via ESA)
OC&W	24		NWO-ruimteonderzoek (SRON)
OC&W	2		Algemeen lucht- en ruimtevaartonderzoek (NLR)
EZ	130		Ruimte-onderzoek (m.n. via ESA)
V&W	17		Toepassingsystemen
V&W	2		Remote sensing, via BCRS
V&W	2		Algemeen ruimteonderzoek (via NLR)

Op het gebied van *vliegtuigonderzoek* zijn, verspreid over diverse categorieën, de volgende stromen herkenbaar (in totaal ruim 50 Mf):

V&W	4	Mf	Opdrachten NLR/NLRGC
V&W	plm 30		Bijdragen exploitatie NLR
V&W	plm 12		Investerings transportmiddelen (NLR/ETW)
V&W	3		Onderzoeken luchtvaart verkeerssystemen
EZ	5		Vliegtuigindustrie (via NIVR)
EZ	4		Bijdrage aan NLR
Defensie	1		Bijdrage aan NLR.

2.1.2 Universitair onderzoek

Op universitair niveau is de rol van de TU Delft (faculteit Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek, plm. 200 onderzoekers, budget 25 Mf) verreweg het belangrijkste. De TU Delft kent een Faculteit der Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek die met name actief is in de volgende disciplines: vliegtuigconstructies; luchtvaart-aërodynamica; theoretische aërodynamica; prestaties van voortstuwing van luchtvaartuigen; vliegtuigbouw- en ontwerp; bewegingsleer van vliegtuigen; simulatorsystemen (de faciliteit SIMONA); vliegtuigmaterialen en materiaalonderzoek; ruimtevaarttechniek. De faculteit is sterk geprofileerd rond de onderwerpen aërodynamica, besturingssystemen en materiaalkunde (lichte materialen, computational mechanics).

De TU Delft geniet verder internationale bekendheid op het gebied van geodesie - met name het excellente aardgerichte ruimteonderzoek - en remote sensing. Voorts vindt er meteorologisch en atmosferisch onderzoek plaats. In discussie is de oprichting van een onderzoekschool DIASA.

TU Eindhoven: met name de vakgroepen Elektrotechniek en Werktuigbouw zijn betrokken bij lucht- en ruimtevaartonderzoek: sterkte- en trillingsleer (drukbelasting voor vliegtuigonderstellen, trillingen bij zonnepanelen); meet- en regeltechniek. De *Universiteit Twente* heeft met name activiteiten op het gebied van image control en remote sensing; de *Universiteit Wageningen* op de gebieden cartografie en geoinformatie.

De meer gebruikersgerichte aspecten van ruimtevaart omvatten terreinen als astronomie, geodesie, micro-gravity, atmosfeer-onderzoek, meteorologie en landbouwkundige toepassingen.. Het belang van ruimtevaarttechnologie ligt zeker ook in het ondersteunen van dergelijke kennisgebieden.

Naast de Technische Universiteiten zijn ook laboratoria van de universiteiten in Utrecht, Groningen, Leiden en Amsterdam in het verleden veel betrokken geweest bij internationale onderzoeksprojecten onder andere op het gebied van microzwaartekracht en astronomie.

Voorts zijn er een tweetal onderzoekscholen die een relatie vertonen met lucht- en ruimtevaarttechnologie, het J.M. Burgerscentrum voor Stromingsleer waarin participeren de TUD, UT, TUE en de RUG (90 AIO's, 33 stafleden) en, als gebruiker, de Nederlandse Onderzoekschool voor Astronomie.

2.1.3 Fundamenteel onderzoek

Op het gebied van ruimtevaart speelt SRON (NWO-Stichting Ruimteonderzoek, Space Research Organisation Netherlands) een belangrijke rol met een budget van 20 Mf per jaar. SRON beheert twee laboratoria (Utrecht, Groningen) op het gebied van onderzoek en geavanceerde instrument-ontwikkeling. Het onderzoek van SRON richt zich op terreinen als astronomie, atmosfeer, remote sensing en microzwaartekracht. Voor wat betreft de instrumentontwikkeling speelt SRON een belangrijke steunende rol ten behoeve van universitaire groepen op de genoemde gebieden.

2.1.4 Instituten voor toegepast onderzoek

Het *Nationaal Lucht -en Ruimtevaartlaboratorium* (NLR), is het belangrijkste research instituut (met een internationaal uitstekende naam) in dit technologiegebied. Bij het NLR werken circa 900 mensen, verspreid over de twee laboratoria in Amsterdam en de Noordoostpolder. De NLR levert diensten ten behoeve van Fokker (40 %), Defensie (30 %), andere nationale opdrachtgevers (10 %) en buitenlandse opdrachtgevers (20 %). Het onderzoek is verdeeld over de divisies Stroomingen, Vliegtuigen, Constructies & Materialen, Ruimtevaart (15 %) en Informatica. Het ruimtevaartonderzoek is in belangrijke mate afgestemd op de lange termijn programma's van ESA met het doel om de Nederlandse industrie in deze programma's te laten participeren. Een belangrijk beleidsdoel daarbij is om de gebruikers sterker bij de ruimtevaart te betrekken. Het NLR is ook nauw betrokken bij zeer omvangrijke internationale samenwerkingsafspraken, bilateraal met DLR (Duitsland) in de Duits-Nederlandse Windtunnel gevestigd bij het NLR in de NOP (NLR en DLR participeren hierin ieder voor 50 %) en in programma's en projecten; en multilateraal bijvoorbeeld in de Europese Transsone Windtunnel te Keulen. Ten aanzien van bijvoorbeeld simulatoronderzoek en -ontwikkeling zijn er werkafspraken met de TU Delft.

TNO is al meerdere decennia nauw betrokken bij lucht- en ruimtevaartonderzoek. *TNO-TPD* is vooral actief op het gebied van standregel-sensoren voor satellieten, wetenschappelijke instrumenten en remote sensing. *TNO-TPD* heeft een reputatie op het gebied van optisch ontwerpen, detectie-technieken en precision engineering. *TNO-FEL* richt zich op sensor-systemen, informatietechnologie, telecommunicatie, simulatoren en trainers (virtual reality) en radarsystemen. *TNO-PML* richt zich vooral op voortstuwingssystemen voor vliegtuigen en raketten.

Het *RIVM* en het *KNMI* zijn belangrijke "gebruikers"-instituten in de ruimtevaartsector, in nauwe relatie met hun taken op het gebied van milieu- respectievelijk atmosferisch en meteorologisch onderzoek. De coördinatie van de Nederlandse aardobservatieactiviteiten ligt bij het *KNMI*.

Het *ITC* (met in totaal meer dan 300 FTE) ontplooit in hoofdzaak onderwijsactiviteiten op het gebied van luchtkartering en speelt een belangrijke rol bij aardobservatie. Ongeveer 5 % van het budget (1.5 mln per jaar, 20 onderzoekers) wordt aan onderzoek besteed.

2.1.5 Industriële R&D

Talrijke ondernemingen voeren R&D uit op het gebied van vliegtuig- en ruimtetehnologie, maar verreweg de meeste R&D wordt uitgevoerd bij Fokker (vliegtuigont-

werp; in 1991 nog plm. 1100 werkzame personen met een budget van ongeveer 160 Mf; voorts ruimteonderzoek in Fokker Space Systems). Bedacht dient te worden dat Fokker in sterke mate gebruik maakt van de NLR. Een overzicht is gegeven in Tabel 3 en par. 2.1.1. Op het terrein van engineering en advies zijn belangrijke partijen BSO, Comprimo en ICT.

2.1.6 Overig (branche-organisaties, intermediairs)

NISO (*Netherlands Industrial Space Organisation*) verzamelt ongeveer 30 instellingen en ondernemingen op het gebied van ruimtetehnologie. Doel is onder meer het formuleren van gemeenschappelijke belangen en harmonisatie van Nederlands overheidsbeleid. Leden zijn onder meer AKZO, CCM, Delft Instruments, Fokker Space & Systems, Stork SPE, NLR, TNO.

De NAG (*Netherlands Aerospace Group*) is een branche-organisatie van ongeveer 30 ondernemingen op het gebied van aerospace. R&D-intensieve ondernemingen binnen de NAG zijn onder meer Brandt Fijnmechanische Industrie (gasturbines, motoren, tooling); ELDIM (precisiemachines), MIFA Aluminium, Stork Product Engineering (mechanische systemen, avionica), Philips Machinefabriek Acht (gasturbines, rotorkoppen, mechanische systemen, precisiemachines).

2.1.7 Stimulering van wetenschap en technologie

Vanuit de overheid vindt verdeling van subsidies plaats via het NIVR dat als centraal platform fungeert. Het NIVR stimuleert/subsidieert twee onderdelen: a. Luchtvaart (Vliegtuigtechnologie Programma VTP), b. Ruimtetehnologie. Het Ruimte-Technologieprogramma (NRT) ondersteunt Nederlandse bedrijven bij het doen van hoogwaardig onderzoek. De financiële ondersteuning bedraagt in het algemeen 70 à 80 % van de onderzoekskosten. In het NRT worden voorstudies uitgevoerd, waarbij dikwijls *bread-board*-modellen van instrumenten worden vervaardigd, die gebruikt kunnen worden bij het verkrijgen van belangrijke opdrachten binnen programma's van ESA en andere internationale instellingen. Actoren binnen het NRT-programma zijn Fokker FSS, NLR, TNO-TPD, Comprimo, Bradford, SPE, Urenco, BSO, ICT, TNO-FEL, Delft Instruments, SRON.

De *Beleids Commissie Remote Sensing* (BCRS) coördineert vanuit V&W (penvoerend) het onderzoek op het betreffende terrein dat georganiseerd is in het Nationaal Remote sensing programma (NRSP). Naast V&W nemen deel OC&W, EZ, BuZa, Defensie en VROM. Het NIVR vertegenwoordigt de belangen van de industrie, terwijl voor de commerciële dienstensector de NEDECO in de BCRS deelneemt. Het doel van het

NRSP is het bevorderen van de introductie en toepassing van remote sensing technieken in de overheids- en particuliere sector. Daarbij spelen toepassingen in de sfeer van meteorologie, waterbeheer, land- en bosbouw, en klimaat- en milieuonderzoek een belangrijke rol.

2.2 Relatienetwerken

In Tabel 4a en 4b zijn enkele belangrijke relatienetwerken weergegeven voor vliegtuigtechnologie en luchtvaarttechnologie.

Tabel 4a. Relatienetwerken luchtvaarttechnologie

KADER	RELATIENETWERK
Motorprogramma BR-700	BMW/Rolls Royce, NIVR, Eldim
Wing Consortium	ACE, TNO-TPD, NLR
Vliegtuig Technologie Programma (VTP)	Fokker, NLR, Ten Cate Composites, Stork Veco, TUD
Defensie-onderzoek	Fokker, NIVR, NLR, Koninklijke Luchtmacht, Koninklijke Marine, TNO, Agusta, VGT

Tabel 4b. Relatienetwerken ruimtevaarttechnologie

KADER	RELATIENETWERK
NISO	AKZO, Aerospace Propulsion Products, Bradford, BSO/Aerospace, CCM, Comprimo, Delft Instruments, Fokker Space & Systems, Genius, Hoogovens, Hymec, ICT, NLR, Propell, PTT Telecom, RDM, Rood Technology, Stork SPE, TNO, UCN Aerospace
NIVR	Diverse belangrijke partijen, zoals NLR, TU Delft, ESA etc.
Ruimtevaarttechnologie programma NRT	Fokker FSS, NLR, TNO-TPD, Comprimo, Bradford, SPE, Urenco, BSO, ICT, TNO-FEL, Delft Instruments, SRON, en middelgrote en kleinere bedrijven
Pharus	TNO-FEL, NLR
SAX	NIVR, FSS, SRON (NWO), ASI, Alenia (Italië)
Sciamachy	Dornier, ESA, SRON, TNO-TPD, FSS, Ball (VS)
Robotica	FSS, NLR, SPE, BSO, ICT, Comprimo, TNO
Voortstuwing	SPE, PML, NLR, FSS, TUD, APP
Dataverwerking	BSO, NLR, ICT, FSS, KNMI
Aardobservatie	FSS, TNO-TPD, SRON, KNMI, RIVM, BCRS
Radar (SAR)	TNO-FEL, ICT, NLR, BCRS
Eumilsatcom	TNO-FEL, NLR, FSS, NIID
Simulatie	FSS, BSO, ICT, TNO-FEL

3. Evaluatie onderzoeksinfrastructuur

In de *luchtvaarttechnologie* heeft Nederland een relatief sterke positie ontwikkeld op het gebied van materialen en systemen (Tabel 5). De TU Delft vormt met de faculteit L&R, die sterk is geprofileerd rond lichte materialen, computational mechanics en aërodynamica, een belangrijke kern met het NLR. Beide instellingen hebben internationaal een voortreffelijke reputatie.

Tabel 5. Sterkten /zwaktes luchtvaarttechnologie

TECHNOLOGIE STERKTE	STRUCTUREN EN MATERIA- LEN	AVIONICS & SYSTEMEN	AÉRODYNA- MICA & AKGESTIEK	VOORT- STUWING & AANDRIJVING
HOOG	Hybriden conventionele alliminaten	Beeldverwerking Cabine systemen	Passieve geluid- beheersing Aërodynamisch ontwerp Actieve geluid- beheersing	Onderhoud
GEMIDDELD	Geluidreduceren- de materialen Interieur materi- alen Composieten en primaire onder- delen	Landingssyste- men Software Systeem integra- tie		
LAAG		Klimaat beheer- sing Cockpit lay-out	Flutter control Passive Laminar flow control	Gasturbines Airframe/ voort- stuwing- inte- gratie

Bron: NLR, TUD, Booz Allen

De Nederlandse *ruimtevaart-technologie* heeft goede internationale reputatie opgebouwd op gebieden als zonnepanelen; structuren; warmtehuishouding; dataverwerking; robotica; en instrumenten. Voor wat betreft ruimtevaartprojecten voor astronomisch onderzoek is van belang dat het Nederlandse astronomisch onderzoek op zeer hoog, zelfs onovertroffen, niveau staat, blijkend uit een evaluatie door een internationale evaluatiecommissie op verzoek van de NWO-stichting ASTRON. De TU Delft geniet voorts blijkend uit een recente VSNU-onderzoekbeoordeling internationale bekendheid op het gebied van *geodesie* (Faculteit Geodesie), met name rond het excellente aardgerichte ruimteonderzoek en satellietbaanbepaling, en rond remote sensing.

Uit onderzoek op het gebied van patenten aangemeld in de Verenigde Staten (EC, 1994) blijkt dat Nederland een redelijke positie heeft opgebouwd (0.9 % van het aantal patenten wereldwijd). Gemeten aan aantallen publikaties heeft Nederland op het gebied van geo/ruimteonderzoek eveneens een aanzienlijke positie (2.3 % van het wereldwijde aantal, 27.4 % van het EU-aantal in 1993).

In het algemeen is de Nederlandse lucht- en ruimtevaartsector als zeer hecht te beschouwen. Naast de industrie, het NLR en de universitaire kennisinfrastructuur

behoort ook het beroepsonderwijs (Hogeschool Haarlem, Hogeschool Amsterdam, Nederlands Luchtvaartcollege) behoort hiertoe.

Bronnen

European Commission, *'The European Report on Science and Technology Indicators 1994'* (1994).

Jaarverslagen NLR, NIVR, TNO-TPD, TU Delft (1993)

Ministerie van Onderwijs, Cultuur en wetenschappen, *'Wetenschapsbudget 1995'* (1994).

NVR, *'Space Technology in the Netherlands'* (1993)

TNO-STB, *'De betekenis van Fokker voor Nederland'* (1995). Onderzoek in opdracht van Fokker.





16. Civiele technologie



1. Omschrijving technologiegebied

1.1 Technologiegebied, disciplines

Civiele technologie is een verzameling van disciplines en technische domeinkennis die wordt toegepast op de inrichting en ontwerp, realisatie, onderhoud en het technisch beheer van de gebouwde omgeving en de infrastructuur. Tabel 1 geeft rond een aantal centrale technologieën aan welke disciplines en toepassingen een rol spelen.

Tabel 1. *Civiele technologie: disciplines, technologieën, toepassingen*

DISCIPLINES	TECHNOLOGIEËN	TOEPASSINGEN
<i>Systeemanalyse</i> : bedrijfskunde, operations research, systeemkunde, numerieke wetkunde, (geo-) statistiek	Beheersing van ontwerp- en bouwprocessen	Gebouwbeheer, productie-automatisering, bouwplanning, beleidsanalyse
<i>Informatica</i> : bouwinformatica, high-performance computing, software	Ontwerpen en construeren	Betrouwbaarheidsanalyses, gebouwen en infrastructurele werken, bouwmaterieel
<i>Bodem</i> : bodemkunde, geomechanica, geofysica, constructieer, materiaalkunde, akoestische beeldvorming	Modelleren en simuleren (stromingen, materialen, constructies, waterkwantiteits- en kwaliteitssystemen)	Dynamische modellen, diagnose instrumenten, milieubeheer, waterbeheer, sterkte- en trillingsbeoordeling
<i>Materialen/constructies</i> : technische fysica, structural mechanics, vermoeiing en breukmechanica, bouw fysica	Materiaaltechnologie (high-performance materialen, composieten etc)	Materialen in constructies, gebouwen en infrastructuur; E+W-installaties
<i>Stromingen</i> : Fysische transportverschijnselen, hydrologie	Bodemtechnologie: o.a. civiele milieutechniek, bodem-analyse, boortechnologieën etc.	(water-)Bodemsanering, afvalopslag; speciale transportinfrastructuren (ondergronds bouwen etc)
<i>Overig</i> : fabricagetechniek, logistiek, installatietechniek	Waterbouwtechnologie	Waterbouwkundige constructies (flexibel)

Opmerking: Technologieën corresponderen met de rechts opgenomen toepassingen.

Betrekkelijk nieuwe, in belang toenemende terreinen zijn *ondergronds bouwen* en *geotechnologie*. Andere veelbelovende thema's liggen in bodemeigenschappen in relatie tot transportsystemen ('soft soil'), nieuwe materialen (met als belangrijke discipline computational mechanics), high-performance computing, dynamisch kustbeheer (ook in relatie tot lokaties voor lucht- en zeehavens), en kust- en rivierwaterkunde. In toenemende mate worden biologische en fysische processen benut voor de ontwikkeling van civieltechnische voorzieningen zoals oevers, kustgenese, duinbescherming ("bouwen met de natuur").

In de bouwpraktijk worden verschillende doorsnijdingen van het vakgebied gemaakt. Volgens de definitie van de Onderzoeksschool Integraal Construeren voor de Bouw:

1. Naar primaire toepassingsmarkt: woning- en utiliteitsbouw (B&U-sector), grondweg- en waterbouw (GWW-sector).
2. Naar materie: 'droge' bouw, waterbouw, maar ook civiele milieutechniek (bodem, water).
3. Naar bouwfase: constructief ontwerp, engineering, bouwen, onderhoud.

Naar 'materie' is onderscheid gemaakt tussen de 'droge' *Bouw* enerzijds en de 'natte' *Waterbouw* anderzijds. Tot de droge bouw worden gerekend het tot stand brengen en beheren van gebouwen en constructies. Ook zijn hier zijn de *starre* waterbouwkundige constructies ('kunstwerken' oftewel infrastructurele werken in beton, staal, hout, e.d.) inbegrepen met uitzondering van het functioneel ontwerp van deze constructies. Tot de *Waterbouwkunde* wordt gerekend het tot stand brengen en beheren van alle *flexibele* waterbouwkundige constructies (in grond, steen, asfalt, e.d.) en het functioneel ontwerp van alle starre waterbouwkundige constructies met een globale technische uitwerking. *Weg- en railbouwkunde* wordt gezien als een specialisatie van Bouw: het ontwerpen en bouwen van verhardingen van wegen, vliegvelden en de voor railbouw benodigde constructies. Een tweede specialisatie gericht op de GWW-markt is de *civiele milieutechniek* die zich bezig houdt met de opslag van afval en (water)bodemsanering. Dit wordt ook wel aangeduid met milieubouw.

Naar bouwfase werd onderscheiden het constructief ontwerp en engineering. Het functioneel ontwerp van gebouwen, landschap en gebouwde omgeving is het domein van architect, planoloog en stedenbouwkundige. De uitwerking daarvan tot het *constructief ontwerp en de engineering* is het domein van civieltechnische ingenieursbureaus, bouwdiensten van de overheid en de engineeringafdelingen van aannemers.

1.2 Relaties met andere technologiegebieden

Civiele technologie is gedeeltelijk overlappend met milieutechnologie, aangezien vanuit milieuoogpunt een aantal eisen worden gesteld aan de gebouwde omgeving. Daarbij moet ook worden gedacht aan het zodanig gebruik van materialen, zodat deze in de afvalfase gemakkelijker zijn te verwerken. Meer direct is er een verbinding in de civiele milieutechniek, waarbij het vooral gaat om bodemsanering en afvalopslag. Op het gebied van bodemsanering ligt er tevens een relatie met de biotechnologie, die ingezet wordt om met behulp van microben vervuilde bodems in situ te reinigen. Het onderzoek op dit gebied is gebundeld in het Nederlands Onderzoekprogramma Biotechnologie In Situ Sanering (NOBIS).

De civiele technologie maakt voorts bij het ontwerpen veel gebruik van modellering en computerondersteuning. Belangrijke toepassingen op dit gebied zijn Computer

Aided Design (CAD) en Computational Fluid Dynamics (zie ook Hoofdstuk 6). Deze laatste wordt vooral gebruikt in de waterbouw. Daarnaast wordt computational modelling ook gebruikt om het gedrag van (grote) constructies te voorspellen. Tenslotte is er een uitermate belangrijke verbinding tussen civiele technologie en transporttechnologie. Daarbij gaat het om de aanleg van grote infrastructurele werken. Tabel 2 vat een aantal relaties van civiele technologie met andere technologie terreinen samen.

Tabel 2. Relaties Civiele Technologie met andere technologiegebieden

TECHNOLOGIEGEBIED	SAMENHANG CIVIELE TECHNOLOGIE
Materiaaltechnologie	Bouwmaterialen, betonconstructies
Computational modelling & Simulation	Computational materials science, computational fluid dynamics, stromingsmodellen, high performance computing, gedrag constructies
Informatie- en communicatie-technologie	Informatiesystemen voor waterkwantiteits- en kwaliteitsbeheer
Biotechnologie	Civiele milieutechnologie (biologische (in situ) bodemreiniging)
Milieutechnologie	Milieu-eisen voor bouwconstructies; civiele milieutechnologie
Transporttechnologie	Aanleg infrastructuur, hogesnelheidslijnen, ondergronds transport
Produktietechnologie	Computer Aided Engineering; productie bouwelementen

Een onderzoeksveld als *geotechnologie* belichaamt in sterke mate de verknoping tussen disciplines zoals geologische karakterisering en modellering, structurele mechanica, exploratietechnieken en geofysische beeldvorming.

1.3 Belang van het technologiegebied

Vanwege de specifieke Nederlandse bodemgesteldheid, de geografische ligging als rivierendelta en transportknooppunt en de hoge bevolkingsdichtheid is civiele technologie een ondersteunende technologie met een zeer grote uitstraling naar alle facetten van economie en maatschappij. Het belang wordt ondersteund door de omvang van de publieke investeringen in dit technologiegebied. Nederland geeft in verhouding met andere Europese landen meer geld uit aan onderzoek op het vlak van infrastructuur. In 1990 investeerde de rijksoverheid f 244 miljoen aan bouwonderzoek en het bedrijfsleven ruim f 106 miljoen, gezamenlijk dus f 350 miljoen. Op de totale omzet in de bouwsector, circa f 60 miljard in 1992, is dit echter een gering bedrag: 0,6 %.

De structurele inspanning van de overheid is na 1990 waarschijnlijk iets afgenomen, maar dit wordt gecompenseerd door een viertal ICES-projecten in de civiele technologie: Ondergronds Bouwen, het Land-Water-Impulsprogramma, Mainport Rotterdam en Transporttechnologie.

Het onderzoek in de civiele technologie levert een sterke bijdrage aan de exportmogelijkheden van de Nederlandse aannemerij, omdat de produkten en diensten van deze in het buitenland vooral liggen op het terrein van het baggeren, civiele engineering, project management, waterbouw en - in toenemende mate - bodemsanering. Daarnaast ontleent civiele technologie haar belang aan de betekenis van infrastructuren voor verkeer en vervoer.

2. De onderzoekinfrastructuur

2.1 Actoren in de onderzoekinfrastructuur

2.1.1 Algemeen

Het cluster van bedrijfstakken betrokken bij civiele technologie heeft een heel eigen institutionele inbedding van onderzoek. Algemeen kenmerk is de opdeling naar toepassingsmarkten en de nadruk op kennisoverdracht via collectief geprogrammeerd onderzoek aan de vele ondernemingen die actief zijn in deze sectoren. In tabel 3 wordt een - niet volledige - opsomming gegeven van de betrokken actoren.

Tabel 3. Overzicht van de onderzoekinfrastructuur civiele technologie

CENTRA	ACCENTEN	FTE's (incl. ato)
UNIVERSITAIR <i>Onderzoekscholen (TUD):</i> Integraal Construeren Bouw Waterbouw Hydrologie J.M. Burgers CTG TRAIL (i.o.) <i>Universitaire centra</i> TUD UT TUE ITC IHE	Civiele bouwkunde; ontwerp, engineering Natte waterbouw Hydrologie Stromingsleer, fluid dynamics, reologie Bodemtechniek, geomechanica Transporttechnologie Civiele techniek Geodesie Bouwkunde Civiele technologie & management Bouwkunde Aardobservatie Hydrologie, constructies	129 - - 143 60 79 187 35 70 15 70 20 120 (33 Mf)
TOEGEPAST TNO-BOUW TNO-GG Grondmechanica Delft (GD) Waterloopkundig Lab. KNMI RIZA RIKZ AVV DWW RGD DLO Staring Centrum	Stat. & mech. constructies; num.mechanica, bouwinformatica; bouwtechnologie; binnenmilieu, bouwfysica, installatietechniek Geo-informatie, geohydrologie, geo-exploratie Geotechniek Waterbouwkunde, systems engineering Stromingen, meteorologie Waterkwaliteit Kustbeheer Verkeer, vervoer, infrastructuur Weg- en waterbouw Geologie Grondwater	300 FTE (budget 57 Mf) 100 (30 Mf) 280 (40 Mf) 500 (70 Mf) 500 (totaal) - 180 400 (totaal) 130 - -
INDUSTRIE HBG, BAM, Ballast Nedam, Heijmans, IBC, Stevin, NBM, De Ruiter, Vermeer Boskalis, HAM, Ballast Nedam, Van Oordt DHV, Haskoning, Witteveen + Bos, Oranjewoud, EGM, Heidemij, Grondmij	Bouw, aannemerij Bagger, offshore Advies, engineering	
OVERIG V&W-directies DGSM, DGV, RDW, RLD V&W-onderzoekdiensten (RIZA, RIKZ, AVV, DWW) CUR CROW STOWA	Onderzoeksfinanciering, programmering Uitvoering en uitbesteding onderzoek (zie 'Toegepast') Programmering onderzoek (geo/waterbouw) Programmering onderzoek (weg/railbouw) Advies, programmering (waterbeheer)	

2.1.2 Universitair onderzoek

De *TU Delft* is met de faculteiten *Civiele Techniek* (vooral), *Bouwkunde* en *Geodesie* een zeer voornaam universitair centrum voor dit gebied. Met deze faculteiten en die van *Werktuigbouwkunde*, *Mijnbouw* en *Petroleumwinning*, en *Technische Natuurkunde* is de *TUD* sterk vertegenwoordigd in de zes in Tabel 3 genoemde onderzoekscholen. Deze omvatten allereerst de erkende scholen *Integraal Construeren* voor de *Bouw* (*ICB*); *Hydrologie* en *Waterbouw*. Daarnaast zijn relevant het *J.M. Burgerscentrum* voor *Stromingsleer*, het *Centrum voor Technische Geowetenschappen* (*CTG*), en de onderzoekschool in oprichting *Transport Infrastructuur en Logistiek* (*TRAIL*). Binnen die onderzoekscholen worden de meerderheid van de onderzoeksthema's getrokken door Delftse vakgroepen.

Daarnaast heeft de *TU Delft* veel profijt van de aanwezigheid van een viertal belangrijke niet-universitaire onderzoeksinstituten in dit technologiegebied (*TNO Bouw*, *TNO GG*, *Grondmechanica Delft*, *Waterloopkundig Laboratorium*, *IHE*) en van enkele onderzoeksdiensten van Rijkswaterstaat: de *Dienst Weg- en Waterbouw* (*DWW*), het *Rijksinstituut voor Kust en Zee* (*RIKZ*) en de *Meetkundige Dienst*.

Speerpunten in de faculteit *Civiele Techniek* van de *TU Delft* zijn de natte bouw (waaronder integraal waterbeheer), transport en vervoer (onder meer infrastructuren voor hogesnelheidssystemen, bodemonderzoek), en gebouwen. Tot de kwantitatief en kwalitatief sterk bewerkte kerndisciplines behoren structurele mechanica (waaronder computational mechanics), structuren (beton, staal), gebouwontwikkeling, transport, geotechnologie, hydromechanica, waterkwantiteitsbeheer. De activiteiten zijn gebundeld in de door de faculteit getrokken onderzoekscholen *Integraal Construeren* in de *Bouw* (met de *TUE*, de *UT* en *TNO*), *Waterbouw*, en *Hydrologie*. De onderzoekschool *TRAIL* (waarin ook de *EUR* en *TNO* participeren) richt zich vooral op overslag- en distributiesystemen en op logistiek. Ook het *Centrum voor Technische Geowetenschappen* is relevant voor het technologiegebied. Dit wordt getrokken door de faculteit *Mijnbouw* en *Petroleumwinning*, met deelname van de Delftse faculteiten *Technische Natuurkunde*, *Elektrotechniek* en *Technische Wiskunde* en *Informatica*; en voorts onder meer *TNO*, het *ITC* en *GD*. Aandachtsgebieden van deze onderzoekschool zijn geofysische beeldvorming, geologische karakterisering en ondergrondse exploratie.

Als geheel zijn de speerpunten in Delft, met een bemensing van meer dan 2000 FTE in dit gebied als geheel inclusief wetenschappelijk onderwijs:

- informatietechnologie in het bouw-ontwerpproces
- ontwerpen: belastingen, veiligheid en evaluatie;
- construeren: structural modelling;
- grondslagen en materialen; computational mechanics;
- duurzaamheid en milieu;

- water-, weg- en railbouwkunde;
- grondmechanica en geotechniek;
- bouwconstructief ontwerpen en produktontwikkeling

De *faculteit Bouwkunde van de TU Eindhoven*, die deelneemt in de onderzoeksschool Integraal Construeren in de Bouw, heeft speerpunten op het vlak van bouwfysica, akoestiek, installaties en bouwproductietechnologie. De *faculteit Civiele Technologie & Management aan de Universiteit Twente* (deelname in ICB en in de J.M. Burgersschool) richt zich uitsluitend op bouwprocesvoering, -management en beheersaspecten. Alle universitaire onderzoeksgroepen in de bouwkundige en civiele faculteiten maken deel uit van de onderzoekscholen op dit technologiegebied.

Te noemen valt nog het ITC, dat relevant onderzoek uitvoert op het gebied van aardobservatie/kartering (plm. 20 onderzoekers totaal), en het Institute for Hydraulic Engineering dat zowel onderwijs aanbiedt als toegepast onderzoek uitvoert. Het IHE wordt deels door OC&W gefinancierd, verkrijgt deels financiering vanuit opdrachten (onderwijs en onderzoek) vanuit nationale en internationale overheden en het bedrijfsleven. Er werken plm. 40 onderzoekers op een totaal van 120 medewerkers.

2.1.3 Instituten voor toegepast onderzoek

Tussen TNO Bouw en Grondmechanica Delft en het Waterloopkundig Laboratorium is in grote lijnen de scheiding tussen droge bouw en waterbouw gemaakt, waarbij de ondergrond een gedeeld kennisdomein is tussen TNO Bouw (en ook TNO Grondwater & Geo-energie) en Grondmechanica Delft. Eenzelfde overlap geldt op het vlak van waterbouwkundige constructies tussen TNO Bouw en het Waterloopkundig Laboratorium (WL). Het WL (500 medewerkers, omzet 80 Mf) heeft exclusieve kennis en faciliteiten (computermodellen) op het gebied van functioneel ontwerp en stromingsdynamica op het gebied van zeeën, waterstaatkundige werken, baggeren, havens, rivieren en kustinrichting. Het WL biedt advies aan over ontwerp en constructie (offshore, kusten, havens, estuaria, rivieren en kanalen), en over beleid en management (kustzones, kwantitatief waterbeheer, milieueffecten).

Overigens leidt de geleidelijke krimp in structurele overheidsonderzoekbudgetten in deze sector tot een *verhevigde concurrentie* tussen deze drie instituten onderling op de overlapgebieden, met de kennisdirecties van Rijkswaterstaat, ingenieursbureaus en met andere nieuwe partijen in de kennismarkt zoals havenbedrijven e.d. Tegelijkertijd wordt onderling samengewerkt in de ICES-programma's *Ondergronds Bouwen* en het *Land-Water-Impuls-programma*, gericht op de integratie van civiele techniek, milieutechnologie en informatietechnologie. Een ander voorbeeld van samenwerking ligt in de taakafbakening tussen TNO GG, het DLO-instituut Staring, de Rijks Geologische Dienst en RIVM over verzameling en beheer van geoinformatie.

2.1.4 Industriële R&D

De onderzoeksinspanning op eigen rekening door de aannemingsbedrijven is beperkt. Zelfs de grote bouwconcerns blijken holdings met grote onafhankelijke werkmaatschappijen en met maar relatief kleine centrale onderzoekslaboratoria. Dit wordt voor een belangrijk deel in de hand gewerkt door de wijze van opdrachtverlening. Niet de producent (aannemer), maar de opdrachtgever ontwerpt het produkt en bepaalt zodoende meestal ook de innovaties. Vandaar dat in de bagger- en waterbouw grootschalige infrastructurele werken (denk aan Deltawerken en waterkeringen) altijd tot meerdere proces- en produktinnovaties hebben geleid. Overigens is in het aanbestedingsbeleid van de belangrijkste opdrachtgever, Rijkswaterstaat, een tendens merkbaar naar uitbesteding van zowel 'Design & Construct' in één hand, hetgeen de traditionele scheiding tussen ontwerp en uitvoering in de bouw opheft.

2.1.5 Overig (intermediairs, branche-organisaties)

Gegeven de beperkte R&D-capaciteit van het bouwbedrijfsleven wordt een aanzienlijk deel van het civiel technologisch onderzoek geformuleerd, begeleid en betaald door collectieven in de sector, waarvan de zogenaamde Collectief Onderzoek Programmerende Instellingen (COPI's) de belangrijkste zijn (Tabel 4). Voorbeelden van deze COPI's zijn de CUR (Civieltechnisch centrum Uitvoering Research en Regelgeving) die actief is op het gebied van geo/waterbouw, en de CROW (Stichting Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water- en Wegenbouw en de Verkeerstechniek), die collectief onderzoek aanstuurt op het gebied van weg- en railbouw. Overigens komen er steeds meer adhoc-collectieven van enkele bedrijven samen, waarbij de grote bouwconcerns ook tot grensoverschrijdende R&D-samenwerking overgaan.

De onderzoeksactiviteiten van *civieltechnische ingenieursbureaus* zijn eveneens sterk projectafhankelijk. Onderzoeksbudgetten zijn onbekend. Overigens wordt ook hier via collectieven samengewerkt met de onderzoeksinstituten. Zo vindt bijvoorbeeld binnen de VABI gezamenlijk onderzoek plaats tussen de branche voor installatietechniek en TNO Bouw. De indruk bestaat dat dergelijke collectieve samenwerkingsvormen niet bestaan met Grondmechanica en WL, terwijl hier wel mogelijkheden liggen.

Enigszins apart staand, maar in het vlak van civieltechnische beleidsanalyse niet onbelangrijk, is de Europese vestiging van de RAND Corporation, eveneens in Delft. De bouwwereld kent voorts meer dan 200 verschillende *branche-organisaties*. Via deze organisaties wordt vaak gezorgd voor deelname van bedrijven in technische adviescommissies van de COPI's teneinde de kennisoverdracht naar de sector te garanderen.

Tabel 4. Collectief onderzoek

INTERMEDIKAIRS	ASPECTEN	BUDGET		
COPI's				
- CUR	geo/waterbouw	20	Mf	
- CROW	o.a. weg/railbouw	13	Mf	
- SBR	B&U-bouw	7	Mf	
- CSB	baggertechnologie	wisselt p.jr		
ADVIES/PROGRAMMERING:				
- TAW	waterkeringen	8	Mf	
- STOWA	waterbeheer	1	Mf	
- BCRS	remote sensing	2	Mf	
- PbIVVS	verkeer/vervoersstudies	n.b.		
ICES:				
- Ondergronds Bouwen	transportinfrastructuur	40	Mf	totaal
- LandWaterImpulsprogr.	civiele techniek, IT, milieu	40	Mf	totaal
- Transporttechnologie	transportinfrastructuur, logistiek	35	Mf	totaal
- Mainport Rotterdam	havenontwikkeling	25	Mf	totaal
- NOBIS	bodemsanering	25	Mf	totaal

Het 'Intechnum' van de elektrotechnische en werktuigkundige installatiebureaus is een branche-technologiecentrum, actief in civiele technologie. Bijzonder is ook de positie van de ARTB, de Adviesraad voor Technologiebeleid in de Bouwnijverheid, de enige sectorale technologie-adviesraad. In een recent advies "Bouwvisie 2010" zijn aanbevelingen gedaan om de vraag naar nieuwe kennis per branche binnen de bouw beter te definiëren en uit te zetten bij onderzoekinstellingen.

2.1.7 Stimulering van wetenschap en technologie

Civiele technologisch onderzoek krijgt vooral een impuls via vijf grote ICES-projecten:

- Het *LandWaterImpuls-programma* (trekker: V&W) is gericht op het samenbrengen van de materiekennis over land en water, informatietechnologie en milieu-aspecten teneinde integrale systemen voor het beslissen over en beheren van infrastructuur mogelijk te maken. Het programma heeft als eindproducten gedefinieerd: meetsystemen, GIS-modellen, rekenmodellen op het gebied van bodem, aquatische systemen, infrastructuur, stedelijke gebieden en milieumonitoring. Deelname door TNO, WL, GD, TUD, UU, IHE, ITC, enkele informaticabedrijven en ingenieursbureaus.
- Zijdelings verbonden met civiele technologie is het *Nederlands Onderzoek-programma Biotechnologische InSitu Sanering* (trekker: EZ), waaraan GD, Heidemij, WL, Iwaco, Shell, GHR en Stichting Europort/Botlek-belangen

deelnemen. Doel is het ontwikkelen van aanzienlijk goedkopere methoden voor het in situ reinigen van vervuilde bedrijfsterreinen met behulp van microben. Daarnaast is ook aandacht voor grootschalige reiniging in natte bekkens en droge depots. Budget: 40 Mf.

- Doel van het programma *Ondergronds Bouwen* (trekker: V&W) is het ontwikkelen van nieuwe mogelijkheden voor het benutten van de ondergrondse ruimte. Nadruk in het programma ligt op onderzoek naar het boren van tunnels in slappe grond als onderdeel van de versterking van de vervoersinfrastructuur. Daarnaast: constructie van U- en V-polders en de nodige technieken voor bekabeling. Deelname door RWS Bouwdienst, WL, TNO, GD, IHC, aannemers, toeleveranciers, ingenieursbureaus (CCM) en universiteiten (TUD, TUE).
- *Transporttechnologie* (trekker: V&W). Doelstelling van dit programma is de versterking van de transport- en distributiefunctie in Nederland. Universiteiten, GTI's, TNO, transportbedrijven en bouwbedrijven werken hier samen.
- *Mainport Rotterdam* (trekker: OC&W). Doel van dit ICES-project is versterking van de kennisinfrastructuur op het vlak van onderwijs (beroepsopleidingen, samenwerking bedrijfsleven en onderwijs). Speerpunten zijn de chemie, containeroverslag en transport & logistiek.

Veel civieltechnologisch onderzoek vindt ook plaats via het COST- en het BRI-TE/EURAM-programma van de EG.

De NWO Stichting voor de Technische Wetenschappen financiert ook projecten op het gebied van de civiele technologie, maar deze zijn niet apart gespecificeerd.

Een belangrijke rol bij de stimulering en financiering van civieltechnologisch onderzoek (overigens niet geheel te scheiding van het transporttechnologisch onderzoek) speelt het ministerie van Verkeer en Waterstaat (zie 'Kennis in Vizier, 1994). Van het totale onderzoeksbudget van V&W (255 Mf in 1993) wordt een deel via eigen onderzoek besteed (met name RWS met een eigen onderzoeksbudget van ruim 40 Mf), een ander deel wordt doorgesluisd via de kennisdirecties naar hetzij externe kennisorganisaties zoals TNO, GTI's, COPI's, hetzij externe commerciële opdrachtnemers.

2.2 Relatienetwerken

De netwerken in de bouw zijn sterk ontwikkeld en worden ook gestimuleerd door de vele vormen van collectief onderzoek en kennisoverdracht via de technische commissies van de COPI's. In het kader van ICES-projecten, waarin bedrijven participeren, werken toegepaste instituten samen. Enkele netwerken die daarnaast bestaan en die relevant zijn voor de formulering en aansturing van onderzoek zijn vermeld in tabel 5. Naast de vermelde netwerken vindt intensieve samenwerking plaats in onderzoekscholen.

Tabel 5. Relatienetwerken civiele technologie

KADER	RELATIENETWERK
Nationaal Onderzoekskader Bouwinformatica (NOBI)	aannemers, TUD-CT, TNO Bouw, bouwmaterialentoeleveranciers, VROM-RGD, RWS
PDI/Cals Centrum (product data interchange)	TNO Bouw, NNI, CIAD, NIID
Combinatie Speurwerk Baggertechnologie	RWS, WL, Ballast Nedam, HAM, Boskalis, Van Oordt
ICES	<ul style="list-style-type: none"> * LWI: TNO, WL, GD, TUD, UU, IHE, ITC, softwaresector, ingenieurbureaus * NOBIS: GD, Heidemij, WL, Iwaco, Shell, GHR, Stichting Europort/Botlek belangen * OGB: RWS, WL, TNO, GD, IHC, aannemers, toeleveranciers, CCM, UD, TUE * Transporttechnologie: GTT's, TNO, bouwbedrijven, transportbedrijven * Mainport Rotterdam: onderwijs - bedrijfsleven
COPI's	Collectieve onderzoeksprojecten (CUR: geo/waterbouw; CSB: baggertechnologie, CROW: weg/railbouw, SBR: B&U-bouw)

3. Evaluatie onderzoekinfrastructuur

De universitaire onderzoeksinspanning op het gebied van civiele techniek en bouwkunde is recent aan een beoordeling onderworpen. De conclusie van de VSNU-onderzoeksbeoordeling op het gebied Civil Engineering / Geodetic Engineering luidt dat het onderzoek van de faculteit Civiele Techniek van de TU Delft van 'goed' tot 'zeer goed' niveau is, met als echt excellente uitschieters structurele mechanica, hydromechanica en hydraulica. Er zijn evenwel grote verschillen tussen de programma's. Zo zijn er enkele kleine onderzoeksgroepen die minder presteren waarbij de omvang een rol speelt. De faculteit is momenteel bezig met hergroepering van het onderzoek. De VSNU-commissie merkt overigens op dat de afhankelijkheid van de derde geldstroom een ernstig probleem kan vormen vanwege de kans dat de balans tussen fundamenteel onderzoek, strategisch onderzoek en toegepast opdracht-onderzoek verslechterd.

Aan de output-kant is de wetenschappelijke prestatie van Nederlandse wetenschappers in het vakgebied 'civiele techniek' goed (EC, 1994). Er wordt meer dan het Europese

gemiddelde gepubliceerd, gemeten in publikaties/staf en ook de citatiegraad is bovengemiddeld, ondanks het feit dat het vakgebied geen echte publicatiecultuur kent¹.

Vanuit de zijde van het uitvoerend bouwbedrijf wordt wel aangegeven dat het universitaire onderzoek te weinig is gericht op de bouwpraktijk, maar dit kan evenzeer een gevolg zijn van de uitgebreide onderzoekinfrastructuur tussen de universiteiten en de marktpartijen. De onderzoeksorganisaties TNO Bouw, Grondmechanica Delft en het Waterloopkundig Laboratorium hebben internationaal een goede wetenschappelijke reputatie. Toenemende onderlinge concurrentie en vooral met RWS-kennisdirecties, ingenieursbureaus en (steeds meer) havenbedrijven op advisering en kennisprodukten (bijvoorbeeld computermodellen en software) zet de continuïteit van goede onderzoeksvoorzieningen wel onder druk.

De Nederlandse onderzoeksinfrastructuur op het technologiegebied der civiele technologie is sterk en breed ontwikkeld. Delft kent een enorme concentratie van de kennisinfrastructuur op het gebied van civiele technologie (meer dan 2000 onderzoekers). Er zijn twee centrale onderzoekscholen met een elkaar aanvullende onderzoeksopdracht (natte en droge bouw), met daarom heen grote onderzoekscholen op specifieke sub-disciplines (stromingsleer, transporttechnologie en geotechniek). Tevens zijn er aanzienlijke middelen vrijgemaakt uit de ICES-gelden voor economisch relevante speerpunten in dit vakgebied.

De verschuiving naar meer ad-hoc collectief onderzoek en de internationalisering op het vlak van R&D-samenwerking tussen bouwbedrijven en onderzoeksinstituten geeft de Nederlandse bouwexpertise de gelegenheid zich internationaal te profileren.

In vergelijking met de andere kritieke technologiegebieden is de civiele technologie niet onderbedeeld en vertoont de infrastructuur geen onoverkomelijke knelpunten.

Bronnen

European Commission, *'The European report on Science and Technology Indicators 1994'* (1994).

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, *'Vizier op onderzoek. Beleidsvisie kennisinfrastructuur Verkeer & Waterstaat'* (1994).

Jaarverslagen universiteiten.

VSNU, *'Onderzoeksbeoordeling Civil Engineering / Geodetic Engineering'* (1995).

¹ Zo heeft Le Pair geconstateerd dat de wetenschappelijke impact van de enorme R&D-inspanningen tijdens de Deltawerken nauwelijks zijn terug te vinden in publikaties, terwijl de technische praktijk zeer veel baat heeft gehad van het Delta-onderzoek.

Publikatie van het
Ministerie van Onderwijs,
Cultuur en Wetenschappen

produktie
Facilitair Bedrijf,
afdeling Reprografie

vormgeving
Total Design,
Amsterdam

foto
Bart Versteeg,
Den Haag

druk omslag
drukkerij Graficon,
Leiderdorp