



Omgevingsanalyses van de gezamenlijke researchcentra van de 3TU.Federatie

Omgevingsanalyses van de gezamenlijke researchcentra van de 3TU.Federatie

Een coproductie van:



BUREAU BARTELS B.V.

RESEARCH | CONSULTANCY | MANAGEMENT

Stationsplein 69
3818 LE Amersfoort
Postbus 318
3800 AH Amersfoort
Telefoon (033) 479 20 20
Fax (033) 479 20 21
E-mail info@brtlls.nl
Internet www.bureaubartels.nl

en

3TU.

 **TU Delft**
Delft
University of
Technology

 **TU/e**
Technische Universiteit
Eindhoven
University of Technology

 **University of Twente**
Enschede - The Netherlands

April 2009

Exemplaren kunnen worden besteld bij de 3TU-communicatieadviseur via www.3tu.nl. Het rapport is ook als pdf te downloaden van de 3TU-website.

Voorwoord

In 2006 begon de 3TU.Federatie —die toen nog in oprichting was— de plannen uit te werken voor vijf Centres of Excellence. De overheid heeft voor het onderzoek in deze centres een subsidie van € 50 miljoen beschikbaar gesteld.

Gekozen is voor de volgende thema's:

- *Duurzame energie, i.h.b. zonne-energie;*
- *High tech systems, i.h.b. intelligente mechatronica*
- *ICT, i.h.b. betrouwbare ICT-systemen*
- *Mechanica van vaste en vloeistoffen, i.h.b. multischaal problemen*
- *Toepassingen van nanotechnologie, i.h.b. op biomedisch terrein.*

Later heeft de Federatie uit eigen middelen nog een zesde Centre of Excellence toegevoegd en wel op het terrein van ethiek en technologie.

Bij de keuze van de thema's heeft de bestuurscommissie Onderzoek van de Federatie i.o. —het 3TU Institute of Science and Technology (IST)—zich, uitgaande van de eigen sterktes van de drie TU's, laten leiden door de maatschappelijke vraag zoals deze is vertaald in de diverse lijsten met sleutelgebieden, prioriteitenprogramma's van NWO en SENTER-NOVEM, de thema's in het Kaderprogramma van de EU e.d. Voor een gedegen analyse was echter destijds onvoldoende tijd beschikbaar.

3TU.IST was van mening dat een dergelijke nadere analyse van de maatschappelijke vragen naar onderzoek niet mag ontbreken en heeft daarom in 2008 Bureau Bartels uit Amersfoort gevraagd voor ieder Centre of Competence een maatschappelijke omgevingsanalyse te maken. Hiervan wordt in dit rapport verslag gedaan.

Omdat er op het gebied van ethiek geen duidelijke vragen naar onderzoek zijn gearticuleerd, maar de vragen wel zijn af te leiden uit het maatschappelijke debat over nieuwe technologieën alsook uit de vraag naar onderwijs, heeft het IST aan het Centre of Excellence for Ethics and Technology gevraagd een essay over het werkkterrein te schrijven dat eveneens in dit rapport is opgenomen.

Met genoegen bied ik u dit rapport aan in het vertrouwen dat de inhoud u inzicht verschaft over het onderzoek dat binnen de 3TU.Federatie wordt verricht en de maatschappelijke relevantie ervan.

*Prof.dr.ir. Jacob Fokkema
Rector Magnificus TU Delft
Voorzitter IST*

Inhoud

Inleiding	7
1. Ethics and Technology	11
2. Sustainable Energy Technologies	27
3. Fluid & Solid Mechanics	61
4. Netherlands Institute of Research on ICT.....	109
5. Applications of Nanotechnology	145
6. High Tech Systems	177

Inleiding

In de afgelopen jaren is in Nederland de samenwerking tussen de drie technische universiteiten (drie TU's) geïntensiveerd. Hiervoor zijn verschillende verklaringen te geven. Allereerst willen de technische universiteiten met de bundeling van krachten bereiken dat zij op bepaalde onderzoeksterreinen ook in internationaal verband een belangrijke speler kunnen blijven (of kunnen worden). Verder kan met de intensivering van de samenwerking meer met één gezicht naar buiten worden getreden. Dit kan op zich bijvoorbeeld weer in positieve zin bijdragen aan de toegankelijkheid van de drie TU's voor het bedrijfsleven en maatschappelijke organisaties. Met de bundeling van krachten willen de drie technische universiteiten dus ook bijdragen aan de versterking van de Nederlandse kenniseconomie.

De samenwerking tussen de drie technische universiteiten heeft inmiddels op verschillende wijzen vorm en inhoud gekregen. Zo is in de afgelopen periode bijvoorbeeld de 3TU.Federatie opgezet. Daarbij hebben de technische universiteiten als ambitie geformuleerd om op het gebied van onderwijs en onderzoek tot de Europese top te gaan behoren. Om invulling te geven aan deze ambitie zijn de technische universiteiten nagegaan waar gezamenlijke kerncompetenties liggen. Dit heeft geresulteerd in de definiëring van een vijftal **Centres of Competence** (CoC's) en wel de volgende:

- Sustainable Energy Technologies (SET).
- High Tech Systems (HTS).
- NanoTechnology Applications.
- Netherlands Institute for Research on ICT (NIRICT).
- Fluid and Solid Mechanics.

Binnen elk van deze CoC's zijn vervolgens zogenoemde **Centres of Excellence** (CoE's) gedefinieerd. Het gaat hierbij in feite om de afbakening van onderzoeksgebieden binnen de CoC's waarop de drie TU's in de komende jaren in het bijzonder willen inzetten. Het betreft dan onderzoeksgebieden waarbij de drie TU's, door een bundeling van krachten, over een 'excellente onderzoekscapaciteit' beschikken en waarbij bovendien sprake is van belangrijke wetenschappelijke uitdagingen. De ambitie van de drie technische universiteiten is om in de komende jaren juist ook deze expertisegebieden binnen de CoC's verder uit te bouwen.

Bovenstaande ontwikkelingen passen goed binnen het kabinetsbeleid. Immers, ook in dit beleid wordt – in het verlengde van de ambities zoals die door de EU zijn geformuleerd – gestreefd naar een 'koppositie' voor Nederland op het gebied van kennis en innovatie. Om deze redenen is er vanuit de Ministeries van Economische Zaken en Onderwijs, Cultuur en Wetenschap voor een periode van vijf jaar 50 miljoen euro ter beschikking gesteld aan de drie TU's. Deze middelen zijn bedoeld voor de verdere uitbouw van de vijf Centres of Excellence binnen de CoC's.

Binnen de 3TU.Federatie en in de contacten met de betrokken ministeries is ook afgesproken dat er externe (maatschappelijke) omgevingsanalyses van de CoC's uitgevoerd zullen worden. Daarbij gaat het dan met name om de economische en maatschappelijke relevantie van de (thema's van de) CoC's. Het gaat hierbij om een **analyse op hoofdlijnen**. Enerzijds zijn de CoC's vrij omvangrijke 'clusters' waarbinnen weer diverse thema's met bijbehorende onderzoeksgebieden onderscheiden kunnen worden. Verder worden er diverse thema's binnen de CoC's onderscheiden. Binnen elk van deze thema's kunnen weer verschillende onderzoeksgebieden worden onderscheiden (die gerelateerd zijn aan het betreffende thema). Diepgaande maatschappelijke analyses waarin al deze thema's en onderzoeksgebieden gedetailleerd worden meegenomen, zouden dan ook zeer tijdrovend en (daarmee) kostbaar worden. Anderzijds was, hiermee samenhangend, een belangrijke randvoorwaarde dat de maatschappelijke omgevingsanalyses binnen een beperkte doorlooptijd en bijbehorend budget uitgevoerd dienden te worden. Voor de volledigheid merken we op dat in de maatschappelijke omgevingsanalyses dus geen aandacht wordt besteed aan de (internationale) wetenschappelijke kwaliteit van het onderzoek dat binnen (de thema's van) de CoC's wordt uitgevoerd.

De omgevingsanalyses van de vijf CoE's zijn door Bureau Bartels uitgevoerd. Voor het werkterrein van Ethiek en Technologie bestaan geen lijsten met onderzoeksprioriteiten. Er is wel een maatschappelijk behoefte aan ethisch onderzoek, maar deze vertaalt zich niet in een (koopkrachtige) vraag. De onderzoekers destilleren a.h.w. zelf de vraagthema's uit het maatschappelijke en internationale debat. Dit is gedaan in het essay waarmee deze bundel opent. Het essay is in het Engels geschreven, omdat dit nu eenmaal de voertaal van onderzoekers is. Om kosten te besparen, is van een Nederlandse vertaling afgezien.

Centre of Competence CoC	Centre of Excellence CoE	Wetenschappelijk Directeur, WD
High Tech Systems	Intelligent Mechatronic Systems	Prof.dr.ir. M. Steinbuch (TU/e)
Netherlands Institute of Research on ICT (NIRICT)	Dependable ICT Systems	Prof.dr. P.M.G. Apers (UT)
Sustainable Energy Technologies	Sunlight utilization for Novel Energy Technologies	Prof.dr.ir. T.H.J.J. van der Hagen (TUD)
Applications of Nano Technology	Bio-Nano Applications	Prof.dr. H.W.M. Salemink (TUD)
Fluid and Solid Mechanics	Multiscale phenomena	Prof.dr.ir. G. Ooms (TUD)
X	Ethics and Technology	Prof.dr. M.J. van den Hoven (TUD)

1

Ethics and Technology: Responsible innovation and Value Sensitive Design

By

**Peter-Paul Verbeek, Jeroen van den Hoven
& Ilse Oosterlaken**

1. The challenge: the need for responsible innovation
 2. Ethics of technology 'new style'
 3. 3TU.Ethics and its environment
 4. Research themes within 3TU.Ethics
- Conclusion

3TU.Federation: technology *and* ethics

The three technical universities of the Netherlands belong to the world's best technical universities and they are at the forefront of technological innovation. The concentrated expertise and accumulated knowledge of the technical universities comes with obligations towards society. It is not without reason, therefore, that the 3TU.Federation has decided to institutionalize reflection on the social and ethical questions raised by applied science, technology and engineering, by establishing the 3TU.Centre for Ethics and Technology. The 3TU.Centre for Ethics and Technology conducts research into the ethical and social issues of applied science, technology and engineering preferably in close collaboration with the technological research that takes place in the five technical *3TU.Centers of Excellence* – in the areas of bio-nanotechnology, robotics, information technology, sustainable energy and solid and fluid mechanics.

Technology and applied science have the potential to change society dramatically and to impact the lives of citizens worldwide. Myriad of new moral problems and ethical questions arise, for which classical ethical approaches often have insufficient answers. New approaches to ethics are required to address the moral problems relating to contemporary technological developments. Aloofness, scholasticism and high abstractions are no longer sufficient to adequately address the problems of the 21st century. The type of ethics research that is required for dealing with ethics of technology is not only carried out in libraries and offices of philosophy departments, but also in design studios and laboratories. Ethicists of technology should be well informed about recent developments in diverse fields of applied science, in order to make a good and realistic estimation of possible social implications and moral consequences. They should be able to discuss design decisions with engineers. That is why the work of the 3TU.Center for Ethics and Technology (3TU.Ethics) is as close as is possible at present to the work in the other 3TU.Centers of Excellence and Centres of Competence.

3TU.Ethics studies ethical issues in the development, use and regulation of technology. Some of the central questions are: how can we see to it that new emerging and converging technologies, smart artifacts, next generation infrastructures, information systems and architectures express our considered moral judgments and widely endorsed public values? How can we make sure that they inherit our good intentions? How can we assess our technology in the light of public moral values like sustainability, user autonomy, safety, privacy, accountability, transparency and democracy, quality of life? How can public values be accommodated in the design process? What role should public actors play in decision making about technological risks in the design process? And how do we take into account that our norms and values are affected themselves by technological development?

Examples of 3TU.Ethics projects in collaboration with other Centers of Excellence/Competence

With the 3TU.Centre for Multiscale Phenomena:

Ethical Aspects of Modelling in Engineering Sciences (TU/e)

Many studies assume that the designer – as decision maker – is the primary actor to balance advantages and potential risks in the design process. In the case of more complicated artefacts, however, designers' work is substantially supported by the outcomes of (mathematical) models. The inner working of such models often obscures a direct understanding of the link between decisions and their consequences. This means that a new situation occurs: the model maker plays an important role in the design process. The proposed study aims to clarify issues with respect to liability of model makers in addition to that of designers.

With the 3TU.Centre for Intelligent Mechatronic Systems:

An anticipatory ethical analysis of human-robot interaction in (health) care (UT)

Given the financial pressure on our health care systems and organisations, robots are likely to play a significant role in health care in the near future. This project will help to anticipate and evaluate these changes by developing realistic near-future scenarios and by evaluating these scenarios in terms of their contribution to the good life. The focus will be on the ethical aspects of human-robot interaction in health care contexts. Will carebots enhance the quality of life of patients, given that human-human interaction will be substituted for human-robot interaction? What is 'genuine' social interaction? What should be an appropriate relation between humans, and between humans and technology? What is the 'good life'?

With the 3TU.Centre for Sustainable Energy Technologies:

Recycling nuclear waste, accompanying risks and associated values (TUD)

After being ruled out in many countries after the Chernobyl disaster in 1986, nuclear energy has recently made a serious comeback in the public and political debates about the future of energy. The waste is perhaps the Achilles' heel of nuclear energy, as it remains radioactive for hundred thousands of years. Assuming that nuclear energy should at least be considered as an option in the future of energy supply, this project addresses two questions. How should the relevant moral values be incorporated in decision-making with respect to the fuel cycles? How should the value trade-offs between the present generation and future generations be made in an ethically acceptable way?

This essay presents an overview of the most relevant ethical questions that are investigated within 3TU.Ethics and explains the way in which this research is conducted and situate the centre in the national and international landscape of institutions and groups which study the social and ethical aspects of technology. We will start by discussing how developments in technology and society have created a need for responsible innovation. One could call this the 'raison d'être' of 3TU.Ethics. Next, we will discuss the vision of 3TU.Ethics on what a contemporary ethics of technology should look like. In the third section we will then discuss more specifically which research topics 3TU.Ethics is addressing and which research projects the centre is undertaking. Section 4 will discuss the environment in which 3TU.Ethics operates, both in the Netherlands and internationally. We will end with some conclusions and the ambitions of 3TU.Ethics for the future.

1. The challenge

The need for responsible innovation

Technology is nowadays ubiquitous in society and in our daily life. There is hardly an aspect of human life that is not affected by technology. Cars enable us to travel large distances in a short period of time and thus shape our work and free time. Communication technologies have made possible completely

new interactions between people and in doing so have changed society drastically. Pacemakers and beta-blockers regulate our hearth rhythm. Robots play an increasingly important role in production processes and are about to be introduced in house keeping and health care. This influence of technology means that carefulness is required in technological design, technology policy and usage of technology. For example, risks may arise because of the introduction of a new technology – as, for example, the discussion about health damage as a consequence of GSM transmission points and nano particles have shown – and one should deal in a morally responsible way with these risks. Or important moral controversies may arise about technologies, as happened recently in the Netherlands with the public debate about pre-implantation genetic diagnostics with respect to hereditary breast cancer. Conceived even more broadly, technologies always influence the quality of life, like new media influence human relationships.

Contemporary technological developments further increase the complexity of the relations between technology, society, humans and ethics. The current convergence of bio, nano, information and neuroscience leads to completely new ethical questions. The fusion of these fields enables technologies that will not only greatly influence people, but will even affect human nature. Intelligent surroundings influence human behaviour. Nanotechnology laboratories at the size of chip and pill make possible new forms of diagnostics. Synthetic biology makes it possible to design and *produce* living organisms rather than just *studying* them. The discipline of tissue engineering is getting more and more successful in making human tissue that can be implanted in the body. Techniques to analyze human DNA and to interfere with our hereditary material are becoming more and more advanced. What will all these technologies mean for human beings and for the quality of our lives? Should we not adopt a precautionary principle that will keep us from undertaking things that are too risky? Or should we acknowledge that humans have always been technological creatures, and realise that we are just entering a new phase in the interconnectedness of human and technology?

In short: science and technology are of paramount social, political and economic importance in the 21st century. They are not only drivers of economic and social developments; they shape our societies, practices and institutions. In order to come to grips with science and technology and to make adequate and appropriate political and policy decisions regarding them, we need to reflect on the ethical aspects of their development, the moral acceptability of their application, and their contribution to the quality of life and well-being. It is now widely recognized that technologies must be developed and used responsibly, as many choices are involved with major implications for health and safety, environmental quality, civil liberties, social justice, and the quality of life. Technological developments demand ethical reflection.

A clear expression of this need for 'responsible innovation' is a new research grant program with this name that was launched by the Netherlands Organization for Scientific Research (NWO) in June 2008. The program is financed by six Dutch ministries, which have realized how important it is to engage pro-actively with new technologies. It is an innovative program, in the sense that it is multidisciplinary, proactive and solution-oriented (taking a 'make'- or design perspective in the broadest possible sense), international, and geared towards social innovation and valorization (involvement of stakeholders and dissemination of results). The program stimulates close interaction between natural scientists, engineers, social scientists, and ethicists. 3TU.Ethics scientific director Jeroen van den Hoven is the main author of the program and chair of the program committee for NWO and it is thus not surprising that the spirit of this program is very close to the core interests of

3TU.Ethics. In the next two sections we will explain how 3TU.Ethics conceptualizes the interaction between ethics and responsible innovation.

Ethics as an innovation boost

When thinking about ethics, technology is often only mentioned as the source of problems, not as a potential solution to our moral dilemmas. When thinking about technology, ethics is often only mentioned as a constraint on developments, not as a source and spring of innovation. In our view, both are limited perspectives. It is relatively easy to embark on unfettered technological development. Many of the Asian new economies do so, but it is much harder to incorporate our considered moral values in research, design, development and production. Nevertheless, the ability and knowledge to do so may be an important differentiator between mere clever technology and engineering and smart and responsible innovations.

Moreover, moral dilemmas may even provide an important incentive for new innovations. We are repeatedly confronted by situations in which we can not satisfy all the things that are morally required of us. Sometimes it is simply not possible to realize our moral principles and value commitments given the way the world is. The result is that we are morally 'overloaded'. The basic idea of moral overload is that a person is confronted with a choice situation in which different obligations apply but in which it is not possible to fulfill all these obligations simultaneously. The notion of moral overload is quite similar to what others have described as a moral dilemma. What can one do in such cases? Technology and engineering can help and are often used to help in this type of situation. It may make the impossible possible, in the sense of "feasible" or "physically realizable." Here are some examples in which moral dilemmas are an incentive to innovate:

Trade off between security and privacy. As a society we value privacy, but at the same time we value security and the availability of information about citizens. This tension is exemplified in the debates about ubiquity of CCTV cameras in public places. Either we install them everywhere, and have the desired level of security in that area but give up on our privacy; or, in order to respect people's privacy we do not install them everywhere, but then we need to settle for less security. Respect for privacy may pull us in the direction of reticence, whereas security pushes us in the direction of making more information about individual citizens available to the outside world. Smart CCTV systems allow us to have our cake and eat it, in the sense that their smart architecture allows us to enjoy their functionality and at the same time to realize constraints on the flow and availability of personal data in order to guarantee a minimum level of respect for privacy. These applications are referred to as Privacy Enhancing Technologies (PET).

Trade off between economic growth and sustainability. Environmental technology in Germany is among the most advanced in the world. One of the reasons for this is the fact that in the Nineteen Sixties the Green Party was very influential in Germany, and articulated the obligation to reconcile economic growth with protection of the environment. It is only because the focus on production and economic growth was explicitly and continually contrasted with environmental values that an opportunity was created to find ways in which the two could be reconciled. Environmental technology – including technology that evokes environmentally friendly consumer behavior – is exactly the sort of smart technology that changes the world in such a way as to allow us to produce and grow without polluting the environment.

Moral reflection, therefore, does not by definition impede technological development, but rather gives it new directions. And, reversely, technical progress can entail moral progress because it enlarges the opportunity set available to people. Technological developments can offer new ways out of moral dilemmas and social tensions – even though not all our problems, to be sure, can be solved in this way and even though technological solutions may not be the only solutions possible. Rather than being at odds with each other, morality and technology are closely connected.

Innovation as a source of new ethical dilemmas

Of course, not all instances of technological progress entail moral progress. One reason is that technical innovation not only enlarges the range of options, but that new options also bring new side-effects and risks. This may introduce new value dimensions that should be considered in the choice situation and these new value dimensions may create new forms of moral overload. Nuclear energy may help to decrease the emission of greenhouse gases and at the same time provide a reliable source of energy, it also creates long-term risks for future generations due to the need to store the radioactive waste for thousands of years. It thus introduces the value dimension of intergenerational justice and creates new moral overload. The design of new reactor types and novel fuel cycles is currently being explored by 3TU.Ethics to see whether problems can be accommodated in design.

Second, technical innovation may introduce choice in situations in which there was previously no choice. An example is antenatal diagnostics. Diagnostic technologies like ultrasound imaging create the possibility to predict that an as yet unborn child will have a certain disease with a certain probability. This may raise the question whether it is desirable to abort the fetus in certain circumstances. This choice situation is characterized by a conflict between the value of life (even if this life is not perfect) and the value of avoiding hopeless suffering. Given that prenatal diagnostic technologies introduce such new moral dilemmas one can wonder whether the development of such technologies contributes to diminishing our moral overload. The same applies to the technologies for human enhancement that are now foreseen in the field of nanotechnology and converging technologies.

To be sure, also moral dilemmas evoked by technological developments can incite morally inspired technological innovation. In the biomedical field of tissue engineering, for instance, stem cells are used to grow specific types of human tissue. Those stem cells used to be typically taken from human embryos that were not implanted after in vitro fertilization. This was a controversial practice, because it is closely linked to the fierce debate about abortion. Using these stem cells, according to some, comes down to killing a human being. Because the legal prohibition to use embryonic stem cells in some countries threatened to paralyze research in tissue engineering, a method was developed to 'deprogram' skin cells to stem cells. In this way, a moral discussion initiated technological change, and a technological answer to a moral problem was found.

2. Ethics of technology 'new style'

The birth of modern ethics of technology

In philosophy, various approaches to the ethics of technology have developed, which differ radically from each other. In its early days, ethical approaches of

technology took the form of *critique*. Rather than addressing specific ethical problems related to actual technological developments, ethical reflection on technology consisted in criticizing the phenomenon of 'Technology' itself. Classical approaches in the philosophy and ethics of technology feared the ongoing fusion of technology and culture, and aimed to protect humanity from the alienating powers of technology. They saw the technologization of society as a threat to human authenticity and to the meaningfulness of reality. People would only exist as cogs in the machine of a technologized society, reduced to the function they have in the apparatus of mass production, while reality would only have meaning as a heap of raw material, available to the human will to power. Technology was approached not in terms of specific artifacts that help to shape our everyday lives, but as a monolithic phenomenon that is hostile to the human world.

Gradually, however, the field of 'ethics of technology' developed, which sought a more detailed understanding of and contact with actual technological practices and developments. Rather than placing itself outside or even against the realm of technology, ethics now came to address actual ethical problems related to technology. Applied subfields emerged, like biomedical ethics, ethics of information technology, and ethics of nanotechnology. In these subfields, specific moral problems are investigated that are connected to the design, use, and social impact of technologies. Moreover, ethics became more interested in the *process* of technology development. Disciplines like engineering ethics and ethics of design came into being, which are explicitly directed at the practice of technology development. Over the past decades, applied ethics has seen an explosion of journals explicitly directed at specific domains of technology, ranging from ethics of information technology to 'nano-ethics' and from bioethics to engineering ethics.

Technology and society: strongly interwoven

There are also approaches in the ethics of technology that feel that the current connection between applied ethics and technology does not go far enough yet. Paradoxically as it may seem, according to these positions, many ethical approaches to technology still have too little contact with technology itself and its social and cultural role. Quite often the ethics of technology takes a position toward technology, that is as externalist as the early critique of technology. At the basis of both approaches is a radical separation between the realms of technology and of society. Some forms of engineering ethics, e.g., tend to focus on issues of safety and risk. In this approach, society needs to be protected against the risks generated by technology, and engineers have to blow the whistle when they discover immoral practices or negative consequences of specific innovations. Often-used case studies concern the roles of engineers in the development of the exploding Space Shuttle 'Challenger' and the Ford Pinto with a gas tank that ruptured in collisions at 25 m/h. Much of computer ethics, to give another example, focuses on issues of privacy, also approaching technology as a potential intruder in the realm of human beings.

Technologies are approached here in a predominantly instrumentalist way: they fulfill a function, and if they fail to do this in a morally acceptable way, the whistle should be blown. The central focus of this approach is to make sure that technology does not have detrimental effects in the human realm and that human beings control the technological realm in morally justifiable ways. What remains out of sight in such externalist approaches, though, is the fundamental intertwinement of both domains. Technology and society cannot be separated. Technologies, after all, play a constitutive role in our daily lives. They help to shape our actions and experiences, they inform our

moral decisions, and they affect the quality of our lives. When technologies are used, they inevitably help to shape the context in which they function. They help specific relations between human beings and reality to come about, and co-shape new practices and ways of living. A cell phone, for example, is not just a functional instrument that helps us to talk to other people wherever we are and wherever they are. Once it fulfills this function, it explicitly helps new ways of communicating and interacting to come about. It creates new ways of dealing with appointments; long-term planning becomes less necessary if everybody can be reached everywhere anytime. It generates new styles of communication, especially because of its SMS functionality which even gave rise to the development of a new 'language'. And it helps to redefine the boundary between public and private, by inviting people to have private conversations in public.

Because of their fundamental role in our daily lives, technologies also contribute to the moral actions and decisions of human beings. A good example here are genetic diagnostic tests for hereditary forms of breast cancer. Such tests focus on mutations in the breast cancer genes BRCA1 and BRCA2, which can predict the probability that a woman will develop this form of cancer. Carriers of such mutations (mostly women, but also men can develop breast cancer) are presented with the choice to do nothing and run a high risk to develop breast cancer; to undergo regular testing in order to discover cancer in an early stage; or to have both breasts preventively resected. Discovering such mutations transforms healthy people into potential patients. Moreover, this form of genetic testing translates a congenital defect into a preventable form of suffering. By choosing to have one's breasts amputated, after all, one can prevent that one will develop breast cancer. When this technology is used, therefore, it organizes a situation of choice. This choice is complicated, because it involves a new category which is introduced by this new technology: between health and illness, genetic testing places the area of being 'not-yet-ill'. The very fact that this technology makes it possible to *know* that it is very likely that a person will become ill, added to the possibility to preventively remove organs, makes this person responsible for his or her own disease. In so doing, the technology of genetic testing creates a moral dilemma and also suggests ways to deal with this dilemma. Technologies can mediate moral decisions by organizing situations of choice and by suggesting answers to this choice.

In order to deal adequately with such moral roles of technologies, ethics and technology can no longer be seen as belonging to two radically separate domains, one human and the other nonhuman. It is a mistake to locate ethics exclusively in the 'social' realm of the human, and technology exclusively in the 'material' realm of the nonhuman. Rather, the interwoven character of both spheres should be central. Morality is not only a human affair, but sometimes explicitly involves technologies.

Two cultures

Ethics of technology thus requires close interaction with technological practices. Ethicists can no longer stick with broad analyses of 'the role' of 'technology' in 'society'. Ethics of technology should take place in close interaction with technological developments themselves. This means that this discipline has an intermediate function between the material world of technical systems and artifacts on the one hand and the spiritual world of norms, values and responsibilities on the other hand. An engineering ethicist should understand both worlds and be able to operate in both worlds.

This, however, immediately raises a problem that has already been described by C.P. Snow in 1959 in his famous lecture *Two Cultures*. Snow argued that there is an unjustified gap between the natural sciences and the social sciences and that this gap is keeping us from solving important social problems. Snow was especially surprised that in his time (and the question is how much has changed) it was the done thing for social scientists to look down one's nose at the alleged cultural poverty of natural scientists and engineers. While one is considered to be a barbarian if one is not informed about the latest developments in the area of art and literature, it is possible to declare without shame or even with pride that one does not understand at all the workings of a machine.

This gap must be closed by the ethics of technology. Not only by mastering both the discourses or styles of thinking that are used in engineering and in the social sciences, but especially by learning to understand how technology and society are closely interwoven. Technology arises from society, but changes it at the same time. This means that we can no longer, like the classical critique of technology did, think in terms of 'technology' as a broad social and cultural phenomenon. We need to address specific technologies and technological developments. But it also means that mere technical solutions for ethical problems are insufficient. The radical gap that seems to exist between human and technology – technology is, after all, 'dead' and passive, while humans can act and have intentions – should be reconceptualized. Technology shapes society and the lives of people and, the other way around, people shape technology.

Because the narrow connections between technology and society usually remain underexposed, the moral impact of technology and the moral dimensions in the work of designers and engineers often receives too little attention as well. And this is an unfortunate situation. One of the most powerful factors shaping society is thus obscured from view, and, more seriously, kept away from critical ethical reflection and often even from democratic decision-making. The field of ethics of technology can change this in several ways. By making visible which ethical dimensions technology has, for example, in order to generate starting points for ethical reflection. By generating methods that can help to morally evaluate technologies and that enable designers to take responsibility for the ethical implications of their work. By doing ethical parallel research, in order to identify the ethical questions already in an early stage, so that they can be answered before technological development has taken an irreversible direction. And by developing concepts and frameworks that can help policy makers, users and designers with seeing the ethical dimensions of technology and with taking the decision that are required because of these dimensions.

Ethical parallel research

The Netherlands Organization for Scientific Research (NWO/STW) model of ethical parallel research in which ethical investigations are closely connected to programs of technological development is comparable to the approach of 3TU.Ethics. One of the main aims of ethical parallel research is to uncover the ethical issues potentially raised by new technological developments in an early stage. Such results can then be fed back to the technological researchers involved, for example by organizing workshops and seminars, or by engaging in their research and design activities. The philosophy departments participating in 3TU.Ethics have gathered ample experience in carrying out such research during the last few years.

Examples of current/recent ethical parallel research projects carried out by 3TU.Ethics

Normative implications of non-invasive instruments to analyze blood and tissue

This research project aims at answering two questions: 1) What are the moral and social consequences of non-invasive measurements in human blood and tissue? 2) How can the awareness of the moral aspects of engineering design be enlarged, maintained and institutionalized?

Ethical aspects of the upscaling of an innovative waste water treatment technology

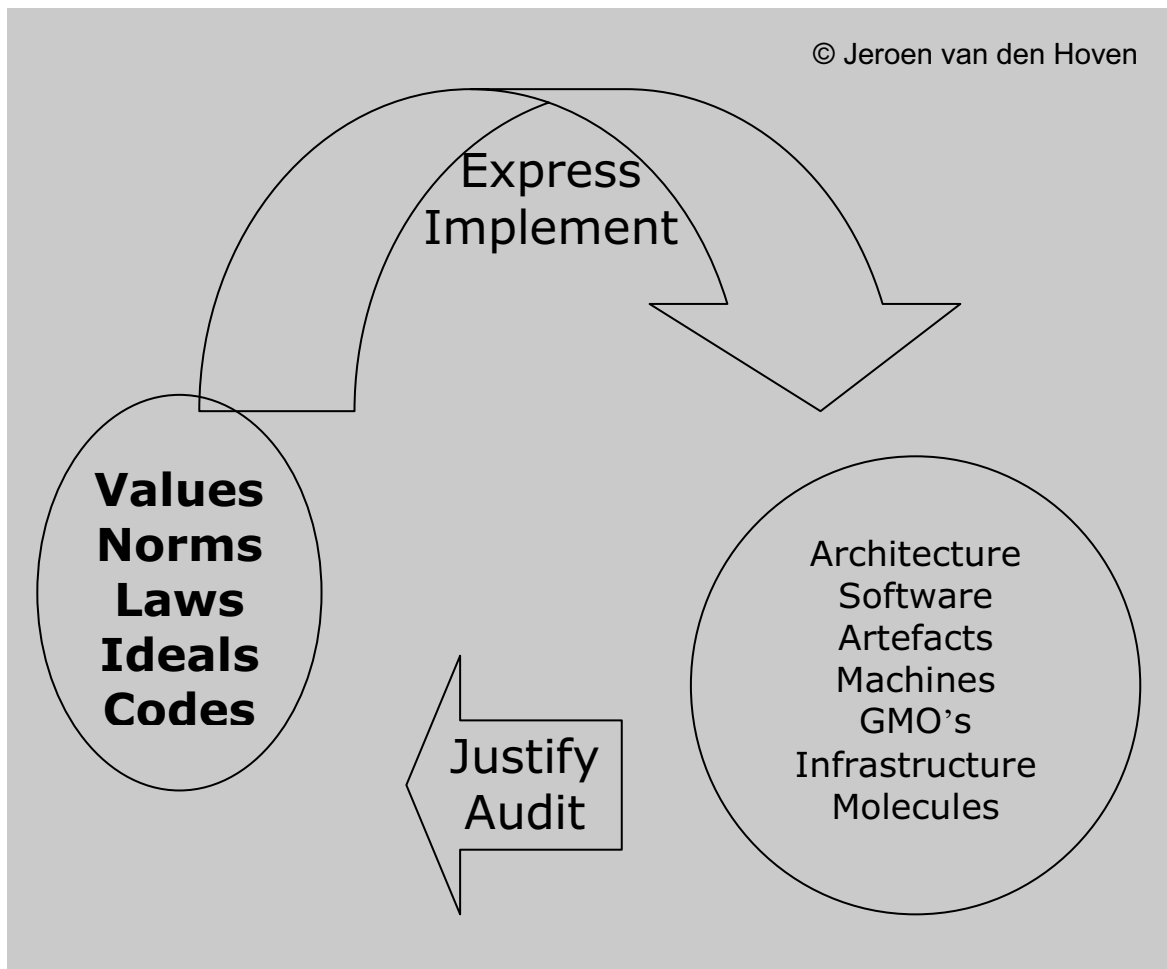
This project addressed the question: how can research choices regarding the transition from a lab-scale model to a full-size open biotechnological process plant be improved with regard to the acceptability of the risks and hazards resulting from the uncertainties and incompleteness of knowledge about the process to be upscaled?

Medical Images in the Health Care Process

Who should have access to enhanced medical images and their quantitative interpretations, why, where and when, on which conditions, and with which responsibilities? The research project has two deliverables: (i) a proposal for an ethically sound information architecture, and (ii) a methodological characterization of how in general ethically sound information architectures should be developed.

Value sensitive design

Another important shape that the activities of 3TU.Ethics can take is that of Value-Sensitive Design (VSD). This approach aims to account explicitly for human values throughout the design process. From the Value Sensitive Design perspective, the technologies that are the outcome of design processes are not neutral but ethically laden, and therefore moral considerations need to inform the shaping of artifacts. A value-sensitive design approach situates moral questions early on in the process of design and the development of technologies and systems. It proposes rational procedures for designing artifacts under the guidance of moral values. When designing technologies from a VSD perspective, it is not technological functionalities that are the primary focus of design activities, but the moral values that are to be supported by the technology-in-design. The method has been used, for instance, to design a web browser that requires informed consent before saving a 'cookie' (a small file containing personal information about the person surfing the internet). Starting from the values of privacy and autonomy, this design realized in creating a web browser that is not only functional for surfing the internet, but that also respects some important values that are often threatened by other web browsers.



3. 3TU.Ethics and its environment

The philosophy departments of Delft, Eindhoven and Twente, that together form 3TU.Ethics, perform excellent research in the area of philosophy and technology. This became clear with the publication of the QANU Assessment of Research Quality report of philosophy groups in the Netherlands in 2006. On a five point scale, these three departments gained the maximum score ("excellent") on nearly all four criteria:

	Quality	Relevance	Productivity	Viability
Delft	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent
Eindhoven	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent
Twente	Very good	Excellent	Excellent	Excellent

In their general comments about the report the review committee explicitly mentioned the "innovative work" done in the philosophy of technology, "a relatively new branch of the subject in which Dutch philosophers can claim to be pre-eminent." Another indication of the research quality of the departments involved is the number of grants (NWO and FP7) that their researchers have received in the past years (13 applications, €4,3 million since 2004). This also includes four prestigious VENI-VIDI-VICI grants.

International position

As just noted, the international QANU philosophy research evaluation committee noted that "Dutch philosophers can claim to be pre-eminent" in the philosophy of technology, their work "can be ranked with the very best of its kind." About the philosophy departments in Eindhoven and Delft the QANU committee noted: "It is evident that the joint program has become a major player in the international context of philosophy of technology. Evidence of international participation is plentiful and many publications have appeared in good places." About the philosophy department in Twente the QANU committee noted: "...the principal researchers have all been engaged with their subject at an international level. It is notable evidence of this that one of the key publications appeared first in Dutch and was subsequently published in English by a major academic press."

With the establishment of 3TU.Ethics more international visibility has been created for the excellent work of our researchers, amongst others through the extensive website of 3TU.Ethics (www.ethicsandtechnology.eu), including a publication database and information about internationally leading conferences in the field of the philosophy of technology that the three philosophy departments have recently organized. Examples are:

- E-CAP 2007, European Conference on Computing and Philosophy, UT, June 21-23 2007
- WPE 2007, Workshop on Philosophy and Engineering, TUD, October 29-31 2007
- SPT 2009, Conference of the Society for Philosophy and Technology, UT, July 8-10, 2009
- Moral Responsibility: Neuroscience, Organization and Engineering, TUD, August 24-27, 2009

One of the benefits of this increased international visibility is already starting to emerge; in the past two years we have noted an increase in very good foreign applicants for vacant research positions. As a result, the number of foreign researchers rose from 12 of 40 (30%) in 2007 to 17 of 41 (41%) in 2008. An example of a new foreign researcher within 3TU.Ethics is professor Seumas Miller, former director of the Centre for Applied Philosophy and Public Ethics (CAPPE) in Australia. This is a positive development, indicating that 3TU.Ethics is able to attract the best in their field, irrespective of nationality.

Our international status is also reflected in the commitment of a number of excellent foreign institutes / centres to participate in a new, internationally oriented PhD program that 3TU.Ethics is currently preparing. PhD students will be required to spend 6 months abroad at one of the international partners of 3TU.Ethics, being:

- Centre for Applied Philosophy and Practical Ethics (CAPPE), Canberra/Melbourne, Australia
- Philosophy Department of the Royal Institute for Engineering, Stockholm, Sweden
- Uehiro Centre for Applied Ethics, Oxford, UK

A feasibility study in preparation of the new PhD program revealed that 3TU.Ethics will be offering something unique in its kind. There are myriad PhD programs in philosophy in the USA, the UK, Australia and Canada. Several of these universities claim that they have a strength in (some area of applied) ethics. However, only a few of them explicitly offer a specialized (sub)program, with bioethics being the most popular topic for such a specialization. Another category of somewhat comparable programs can be found in the field of science & technology studies (STS). Most of these programs are very interdisciplinary, drawing from fields such as sociology, history, philosophy, ethics, engineering, political science, cultural studies, innovation studies, economics, and anthropology. In comparison, the 3TU.Ethics PhD pro-

gram will be much more focused. The PhD program proposed by 3TU.Ethics is thus truly unique, worldwide.

Growing demand for ethics of technology

Graduates from the 3TU.Ethics PhD program could either work in philosophy departments/centers that pay systematic attention to the ethics of technology (or related areas of applied ethics, such as bioethics), or be employed by engineering departments/centers wishing to pay attention to the ethical aspects of their core research, or as policy makers for government agencies/departments being concerned with new technologies. Indications of the existence and growth of such a labor market are:

- Ethics in engineering curricula in the Netherlands

Close to home: ethics is receiving more and more attention in the bachelor and master curricula of Delft, Eindhoven and Twente. The teaching load of the philosophy departments at these three universities has thus increased over the years, and qualified people are necessary to teach these courses. Technology Foundation STW has recently awarded a grant of 40 k€ to researchers of 3TU.Ethics for developing eight ethics modules aimed at educating PhD students from Delft, Eindhoven, Twente and Wageningen. STW has always been strong on fundamental research in technology and the natural sciences. The fact that they are now willing to stimulate ethics education to PhDs in engineering in this way is another indicator that there is increasing attention for this topic.

- Ethics in ABET criteria for (foreign) engineering programs

This is a development that can be found in engineering faculties and universities elsewhere, namely the adoption of the Engineering Criteria 2000 by the Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET). Beginning in fall 2001 all American engineering programs are to be accredited using Criteria 2000. The ABET document states amongst others that "engineering programs must demonstrate that their graduates have an understanding of professional and ethical responsibility." This and other passages indicate that engineering programs are required to see to it that students acquire the knowledge and skills necessary to make ethically responsible decisions during the execution of their profession. Naturally, this means that there is a demand for staff qualified to teach students in this area. Note: ABET may be an American organization, but its criteria are increasingly used by engineering programs worldwide.

Not only in teaching, but also in research there are increasing opportunities for ethicists of technology, which is indicated by:

- Programs of the Netherlands Organization for Scientific Research (NWO)

In the past years, new programs of the Netherlands Organization for Scientific Research (NWO) have shown an increasing awareness that technological development gives rise to all kinds of ethical questions that need to be addressed. In the period 2004-2009 NWO, supported by STW, made possible ethical parallel research projects, in which ethicists work closely together with engineers working on new technologies. In 2008 NWO launched a new program called "maatschappelijk verantwoord innoveren" (responsible innovation), in which ethical questions have an important place and ethicists are once more asked

to work closely together with engineers (and social scientists). It is largely financed by seven Dutch ministries.

- **Ethics in international technological research programs**

Also international, research-oriented programs in science and technology nowadays make room for ethical issues. An example is the attention being paid to the different ethical, legal, and social aspects (ELSA) related to nanobiotechnology in the Nano2Life program. Ethics also has a place in the FP7 research program of the EU.

- **New research groups and centers in ethics and technology**

In the two year and a half that 3TU.Ethics exist, scientific director Jeroen van den Hoven has already received two requests to be on the board of research centers being established elsewhere, and modeled after 3TU Ethics, namely in Barcelona and El Paso (Texas).

- **New scientific journals in the ethics of technology**

Scientific publishers have a good nose for new and upcoming fields of science. The growing importance of research in the ethics of technology can thus also be inferred from the fact that publishers like Springer recently launched new journals such as Neuroethics and Nanoethics and are considering new publication initiatives in ethics and technology.

The Netherlands

Many connections exist between members of 3TU.Ethics and other organizations studying the relations between technology and society. Several members, for instance, cooperate with the Rathenau Instituut, which advises the Dutch parliament about technology and technology policy. One product of this cooperation is a book about the ethics of converging technologies, edited by two 3TU.Ethics members, that will appear Fall 2009. Other important organizations with which there is cooperation are the Netherlands Graduate School for Science, Technology, and Modern Culture (WTMC), and the Netherlands School for Research in Practical Philosophy (OZSE). These two inter-university graduate schools respectively specialize in science and technology studies and applied ethics.

4. Research themes within 3TU.Ethics

Research activities in 3TU.Ethics are clustered in three research themes:

Moral issues in engineering design and R&D

The key questions in the research theme 'Moral issues in engineering design and R&D' is: in what ways are (moral) values embedded in engineering design and in R&D and how can design and R&D (both processes and outcomes) be made more accommodating and sensitive with regard to accepted moral values? This raises the further question which methodologies and institutional safeguards exist or can be developed for value-sensitive design and R&D.

An important focus is on technological risks. One of the issues here is how risks, e.g. regarding health and safety, are dealt with in engineering design and R&D. Relevant questions are: How could technological risks be better addressed from a moral point of view? When are they (morally) acceptable? How could technological risks best be regulated?

A second issue concerns conflicting values in engineering design and in R&D. Engineers are usually confronted with a multiplicity of values, which are in turn translated into design requirements or design criteria. These multiple values often conflict, and trade-offs have to be made among the different values. Proposals will be developed for better procedures of dealing with conflicting values in engineering.

A third important issue is the distribution of moral responsibilities for potential societal consequences of technology. Design and R&D projects increasingly take place in networks, which involve different kinds of actors. These networks often lack a strict hierarchy and a clear task division, and in these networks decisions are subject to negotiation. This increases the likelihood of the occurrence of the problem of many hands, i.e. the difficulty to identify, even in principle, the person responsible for some outcome, when a large number of people is involved in an activity.

Moral issues in the use and regulation of technology

The theme 'Moral issues in the use and regulation of technology' focuses on ethical issues regarding the use of technology and regarding technology policy and regulation. Once developed, technical artifacts and systems are used by consumers, professionals and organizations to a variety of ends and in a variety of settings. Such uses may violate ethical standards. For example, the use of computer systems to access personal data may violate standards of privacy, and the use of engineered tissues to replace healthy tissues may violate principles of non-maleficence. The aim of this research theme is to analyze and propose morally adequate standards and principles for the use of particular technologies. How do particular uses of technologies cohere with, or emerge, from cultural and institutional values and beliefs? The focus will be on new and emerging technologies.

Also the regulation of technology is studied within this theme. Regulation relates to technology development, technology transfer and technology use. The theme studies which technology policies and laws ought to be adopted in order to implement accepted moral standards for the development of specific technologies and for their uses. It also focuses on procedures with respect to collective decision-making about technology, and on the ways in which uncertainties created by new and emerging technologies can be dealt with. Special attention within this theme is paid to the implications of technology for the quality of life. Philosophical and empirical theories of the good life are used to investigate how modern technology benefits or harms the good life, how good life considerations play a role in public debate about technology, and how philosophical studies of technology and the good life can contribute to better technological design, regulation, public debate and policy.

As part of this theme, public debates about moral issues in technology are analyzed. What arguments are put forward in these debates? How can arguments be reconstructed philosophically? How can public debates be improved? What role do public perceptions and debates play in regulation, and how should they be accounted for in policy?

Values in engineering and society

This research theme focuses on foundational research, including research on central concepts like values, rationality and moral knowledge, foundational research on how to ground values, and research on shifts in societal values resulting from technological change. Its aim is to provide tools for the two

more practice-oriented research themes described above. A range of more concrete topics will be investigated in this theme.

One example of a project under this theme is a meta-ethical project on the nature of emotions and their role in making moral judgments about technological risks. Another example is a PhD project that addresses the question of how the involvement of an artifact influences the very nature of an action, and how we can understand such an action from the nature of the artifact. The meta-ethical part of this project will deal with questions of responsibility for actions undertaken with artifacts (like when a manufacturer can be held responsible when my action fails due to a defect in the artifact).

Conclusion

Technology has become of paramount social, political and economic importance in the 21st century. Not only is it a key driver of economic and social developments; it also shapes our societies, practices, and institutions. In order to come to grips with technology and to make adequate and appropriate political and policy decisions regarding them, we need to reflect on the ethical aspects of their development, the moral acceptability of their application, and their contribution to the quality of life and well-being. Technologies must be developed and used responsibly, as many choices are involved - with major implications for health and safety, environmental quality, civil liberties, social justice, and the quality of life.

In a broad network of relations of cooperation, 3TU.Ethics will further develop these forms of moral reflection. Not only by elaborating adequate ethical theories to facilitate moral reflection and analysis, but also by producing frameworks and analyses that can be directly applied in technological and engineering practices. Technological developments challenge ethics to leave the ivory tower and to address urgent moral questions of the 21st century and dilemmas regarding specific technologies. Rather than placing itself over and against technology, ethics should engage with new developments and accompany them in a critical way. Taking up this challenge is the core business of 3TU.Ethics.

2**Sustainable Energy
Technologies**

1. Inhoud van het Centre of Competence
2. Maatschappelijke relevantie
3. Marktrelevantie
4. Rode draden in 'roadmaps' onderzoek duurzame energie
5. Relevantie van de afzonderlijke onderzoekthema's

Bijlage 1 Geraadpleegde respondenten

Bijlage 2 Literatuur

1. Inhoud van het Centre of Competence Sustainable Energy Technologies

Binnen het CoC SET worden elf thema's onderscheiden. In het navolgende schema hebben we deze thema's samengevat. Ook hebben we daarbij per thema enkele voorbeelden gegeven van onderwerpen waarop het onderzoek aan de drie TU's zich richt. Tot slot is in het onderstaande schema opgenomen welke thema's behoren tot het Centre of Excellence (CoE) van het CoC SET. Dit CoE wordt aangeduid met de term SUNNET. Deze afkorting staat voor: SUNlight utilization for Novel Energy Technologies (URGENT, 2005).

Schema 1 Thema's binnen het CoC SET en afbakening van SUNNET

THEMA	ONDERDEEL SUNNET	VOORBEELDEN VAN ONDERWERPEN ONDERZOEK
ZONNECELLEN	JA	ONDERZOEK RICHT ZICH OP DE VERBETERING VAN DE ENERGIE-OPBRENGST (RENDEMENT) VAN ZONNECELLEN EN HET VERLAGEN VAN DE KOSTPRIJS VAN ZONNECELLEN. BIJVOORBEELD DOOR: ▪ ONDERZOEK NAAR ORGANISCHE ZONNECELLEN (GOEDKOPER DAN SILICIUM ZONNECELLEN) ▪ ONDERZOEK NAAR MATERIALEN DIE KUNNEN BIJDRAGEN AAN HET BETER BENUTTEN VAN HET SPECTRUM VAN ZONNELICHT (RENDEMENT) ▪ ONDERZOEK NAAR VERBETERING VAN DE CONVERSIE EFFICIENCY VAN ZONNECELLEN (RENDEMENT) ▪ ONDERZOEK NAAR MATERIALEN DIE LEVENSDUUR VAN ZONNECELLEN KUNNEN VERLENGEN (KOSTEN-ASPECT)
PHOTOCATALYSIS	JA	ONDERZOEK HEEFT BETREKKING OP OMZETTING VAN ZONNE-ENERGIE NAAR CHEMISCHE ENERGIE ZOALS WATERSTOF. VOORBEELDEN: ▪ ONDERZOEK NAAR ZEER EFFICIËNTE 'PHOTOCATALYSTS' ▪ ONDERZOEK NAAR REACTORS MET OPTIMALE LICHTABSORPTIE

ENERGIEOPSLAG	JA	ONDERZOEK RICHT ZICH OP DE OPSLAG VAN DUURZAAM GEGENEREERDE ENERGIE. ONDERZOEK BINNEN DIT THEMA HEEFT BIJVOORBEELD BETREKKING OP: ▪ BATTERIJEN/(NIEUWE) MATERIALEN VOOR EEN EFFICIËNTE OPSLAG VAN ELEKTRICITEIT ▪ (NIEUWE) MATERIALEN VOOR EEN EFFICIËNTE OPSLAG VAN WATERSTOF
WATERSTOF BRANDSTOFCELLEN	JA	ONDERZOEK HEEFT BETREKKING OP DE ONTWIKKELING VAN BRANDSTOFCELLEN DIE (DE CHEMISCHE ENERGIE VAN) WATERSTOF OM KUNNEN ZETTEN IN ELEKTRICITEIT. VOORBEELDEN: ▪ ONDERZOEK NAAR NIEUWE MEMBRANEN ▪ ONDERZOEK NAAR GEBRUIK VAN MINDER EDELE METALEN (KOSTENREDUCTIE) ▪ ONDERZOEK NAAR 'NEW INTERMEDIATE TEMPERATURE FUEL-CELLS' (TUSSEN 150-250 GRADEN CELSIUS)
BIOMASSA CONVERSIE	JA	ONDERZOEK RICHT ZICH OP CONVERSIE-TECHNIEKEN VOOR (TWEEDE GENERATIE) BIOMASSA NAAR BIOBRANDSTOFFEN (EN GRONDSTOFFEN). VOORBEELDEN: ▪ ONDERZOEK NAAR VERHOOGING OPBRENGSTEN VAN BIOMASSA CONVERSIETECHNIEKEN ▪ ONDERZOEK NAAR GEBRUIK 'NATTE' BIOMASSA ▪ ONDERZOEK NAAR 'CO-PROCESSING' VAN BIOMASSA IN OLIERAFFINADERIJEN
GEBRUIK VAN BIOBRANDSTOFFEN	JA	ONDERZOEK NAAR GEBRUIK VAN BIOBRANDSTOFFEN. VOORBEELDEN: ▪ ONDERZOEK NAAR VERBRANDINGS-MOTOREN GEBASEERD OP BIOBRANDSTOFFEN ▪ ONDERZOEK NAAR GASTURBINES GEBASEERD OP BIOBRANDSTOFFEN
WINDENERGIE	NEE	ONDERZOEK NAAR VERDERE VERBETERINGEN

		RING (KOSTEN) EFFICIENCY VAN WIND-ENERGIE. VOORBEELDEN: ▪ ONDERZOEK OP HET GEBIED VAN (ROTOR) AERODYNAMICA ▪ ONDERZOEK NAAR NIEUWE MATERIALEN (IN VERBAND MET GROTERE 'WIEKEN' – EN DAARMEE ENERGIEOPBRENGST – VOOR WINDMOLENS) ▪ ONDERZOEK NAAR OFFSHORE WIND-PARKEN
KERNENERGIE	NEE	ONDERZOEK OP HET GEBIED VAN KERN-FUSIE EN KERNSPLIJTING. VOORBEELDEN: ▪ ONDERZOEK NAAR NIEUWE TYPEN REACTOREN (VEILIGER, LAGER GEBRUIK URANIUM, MINDER KERNAFVAL, E.D.) ▪ ONDERZOEK NAAR NIEUWE MATERIALEN
CLEAN FOSSIL ENERGY	NEE	ONDERZOEK NAAR VERMINDERING VAN CO₂ UITSTOOT BIJ GEBRUIK VAN FOS-SIELE BRANDSTOFFEN. VOORBEELDEN: ▪ ONDERZOEK NAAR SCHEIDINGSTECHNIEKEN VOOR CO₂ ▪ ONDERZOEK NAAR OPSLAG VAN CO₂ ▪ ONDERZOEK NAAR VERBETERING VAN CONVERSIETECHNIEKEN (MINDER UITSTOOT CO₂)
ELEKTRICITEITS-DISTRIBUTIE	NEE	ONDERZOEK NAAR INPASSING VAN VERSCHILLENDE (DECENTRALE) ENERGIEOPTIES (WINDENERGIE, ZONNE-ENERGIE, BIOMASSA) IN NETWERK VAN ELEKTRICITEITSDISTRIBUTIE (SMART GRID). VOORBEELDEN: ▪ ONDERZOEK NAAR BETROUWBARE EN FLEXIBELE DISTRIBUTIESYSTEMEN ▪ ONDERZOEK NAAR SUPERGELEIDING ▪ ONDERZOEK NAAR ICT-INFRASTRUCTUUR DIE BENODIGD IS VOOR EEN BETROUWBAAR ENERGIE-AANBOD

ENVIRONMENTAL AND TRANSITION STUDIES	NEE	ONDERZOEK NAAR MAATSCHAPPELIJKE EN OMGEVINGSASPECTEN DIE RELEVANT ZIJN VOOR IMPLEMENTATIE VAN DUURZAME ENERGIE. VOORBEELDEN: ▪ ONDERZOEK NAAR ECOLOGISCHE INPASSING VAN OFFSHORE WINDPARKEN ▪ ONDERZOEK NAAR MAATSCHAPPELIJK ACCEPTATIE VAN BEPAALDE ENERGIEOPTIES (B.V. WATERSTOF, KERN-ENERGIE)
--	-----	---

Er kan aan de hand van het bovenstaande schema een aantal conclusies worden getrokken. In de eerste plaats blijkt dat binnen het **CoE SUNNET** een **zestal thema's** onderscheiden worden. Uit de gesprekken met interne vertegenwoordigers van de drie TU's en de deskresearch is gebleken dat de keuze voor het CoE SUNNET en bijbehorende thema's in de eerste plaats gebaseerd is geweest op het criterium '**wetenschappelijke uitdaging**'. Of, anders geformuleerd, bij de verschillende thema's van SUNNET zijn nog grote wetenschappelijke 'doorbraken' nodig dan wel te verwachten. De opbrengsten daarvan kunnen echter ook navenant hoog zijn. Het gaat dus in feite om thema's met een 'high risk' - 'high reward' profiel. Vanuit de door ons gevoerde gesprekken met externe partners van het CoC SET wordt dit ook bevestigd. Ook deze personen zijn van mening dat binnen de thema's van het CoE SUNNET nog veel wetenschappelijk onderzoek en daaruit voortvloeiende 'doorbraken' nodig zijn.

Een tweede criterium is geweest dat het gaat om thema's die direct of indirect te maken hebben met **conversie van zonne-energie**. Daarbij dient bijvoorbeeld te worden bedacht dat zonne-energie ook aan de basis staat van de 'productie' van biomassa. Het accent op zonne-energie verklaart uiteraard ook de naam 'SUNNET' voor het CoE. Als 'legitimatie' voor het accent op zonne-energie binnen het CoE wordt door de TU's aangegeven dat zonne-energie (op termijn) grote kansen biedt voor een duurzame energievoorziening. Ook dit uitgangspunt wordt – zowel vanuit de gevoerde gesprekken met externe partners als vanuit 'roadmaps' op het gebied duurzaam energieonderzoek – bevestigd. We komen hier later in deze rapportage nog op terug.

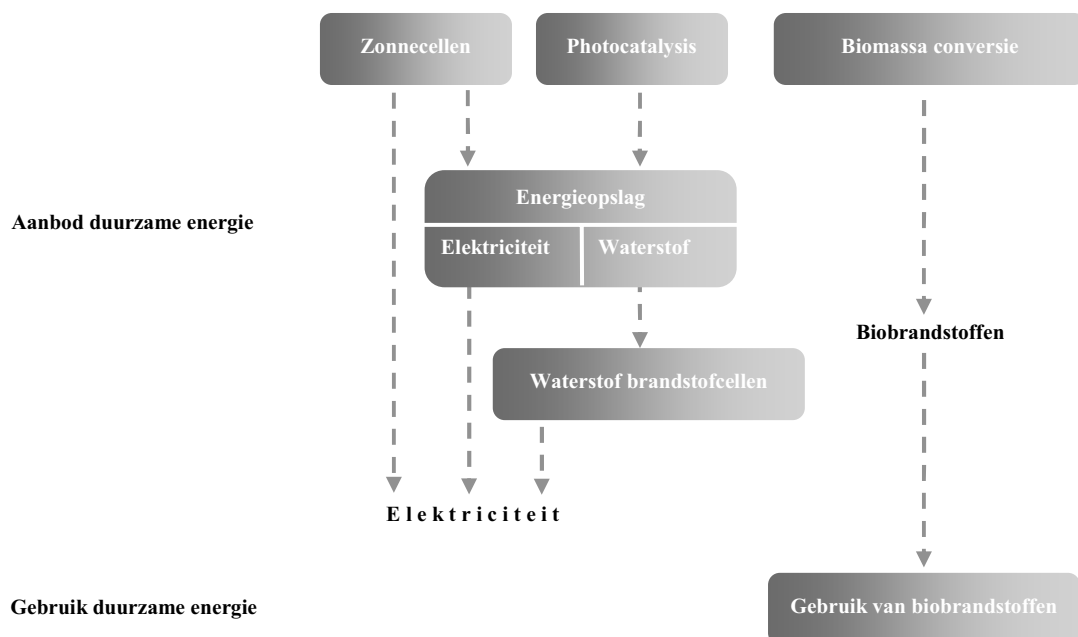
Een tweede belangrijke conclusie die getrokken kan worden, is dat de **thema's van SUNNET** ook een **logische inhoudelijke samenhang** vertonen. Zo zijn de thema's **Zonnecellen**, **Photocatalysis** en **Biomassa conversie** gericht op de productie (aanbod) van respectievelijk elektriciteit, waterstof en biobrandstoffen. Met het thema '**energie-opslag**' wordt beoogd om verbeteringen te realiseren in de opslag van (duurzaam opgewekte) elektriciteit en waterstof. Energieopslag is juist ook voor deze duurzame energieopties een belangrijk thema vanwege het feit dat de 'productiecondities' niet constant zijn. Immers, de hoeveelheid zonne-energie (zonnlicht) fluctueert over de tijd. Met energieopslag kunnen de verschillen in de productie van – en de vraag naar – energie beter op elkaar worden afgestemd.

Het onderzoek rondom het thema **Waterstof brandstofcellen** heeft met name betrekking op het omzetten van (duurzaam opgewekte) waterstof in elektriciteit. Deze omzetting is bijvoorbeeld nodig voor mobiele applicaties

(zoals auto's op elektriciteit). Juist voor deze mobiele applicaties kan waterstof een belangrijke 'secundaire' energiedrager zijn (zie ook het advies van de Commissie Onderzoek Duurzame Energie). In feite richt dit ('faciliterende') thema zich dus ook op het genereren van een bruikbare vorm van energie (elektriciteit) voor mobiele applicaties. Tot slot heeft het onderzoek rondom het thema **Gebruik van Biobrandstoffen**, zoals uit de naamgeving al blijkt, betrekking op het gebruik van biobrandstoffen in verbrandingsmotoren en gasturbines.

We kunnen de **samenhang** van de thema's van SUNNET visualiseren als in schema 2 hieronder. De zes thema's van SUNNET zijn in het navolgende schema 'omcirkeld'.

Schema 2 Samenhang thema's SUNNET



In de derde plaats kunnen we uit schema 1 concluderen dat het **CoC SET** zich met name richt op (het faciliteren van) het **aanbod** van verschillende **duurzame energieopties**. Dit blijkt ook uit het onderliggende businessplan van het CoC SET waarin wordt gesteld: 'the focus has been directed towards energy supply and not to end-use in order to maintain coherence'.

In de vierde plaats kan wat de SET-thema's aangaat nog een **onderscheid** worden gemaakt tussen thema's die vooral gericht zijn op het **vergroten** van het **aanbod** van duurzame energie op zich en thema's die meer **'faciliterend'** van aard zijn. Bij deze laatste thema's gaat het dan om het beschikbaar, geïmplementeerd of geaccepteerd krijgen van duurzame energieopties. Zo is een thema als Zonnecellen gericht op het vergroten van de elektriciteitsopbrengst (aanbod) vanuit zonne-energie. Thema's als Energieopslag en Elektriciteitsdistributie daarentegen zijn gericht op het opslaan van het aanbod/productie van dergelijke vormen van duurzame energie respectievelijk het inpassen en verspreiden daarvan in het elektriciteitsnetwerk.

In schema 3 hebben we aangegeven welke SET-thema's vooral zijn gericht op het aanbod van duurzame energie en thema's die meer faciliterend van aard zijn.

Schema 3 Aanbodgerichte en faciliterende thema's van het CoC SET

AANBODGERICHTE THEMA'S	FACILITERENDE THEMA'S
WATERSTOF BRANDSTOF-CELLEN	WATERSTOF BRANDSTOFCELLEN
PHOTOCATALYSIS	ENVIRONMENTAL AND TRANSITION STUDIES
ZONNECELLEN	ENERGIEOPSLAG
KERNENERGIE	CLEAN FOSSIL ENERGY
WINDENERGIE	ELEKTRICITEITSDISTRIBUTIE
BIOMASSACONVERSIE	

We merken in de eerste plaats op dat we het thema Waterstof brandstofcellen zowel als een aanbodgericht als een faciliterend thema gepositioneerd hebben. Faciliterend omdat het thema zich richt op het omzetten van een energiedrager (waterstof) naar een bruikbare vorm van energie (elektriciteit). In deze zin heeft het thema als het ware een 'faciliterende' rol. Anderzijds resulteert deze faciliterende rol ook in een groter aanbod van elektriciteit. In de tweede plaats merken we op dat we in bovenstaand schema niet het thema Gebruik van Biobrandstoffen hebben opgenomen. De reden daarvoor is dat dit thema meer neigt naar de vraag- of gebruikerszijde van duurzame energie (zie ook schema 2).

Uit het bovenstaande volgt dus dat het CoC SET zich vooral op de **aanbod-zijde van duurzame energie** richt. Het spiegelbeeld daarvan is – zoals ook in het onderliggende businessplan wordt verwoord – dat het CoC SET zich niet direct bezighoudt met de vraag- of gebruikerszijde van (duurzame) energie. Thema's als energiebesparing maken dan ook geen onderdeel uit van het CoC SET. De enige 'uitzondering' hierop lijkt te bestaan uit het thema 'gebruik van biobrandstoffen'. Bij dit thema – waar het onder andere gaat om de ontwikkeling van verbrandingsmotoren en gasturbines voor bio-brandstoffen – lijkt het CoC SET zich toch (deels) op het terrein van de gebruikerszijde te begeven. Dit blijkt ook uit het feit dat zowel in het onderliggende businessplan als in het meerjarenplan van het CoC SET bij dit thema een relatie wordt gelegd met de automotive industrie als potentiële samenwerkingspartner. Dit roept wel de vraag op of dit thema het meest logisch gepositioneerd kan worden binnen het CoC SET. Dit ook al gezien het feit dat binnen het CoC High Tech Systems 'Automotive and Transportation' een separaat thema vormt waarbij bijvoorbeeld eveneens aandacht wordt geschonken aan nieuwe typen verbrandingsmotoren.

Beoordeling thema's CoC SET door externe partners

Zoals gezegd, hebben we voor de omgevingsanalyse van het CoC SET ook enkele gesprekken gevoerd met relevante externe partners van de drie TU's. In deze gesprekken hebben we onder andere aandacht geschonken aan de keuze van thema's binnen dit CoC en de afbakening van het CoE SUNNET.

Daaruit is naar voren gekomen dat, zoals hierboven aangegeven, de afbakening van SUNNET veelal op draagvlak van deze externe partners kan rekenen. Daarbij wordt enerzijds gewezen op de wetenschappelijke uitdagingen waarvan binnen de thema's van het CoE SUNNET sprake is. Anderzijds wordt onderkend dat zonne-energie een enorme potentie heeft als duurzame energie-optie.

Ook het belang van de andere thema's van het CoC SET wordt door de externe partners veelal onderschreven. Enkele externe partners brengen wel naar voren dat zij het thema energiebesparing wat missen binnen het CoC SET. Dit omdat zij van mening zijn dat er rondom dit thema nog veel 'winst te boeken valt'. Anderzijds onderkennen deze externe partners ook wel het belang van het maken van keuzes in de thema's waarmee het CoC SET zich bezighoudt. Wat dit aangaat brengen de externe partners naar voren dat zij het raadzaam achten dat de drie TU's op termijn nog een **nadere selectie** gaan maken in de thema's van de CoC SET zelf en/of in de specifieke onderwerpen binnen de thema's waarmee de drie TU's zich bezighouden. Dit vanwege het feit dat de huidige thema's van het CoC SET vrij breed zijn – binnen elk thema zijn bijvoorbeeld weer diverse onderzoeksgebieden te onderscheiden – en het bovendien gaat om een aanzienlijk aantal thema's. De externe partners achten het dan ook niet haalbaar of reëel om te suggereren dat de drie TU's op alle thema's en bijbehorende onderzoeksgebieden van het CoC SET een significante bijdrage kunnen leveren.

Voor de nadere selectie van thema's en onderzoeksgebieden dragen de externe partners een aantal **criteria** aan die in hun optiek in combinatie toegepast zouden moeten worden. In de eerste plaats zou gekeken moeten worden naar wetenschappelijke kwaliteit (excellentie). In de tweede plaats zou ook gelet moeten worden op de vraag in hoeverre er bij bepaalde thema's en bijbehorende onderzoeksgebieden kansen voor valorisatie (in Nederland) zijn. Bij dit laatste criterium zou dan enerzijds gekeken kunnen worden naar de kansen voor patenteren/octrooieren en anderzijds naar het industriële 'achterland' waarover Nederland beschikt.

Samenwerking drie TU's binnen het CoC SET

De geraadpleegde externe partners juichen de samenwerking van de drie TU's op het gebied van duurzaam energieonderzoek binnen het CoC SET toe. Daarbij wordt bijvoorbeeld verwacht dat hiermee meer mogelijkheden ontstaan om via **één loket** 'zaken' met de drie TU's te doen. De externe partners signaleren wat dit aangaat dat de drie TU's op het gebied van dit type onderzoek in de praktijk ook daadwerkelijk meer 'samen optrekken'. Anderzijds wordt vanuit de externe partners wel naar voren gebracht dat de drie TU-samenwerking nog vrij aan het begin staat en dus verdere uitbouw verdient. Op dit moment is het bijvoorbeeld nog niet zo dat de drie TU's zich al heel sterk naar buiten toe profileren met het CoC SET. Verder is op dit moment ook nog niet de hierboven geschetste situatie gerealiseerd waarbij via één loket zaken met de drie TU's kan worden gedaan op het gebied van duurzaam energieonderzoek.

Verder verwachten de externe partners dat met het CoC SET een bijdrage kan worden geleverd aan het realiseren van **zwaartepuntvorming en taakverdeling** tussen de drie TU's op het gebied van duurzaam energieonderzoek. Enkele externe partners brengen naar voren dat zij wat dit aangaat nog een extra stap wenselijk achten, namelijk een bestuurlijke fusie van de drie TU's. De inschatting van deze personen is namelijk dat met een dergelijke fusie (nog) grotere stappen op het gebied van zwaartepuntvorming en taakverdeling gezet kunnen worden. De betreffende externe partners pleiten daarbij wel

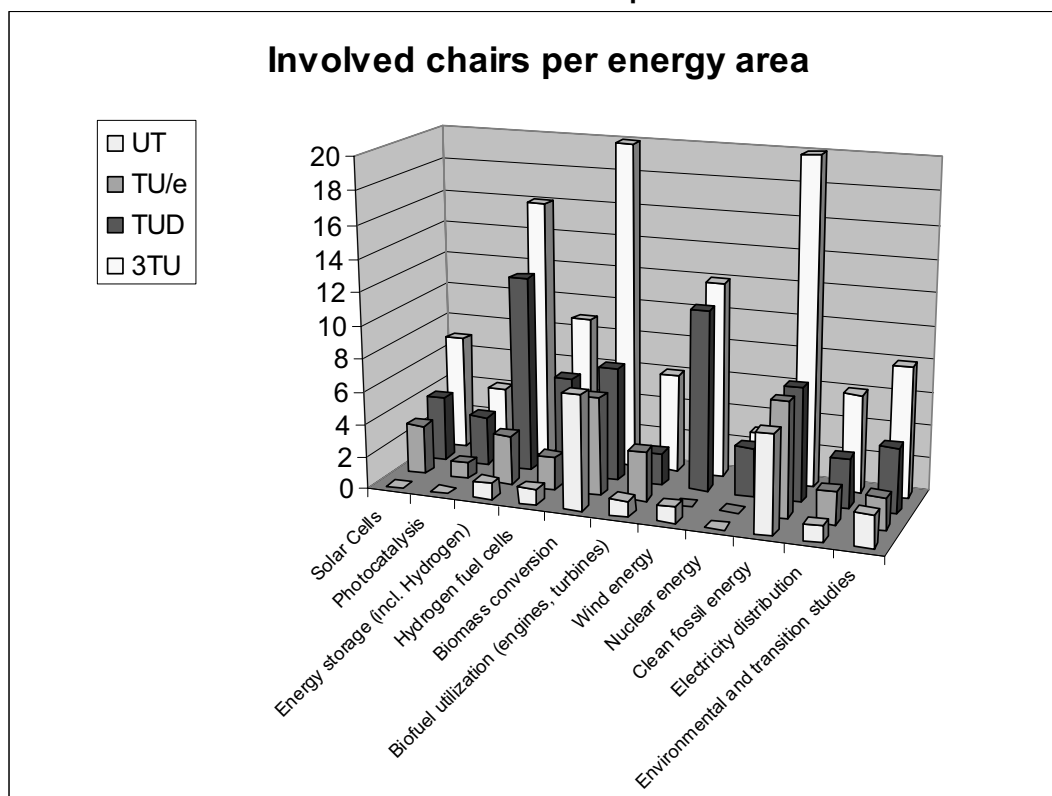
voor het handhaven van de drie locaties en (eventueel) het behoud van de 'merknamen' van de afzonderlijke TU's. Dit dan naar analogie van het model zoals dat ook door universiteiten in Californië wordt gehanteerd. Het behouden van de drie locaties is bijvoorbeeld van belang voor het handhaven van de 'wervingscapaciteit' van de drie TU's voor studenten. Dit is gezien het nijpende tekort van hoger technisch opgeleiden van groot belang. Daarbij signaleren de externe partners dat de drie TU's een zeer belangrijke opleidingsrol hebben daar waar het om het opleiden van personen voor functies op het gebied van (duurzame) energie. Bovendien achten deze externe partners het niet haalbaar en wenselijk om het (menselijk) kapitaal van de drie TU's te centraliseren op één locatie.

Nog een andere belangrijke meerwaarde van intensivering van de samenwerking in CoC SET verband, die vanuit de respondenten naar voren wordt gebracht, heeft betrekking op het vergroten van de kansen voor het participeren in **EU-programma's**. Doordat de drie TU's de krachten op het gebied van duurzaam energieonderzoek hebben gebundeld, wordt de positie ten opzichte van andere grote spelers in Europees verband versterkt. Bovendien speelt mee – zoals we ook later in deze rapportage nog zullen zien – dat het aantal initiatieven vanuit de EU op het gebied van onderzoek naar duurzame energie sterk aan het toenemen is.

Personele inzet CoC SET

Ter afsluiting van deze paragraaf bevat het navolgende schema inzicht in de '**inzet**' in menskracht die de drie TU's plegen op de hierboven besproken thema's **van het CoC SET**. Deze menskracht is dan gedefinieerd in termen van het aantal leerstoelen per thema.

Schema 4 Inzet van menskracht door de drie TU's op thema van CoC SET



Bron: *URGENT (2008)*

Uit het bovenstaande schema volgt een aantal zaken. Allereerst blijkt dat wat het aantal leerstoelen betreft vooral veel inzet wordt gepleegd op de thema's Energieopslag, Biomassa conversie en Clean fossil energy. Ook zien we dat de meeste thema's van het CoC SET aan alle drie de TU's 'beoefend' worden. De belangrijkste uitzonderingen daarop zijn wind- en kernenergie. Deze thema's zijn voornamelijk geconcentreerd bij de TU Delft. Ook in 'overall' zin blijkt de TU Delft een belangrijke 'speler' te zijn binnen het CoC SET. Voor het merendeel van de thema's van het CoC SET geldt namelijk dat de TU Delft de meeste leerstoelen van de drie TU's heeft.

2. Maatschappelijke relevantie

In deze paragraaf schenken we aandacht aan de maatschappelijke relevantie van het CoC SET. Daarbij zijn enkele maatschappelijk zeer relevante vraagstukken te benoemen die direct gerelateerd zijn aan (de thema's van) het CoC SET. We zullen een aantal pregnante voorbeelden hiervan nu kort de revue laten passeren. Samenhangend hiermee zullen we in deze paragraaf ook aandacht schenken aan het beleidsmatige belang dat aan onderzoek op het gebied van duurzame energie wordt gehecht.

Relatie duurzame energie en maatschappelijke vraagstukken

Een eerste belangrijk maatschappelijk vraagstuk heeft betrekking op de **ein-digheid van fossiele brandstoffen**. Door de bevolkingsgroei en de economische expansie van landen als India en China neemt de vraag naar dit type brandstoffen gestaag toe. De verwachting is dan ook dat in de komende decennia de (makkelijk) winbare fossiele brandstoffen snel uitgeput zullen raken. Dit vraagt in feite om een **transitieproces naar andere vormen van energie**. Dit proces wordt als één van de belangrijkste uitdagingen voor de komende decennia gezien. Dit transitieproces zal naar verwachting – zie ook de rapportages van de Commissie Onderzoek Duurzame Energie en de KNAW (2007) – minimaal 50 tot 100 jaar beslaan.

Ter illustratie van het bovenstaande hebben we in tabel 1 cijfers opgenomen over de ontwikkeling van de energieproductie in Europa. Uit deze tabel komt duidelijk de afnemende betekenis van fossiele brandstoffen enerzijds en de groeiende betekenis van renewables (biomassa, zonne-energie, windenergie e.d.) anderzijds naar voren.

Tabel 1 Huidige en toekomstige betekenis van energieopties in Europa (in energieproductie)

	2010	2020	2030	2040
Primary Production	100%	100%	100%	100%
Kool, bruinkool	17%	19%	19%	14%
Olie	24%	17%	10%	5%
Natural Gas	24%	21%	18%	13%
Kernenergie	19%	21%	28%	39%
Renewables	15%	21%	25%	28%

Bron: Europese Commissie (2006b, eigen bewerking)

In de tweede plaats vormt **klimaatverandering** een belangrijk mondiaal vraagstuk. Daarbij wordt het in toenemende mate aannemelijk dat de mens – vooral via de uitstoot van CO₂ – een rol speelt bij de 'opwarming' van de aarde. Door het groeiende gebruik van fossiele brandstoffen stijgt de wereldwijde uitstoot van CO₂. In internationaal verband wordt dan ook getracht om afspraken te maken om te trachten deze groei aan banden te leggen. Tegelijkertijd is duidelijk dat bij ongewijzigd beleid het niet te voorkomen zal zijn dat deze groei zich in de komende jaren nog voort zal zetten. Dit maakt dat er ook vanuit het perspectief van klimaatverandering in toenemende mate de behoefte en noodzaak gaat ontstaan om tot de inzet van **duurzame energieopties** te komen.

In de derde plaats kan dreigende schaarste aan fossiele brandstoffen leiden tot **politieke instabiliteit**. Ook dit geeft in feite de noodzaak aan om 'vaart te maken' met het transitieproces naar een duurzame energiehuishouding. In de vierde plaats dreigen naast fossiele brandstoffen ook **andere typen grondstoffen (op termijn) uitgeput** te raken. Vanuit dit perspectief neemt de noodzaak dan ook toe om tot **hernieuwbare grondstoffen** te komen. In deze zin kan biomassa conversie een belangrijke optie vormen. Biomassa conversie biedt namelijk niet alleen perspectief als duurzame energieoptie (biobrandstoffen) maar ook om op duurzame wijze grondstoffen te produceren (bijvoorbeeld bio-plastics).

Vanuit bovenstaande majeure maatschappelijke vraagstukken is het duidelijk dat de mensheid in de komende decennia een transitieproces naar een duurzame energievoorziening zal moeten doorlopen. De noodzaak van dit transitieproces wordt niet alleen internationaal maar ook nationaal onderkend. Zo vormt in het **zevende Kaderprogramma** van de EU (Europese Commissie, 2005) het thema energie één van de negen belangrijke onderzoeksthema's die binnen het programma Samenwerking worden onderscheiden. Ook wordt in het zevende Kaderprogramma (Europese Commissie, 2005) specifiek aandacht geschonken aan kernenergie. Daarbij wordt voorzien in financiering van activiteiten op het gebied van onderzoek naar kernfusie, kernsplijting en stralingsbescherming. In het algemeen geldt dat de Europese Unie recentelijk meer is gaan inzetten op een duurzaam energiebeleid. Dit komt bijvoorbeeld tot uitdrukking in het **SET-Plan** van de Europese Commissie (2007a). Naast financiële maatregelen zoals heffingen en subsidies wil de Europese Unie een extra impuls geven aan de ontwikkeling van nieuwe – en de verbetering van bestaande – energietechnologieën. Daarbij dient dan te worden gedacht aan technologieën gericht op het benutten van hernieuwbare energiebronnen en het verbeteren van de energieconversie. In het recente '**Groenboek**' van de EU (Europese Commissie, 2006a) wordt eveneens gewezen op het belang van onderzoek naar een duurzame energievoorziening.

Ook in het **nationaal beleid** vormt duurzame energie een belangrijk speerpunt. Zo heeft het huidige kabinet als ambitie geformuleerd dat Nederland in de komende jaren grote stappen in het transitieproces naar duurzame energie moet gaan zetten. Dit moet er in resulteren dat Nederland in 2020 één van de duurzaamste en meest efficiënte energievoorzieningen van Europa zal hebben. Zo is in het coalitieakkoord (CDA, PvdA, ChristenUnie, 2007) als ambitie geformuleerd om tot een verhoging van het aandeel duurzame energie tot 20% in 2020 te komen. Dit sluit aan bij de doelstelling die hiervoor in EU-verband is geformuleerd.

Het belang van duurzame energie voor Nederland heeft overigens niet alleen te maken met het feit dat ook Nederland wordt geconfronteerd met de hierboven besproken maatschappelijke vraagstukken. Daarnaast speelt mee dat

Nederland vanwege haar aardgasreserves, grote bedrijven als Shell en de rol als 'doorvoerhaven' van fossiele brandstoffen hieraan ook een duidelijke economische rol ontleent. In deze zin is een belangrijk deel van de nationale welvaart ook gerelateerd (geweest) aan fossiele brandstoffen. Om ook naar toekomst een dergelijke economische rol te kunnen blijven spelen, zullen dus tijdig de 'bakens verzet moeten worden'.

Relevantie onderzoek duurzame energie

Zowel in internationaal verband als in het nationaal beleid wordt het belang van fundamenteel onderzoek – zoals dat vanuit het CoC SET is voorzien – op het gebied van duurzame energieopties duidelijk onderkend. Zo is vanuit de EU eind 2007 'A European Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan)' gepresenteerd. In dit plan constateert de Europese Commissie dat de **onderzoeksinspanningen** op het gebied van **energie-onderzoek** in de afgelopen decennia **sterk achtergebleven** zijn. De Commissie signaleert wat dit aangaat een grote discrepantie tussen de uitdagingen op het gebied van energie waar de mensheid voor staat en de omvang van de investeringen in energie-onderzoek. In dit licht roept de Commissie de EU-lidstaten dan ook op om in de komende drie jaar deze investeringen te verdubbelen. Daarbij constateert de Commissie eveneens dat er sprake is van marktimperfecties die maken dat relatief veel onderzoeksinspanningen (vanuit de private sector) nog gerelateerd zijn (en blijven) aan fossiele brandstoffen. Daarom zullen met name ook publieke partijen (overheden) het voortouw moeten nemen bij het uitbouwen van de investeringen in energieonderzoek. In het Zevende Kaderprogramma (Europese Commissie, 2005) is daarom 886 miljoen euro per jaar gereserveerd voor energieonderzoek. Dit is ruim 300 miljoen euro meer dan in het Zesde Kaderprogramma. Voor energieonderzoek is verder het Intelligent Energy Programme van de EU (Europese Commissie, 2008) relevant. Ook vanuit dit programma zijn middelen – recentelijk 50 miljoen euro per jaar – beschikbaar voor (duurzaam) energie-onderzoek. De verwachting is dat dit budget uitgebreid gaat worden.

Ook wil de Europese Commissie 'European Industrial Initiatives' op het gebied van energieonderzoek en een 'European Energy Research Alliance' op gaan zetten. Een voorbeeld van een dergelijke industriële alliantie is het voorstel voor een Joint Technology Initiative op het gebied van 'Fuel Cells and Hydrogen'. Verder zullen er vanuit het European Institute on Technology (EIT) Knowledge and Innovation Communities (KIC's) opgezet gaan worden. Daarbij is het de bedoeling dat één van de eerste KIC's betrekking zal hebben op 'Energy'. Hiervoor zullen dan middelen beschikbaar komen voor onderzoek op het gebied van duurzame energie.

De Europese Commissie ziet een belangrijke **samenhang** tussen **klimaat, energie-voorziening en concurrentiekracht**. Mede daarom formuleert de Commissie als ambitie dat de Europese Unie een leidende rol moet gaan spelen in het transitieproces naar een duurzame energievoorziening. In het SET-Plan (Europese Commissie, 2007a) wordt dan ook als doelstelling geformuleerd dat in 2020 sprake moet zijn van een 'low carbon economy' en in 2050 van 'complete decarbonization'. Om de doelstelling voor **2020** te realiseren, wil de Europese Commissie bijvoorbeeld inzetten op:

- second generation biofuels concurrerend maken t.o.v. fossiele brandstoffen;
- commerciële toepassingen mogelijk maken van CO₂-afvangst, -transport en -opslag;
- het verdubbelen van de 'power generation capacity' van de grootste windturbines. Hierbij moeten toepassingen vooral offshore worden gezocht;
- demonstreren van commerciële haalbaarheid van grootschalige toepassingen van zonne-energie (PV en Concentrated Solar Power);

- mogelijk maken van een Europees 'Smart Grid' voor elektriciteitsdistributie;
- het bevorderen van de marktintroductie van meer energie-efficiënte apparaten en systemen zoals brandstofcellen;
- concurrerend blijven op het gebied van kernenergie (kernsplijting).

Om de **2050** doelstelling te realiseren wil de Europese Commissie onder andere:

- marktintroductie realiseren van de volgende generatie hernieuwbare energie technologieën;
- doorbraken realiseren in de 'cost-efficiency' van technologieën voor energieopslag;
- technologieën ontwikkelen om de marktintroductie van voertuigen gebaseerd op waterstof brandstofcellen te bevorderen;
- voorbereidingen afronden voor de demonstratie van vierde generatie kernreactoren;
- transitiestrategieën ontwikkelen naar een duurzame energievoorziening.

Samenhangend met het voorgaande wil de Europese Commissie in 2008 dan ook Europese initiatieven starten op het gebied van: windenergie, zonne-energie, bio-energie, CO₂-afvangst, -transport en -opslag, SmartGrids voor elektriciteitsproductie/-distributie en duurzame kernfusie. Per saldo blijkt dus dat bovenstaande 'sporen' om de Europese ambities te realiseren nauw aansluiten bij (de thema's van) het CoC SET (zie ook schema 1).

Het **International Energy Agency (IEA)** dat tijdens de oliecrisis van 1973-1974 werd opgericht had oorspronkelijk als doelstelling om in crisissituaties op het gebied van aanbod van olie maatregelen te coördineren. In de afgelopen periode is dit accent duidelijk verschoven. Momenteel staan de drie E's centraal in de activiteiten van het IEA: energy security, economic development and environmental protection. Dat betekent dat ook het IEA veel meer accent is gaan leggen op onderzoek naar – en advisering over – duurzame energie. Daartoe brengt het IEA via 'Implementing Agreements' experts op energiegebied bij elkaar. Dit met het doel om de internationale samenwerking op het terrein van energieonderzoek uit te bouwen (IEA, 2006). Op dit moment zijn er ongeveer 40 Agreements. Uit een nadere analyse blijkt dat voor vrijwel alle thema's van het CoC SET een dergelijk Agreement is opgezet. Ook dit illustreert nog eens de internationale inbedding van de thema's van het CoC SET.

In **nationaal verband** zijn in de afgelopen periode verschillende verkenningen of visies op wenselijk (fundamenteel) onderzoek op het gebied van duurzame energie verschenen. De KNAW (2007) heeft bijvoorbeeld een 'Verkenningcommissie energieconversie-onderzoek' ingesteld. Deze commissie heeft in 2007 haar 'roadmap' op het gebied van onderzoek naar duurzame energie – 'Duurzaamheid duurt het langst' – gepresenteerd. Vanuit het kabinet is door het Ministerie van OCW de Commissie Onderzoek Duurzame Energie (CODE) in het leven geroepen. Deze commissie heeft dit jaar (2008) haar advies – 'Een nationale onderzoeksagenda duurzame energie' – uitgebracht. De drie TU's en ECN hebben in 2007 een gezamenlijk voorstel uitgewerkt dat betrekking heeft op materialenonderzoek voor duurzame energie: Advanced Dutch Energy Materials (ADEM). ECN en NRG hebben gezamenlijk een energievisie – 'De belofte van een duurzame Europese energiehuishouding' (2007) – opgesteld. De FOM-Verkenningcommissie Energie heeft de 'FOM-verkenning Energie' (2006) vervaardigd. Vanuit de Energieraad (2008) is dit jaar 'Brandstofmix in beweging' verschenen. In al deze nationale visies wordt gewezen op de maatschappelijke relevantie van onderzoek naar duurzame energie zoals dat in het CoC SET en haar thema's plaatsvindt. Daarbij worden (dus)

vergelijkbare maatschappelijke vraagstukken naar voren gebracht – waarvoor energie(onderzoek) relevant is – als hierboven besproken.

Resumé

Op grond van het bovenstaande kan worden geconcludeerd dat (de thema's van) het **CoC SET** in **hoge mate maatschappelijk relevant** is (zijn). Er is wat dit aangaat sprake van een nauwe aansluiting bij zowel de internationale als de nationale beleidsmatige prioriteit die aan onderzoek naar duurzame energie wordt toegekend.

3. Marktrelevantie

In deze paragraaf gaan we in op de **economische relevantie** van het CoC SET. Daarbij zullen we een aantal verschillende sporen bewandelen die we hieronder verder uitwerken.

Allereerst is het natuurlijk zo dat in meer **algemene zin energie** economisch gezien een **zeer belangrijk product** is. Immers, zonder energie kunnen bedrijven en huishoudens niet functioneren. De internationale energiemarkt is dan ook zeer omvangrijk. Door de groei van de wereldbevolking en de daarmee samenhangende stijgende energieconsumptie valt te verwachten dat de omvang van deze markt in de komende decennia alleen maar verder zal toenemen. Zo wordt in een energiescenario van Shell – 'Spirit of the coming age' – geraamd dat tussen nu en 2050 de internationale energiebehoefte meer dan verdubbelen zal. In dit scenario wordt tevens voorzien dat in 2050 een belangrijk deel van deze behoefte ingevuld zal moeten worden vanuit duurzame energiebronnen.

In het licht van het bovenstaande vormt de energiemarkt – nu en in de toekomst – dan ook een belangrijke bron van werkgelegenheid en bedrijvigheid. Diverse bedrijven en (semi-)publieke instellingen houden zich bezig met onderzoek, productie en/of distributie van energie. Dat geldt zeker ook voor Nederland. Dit heeft, zoals hierboven aangegeven, te maken met oorzaken zoals de beschikbaarheid van aardgasreserves, de aanwezigheid van grote bedrijven als Shell maar ook met de logistieke rol die Nederland (Rijnmond) op het gebied van energie speelt.

Op grond van het bovenstaande kan worden geconcludeerd dat de **energiemarkt** een **grote en perspectievolle markt** is en dat Nederland hier in de afgelopen decennia ook duidelijk in economische zin van heeft geprofiteerd. Naar de toekomst toe zal echter, zoals in de voorgaande paragraaf besproken is, een transitieproces moeten worden doorlopen van een energiemarkt gebaseerd op fossiele brandstoffen naar een duurzame energiemarkt. Voor het handhaven en mogelijk versterken van haar concurrentiepositie is het dus noodzakelijk dat Nederland(se bedrijven) hierbij aanhaakt (aanhaken). De mate waarin Nederland en haar bedrijven daarin zullen slagen, zal mede gerelateerd zijn aan de mate waarin resultaten van (fundamenteel) onderzoek op het gebied van duurzame energie vertaald kunnen worden naar marktimplementatie. Vanuit dit macroperspectief valt dus te verwachten dat het onderzoek zoals dat vanuit het CoC SET wordt geïnitieerd van belang is voor de (lange termijn) concurrentiepositie van (Nederlandse) bedrijven die actief zijn op de (energie)markt.

In het voorgaande is bewust gesproken van de lange termijn concurrentiepositie van het Nederlandse bedrijfsleven. De reden daarvoor is dat verwacht kan worden – ook op basis van verschillende 'roadmaps' op het gebied van

duurzame energie (zie hierna) – dat het transitieproces naar duurzame energie nog de nodige tijd zal vergen. Zo gaan de Commissie Onderzoek Duurzame Energie en de Verkenningcommissie energieconversieonderzoek van de KNAW uit van een (minimale) transitieperiode van 50 tot 100 jaar. Dit impliceert tegelijkertijd dat de wereld op korte en middellange termijn nog vooral aangewezen zal zijn op fossiele brandstoffen. Daarom valt te verwachten – zoals in feite ook wordt bevestigd door de gesprekken die we hebben gevoerd – dat het betreffende bedrijfsleven nu nog niet volop (financieel) participeert in alle thema's van het CoC SET. Dit geldt bijvoorbeeld voor thema's zoals zonnecellen en photocatalysis waar nog veel fundamenteel onderzoek en wetenschappelijke doorbraken nodig zijn. Dit fundamentele onderzoek wordt in de praktijk – ook bij andere typen (radicale) innovaties – vooral door kennisinstellingen uitgevoerd. Bedrijven komen qua onderzoeksactiviteiten meer in beeld naarmate de onderzoeksactiviteiten een meer toegepast karakter krijgen en zich kansen gaan voordoen voor de marktintroductie van nieuwe producten. In de afgelopen decennia is deze 'taakverdeling' tussen kennisinstellingen nog verder aangescherpt. Dit doordat diverse (grotere) bedrijven hun fundamentele onderzoekscapaciteit afgebouwd hebben en zich meer zijn gaan richten op onderzoeksactiviteiten met een kortere 'time to market'. Tegelijkertijd raken bedrijven, als 'spiegelbeeld' daarvan, voor het fundamentele onderzoek nog meer aangewezen op kennisinstellingen zoals de drie TU's.

In de analyses (gesprekken en deskresearch) zijn we ook nagegaan in hoeverre bedrijven op dit moment financieel participeren in onderzoek zoals dat aan de drie TU's binnen de verschillende thema's van het CoC SET wordt uitgevoerd. Echter, dergelijke gegevens blijken in de praktijk niet direct voorhanden te zijn. Dit heeft bijvoorbeeld te maken met het feit dat het CoC SET geen organisatorische en administratieve eenheid is waarvoor verschillende typen gegevens worden geregistreerd. Als 'second-best' oplossing hebben we daarom aan de personen die we hebben geraadpleegd, gevraagd om een inschatting te maken van de financiële betrokkenheid vanuit het bedrijfsleven. Het navolgende dient dan ook als een **indicatie** te worden beschouwd. Een 'rode draad' die daaruit naar voren komt, is dat wordt ingeschat dat bedrijven relatief gezien het meest zullen participeren in thema's als **Windenergie**, **Biomassa conversie** en **Clean fossil energy**. Hieronder zullen we nog zien dat dit ook de thema's zijn waarvoor de onderliggende technologieën al het meest 'uitontwikkeld' zijn en marktpartijen (dus) kansen zien voor marktintroductie.

Daarentegen is de inschatting van de geraadpleegde personen dat met name bij CoC SET thema's als **Zonnecellen**, **Photocatalysis**, **Kernenergie en Environmental and Transition studies** sprake zal zijn van meer beperkte financiële participatie van het bedrijfsleven. Op de achtergronden daarvan zijn we voor de eerste twee thema's hierboven al ingegaan. Voor kernenergie geldt min of meer hetzelfde. De verwachting is namelijk – zie ook de rapportage van de KNAW Verkenningcommissie – dat bijvoorbeeld voor de ontwikkeling van de vierde generatie kernreactoren nog veel fundamenteel onderzoek nodig is en dat 'marktintroductie' hiervan dus voorlopig nog niet aan de orde is. Juist deze vierde generatie kernreactoren kunnen – bijvoorbeeld vanwege het veel meer beperkte gebruik van uranium en veel minder radioactief afval – een interessante optie vormen voor meer grootschalige toepassing in de wereld, waaronder ook Nederland. Ook in de Technology Map van het SET-Plan van de EU wordt gesignaleerd dat het 'logisch' is dat de rol van het bedrijfsleven bij onderzoek op het gebied van kernenergie (volgende generatie reactoren) nog vrij beperkt is. Dit heeft enerzijds te maken met de lange termijn tijdspanne en anderzijds met de afhankelijkheid van politieke beslissingen die over kernenergie worden genomen. Verder wordt rondom het thema

kernenergie vanuit de gesprekken naar voren gebracht dat Nederland een 'thuismarkt' ontbeert van bedrijven die zich bezighouden met kernenergie.

Het thema Environmental and Transition studies kan in feite gezien worden – zoals tevens vanuit de gesprekken wordt bevestigd – als een breder 'publiek' thema dat niet direct gekoppeld is aan bepaalde typen bedrijven. Vanuit deze invalshoek is het dan ook min of meer logisch dat het bedrijfsleven niet heel intensief financieel zal participeren in drie TU-onderzoek op dit terrein maar dat financiering hiervan vooral vanuit de overheid zal moeten plaatsvinden.

Voorbeelden onderzoeksprogramma's duurzame energie

Hierboven hebben we meer vanuit een macroperspectief aandacht geschonken aan de marktrelevantie van (de thema's van) het CoC SET. We zullen nu ingaan op een aantal voorbeelden op micro- of mesoniveau waaruit – ondanks het lange termijn karakter van veel energie-onderzoek – toch de betrokkenheid van het bedrijfsleven blijkt. We merken overigens op dat we met het presenteren van deze voorbeelden zeker geen volledigheid hebben nagestreefd. We zullen met name enkele voorbeelden bespreken van (grotere) onderzoeksprogramma's – die betrekking hebben op thema's van het CoC SET – waaraan ook bedrijven deelnemen.

Vanuit NWO is het **ACTS**-programma opgezet. Deze term staat voor Advanced Chemical Technologies for Sustainability. Binnen ACTS wordt het deelprogramma 'Sustainable hydrogen' uitgevoerd. Dit deelprogramma heeft (daarmee) dus raakvlakken met de CoC thema's Photocatalysis, Energieopslag (voor zover betrekking op waterstof) en Waterstof brandstofcellen. In de periode 2002-2010 is circa 18 miljoen euro beschikbaar voor onderzoeksactiviteiten vanuit kennisinstellingen. Ook een aantal Nederlandse bedrijven zoals Shell, Gasunie en NUON zijn (financieel) betrokken bij dit deelprogramma.

Het programma **CATO**, dat staat voor 'CO₂ Afvangst, Transport & Opslag in Nederland', is een kennisnetwerk dat is opgezet door een consortium van onder meer de TU Delft, de Universiteit Twente, de Universiteit Utrecht, Shell en TNO. Het doel van dit programma is om onderzoek te doen naar de bijdrage die de afvang en opslag van CO₂ kan leveren aan een duurzaam energiesysteem in Nederland. Het programma heeft een looptijd van 2004 tot 2008 en een budget van ruim 25 miljoen euro. De helft van het budget wordt gesubsidieerd door de Nederlandse overheid. Het betrokken bedrijfsleven en de kennisinstellingen zullen (minstens) een even groot bedrag moeten inbrengen. Het programma **Captech**, dat nauw gelieerd is aan CATO, werkt met een budget van 2,5 miljoen euro per jaar. Dit programma wordt vanuit EOS (zie hierna) ondersteund. Vanuit Captech wordt onderzoek verricht naar CO₂ afvangtechnieken die tot beperkte efficiëntieverliezen en beperkte kostenverhogingen leiden. Captech heeft een looptijd van 2006 tot 2009. De initiatiefnemers van dit programma zijn ondermeer ECN, TNO, KEMA en Shell.

In 1997 is het samenwerkingsverband **Helianthos** opgericht. Binnen dit samenwerkingsverband waren industriële (Akzo Nobel, Shell, Nuon) en wetenschappelijke partners (TU Delft, TU Eindhoven, Universiteit Utrecht) verenigd. Doel van het samenwerkingsverband was om zonnecellen op termijn kostentechnisch te laten concurreren met conventionele energiebronnen. Uit dit samenwerkingsverband is een project voortgekomen dat van begin 2002 tot eind 2004 heeft gelopen. De industriële partners hielden zich binnen dit project bezig met de massaproductie van roll-to-roll flexibel zonnefolie. De wetenschappelijke partners deden onder andere onderzoek naar tweede generatietechnologie. Na afloop van het project is Nuon verder gegaan met Heli-

anthos. Helianthos is nu een dochter van Nuon en heeft vijftig werknemers in dienst. Het bedrijf houdt zich bezig met de productie van zonnepanelen.

Eén van de Innovatiegerichte Onderzoeksprogramma's (IOP's) van SenterNovem is het **IOP ElektroMagnetische VermogensTechniek (EMVT)**. Deze techniek leidt tot een hoger rendement van elektriciteitsnetwerken door ze intelligenter (SmartGrids) te maken. Deze techniek kent een brede toepasbaarheid en kan ondermeer gebruikt worden voor het opwekken, het transport en het gebruik van energie. Partijen zoals de drie TU's, ECN en KEMA participeren in dit programma. De tweede fase van dit IOP is in 2006 van start gegaan en zal doorlopen tot 2009. Het IOP EMVT beschikt over een subsidiebudget van 7,5 miljoen euro. In de projecten die inmiddels vanuit het IOP EMVT geïnitieerd zijn participeert ook het bedrijfsleven in financiële zin. De TU's spelen een belangrijke rol in het IOP EMVT. Bij alle projecten die vanuit het IOP EMVT zijn gehonoreerd, is namelijk minstens één van de drie TU's betrokken.

Het programma **Energie Onderzoek Subsidie (EOS)** is een subsidieprogramma van SenterNovem dat via het Ministerie van Economische Zaken wordt gefinancierd. Doel van dit programma is om onderzoek te stimuleren waarmee de kennis op het gebied van (duurzame) energie wordt uitgebouwd. Binnen het EOS wordt nog een onderscheid gemaakt in diverse deelregelingen. In verschillende van deze regelingen is het de bedoeling dat ook het bedrijfsleven (financieel en inhoudelijk) participeert.

Relevant is verder nog om te vermelden dat uit het meerjarenplan van het CoC SET blijkt dat 90% van de onderzoeksprojecten gefinancierd wordt vanuit tweede en derde geldstroommiddelen. Ook dit gegeven onderbouwd nog eens de maatschappelijke en marktrelevantie van het CoC SET.

Resumé

Uit het bovenstaande kan worden geconcludeerd dat (de thema's van) het CoC SET ook relevant is (zijn) vanuit het perspectief van de markt. We komen daar bij de bespreking van de afzonderlijke thema's in paragraaf 6 overigens nog op terug. Fundamenteel onderzoek op het terrein van CoC SET kan het (Nederlandse) bedrijfsleven op termijn ondersteunen bij het verkrijgen van een sterke uitgangspositie op de markt van duurzame energie. Verschillende bedrijven nemen nu al deel aan onderzoeksactiviteiten die gerelateerd zijn aan de CoC thema's. De verwachting – ook vanuit de door ons geraadpleegde respondenten – is dat deze betrokkenheid in de komende decennia sterk zal toenemen. Enerzijds vanwege het feit dat een belangrijk deel van het onderzoek rondom deze thema's nu nog fundamenteel van aard is maar op termijn ook meer kansen voor valorisatie zal gaan bieden. Anderzijds omdat het transitieproces naar een duurzame energiehuishouding een onomkeerbaar proces is waardoor in de komende jaren de marktkansen op het gebied van duurzame energie steeds meer manifest zullen worden.

4. Rode draden in 'roadmaps' onderzoek duurzame energie

In paragraaf 3 hebben we al aangegeven dat in de afgelopen periode de politieke en maatschappelijke belangstelling voor duurzame energie een hoge vlucht heeft genomen. Samenhangend hiermee zijn ook de nodige (visie)documenten en 'roadmaps' opgesteld die betrekking hebben op wenselijk toekomstig onderzoek op het gebied van duurzame energie. In de voorgaande paragrafen hebben we hiervan al verschillende voorbeelden gegeven. Verder

bevat ook bijlage 3 een aantal relevante voorbeelden van dergelijke roadmaps of visies.

Het zou te ver voeren om al deze (visie)documenten hier in detail te gaan bespreken. We zullen ons dan ook concentreren op het presenteren van een aantal '**rode draden**' uit deze documenten. We zullen deze rode draden puntsgewijs presenteren relateren aan (de thema's van) het CoC SET.

1. De transitie naar duurzame energie is onvermijdelijk maar wel een lange termijn proces

Een eerste belangrijke rode draad die uit de diverse (visie)documenten en roadmaps naar voren komt is dat algemeen onderkend wordt dat het einde van het energietijdperk dat gebaseerd was op fossiele brandstoffen in zicht is. Daarom zijn nu stappen nodig om tot een meer duurzame energiehuishouding te komen. Tegelijkertijd wordt daarbij onderkend dat er nog grote wetenschappelijke doorbraken nodig zijn om dit te realiseren. Dat impliceert dat te verwachten valt dat de wereld in de komende decennia nog vooral aangewezen zal zijn op fossiele brandstoffen. Dit vraagt dan om maatregelen zoals energiebesparing en het beperken van CO₂ uitstoot.

Het CoC SET sluit in feite ook aan bij een dergelijk lange termijn transitieproces. Enerzijds wordt vanuit dit CoC namelijk gewerkt aan fundamenteel onderzoek op het terrein van duurzame energieopties zoals zonne-energie, windenergie, biomassa en kernenergie. Het gaat hierbij dus om opties die in de loop van het transitieproces belangrijker zullen worden. Anderzijds bestaat er vanuit het CoC SET ook aandacht voor de eerste fasen van het transitieproces waarin het accent nog vooral op fossiele brandstoffen zal liggen. Zo wordt er vanuit het thema **Clean fossil technology** onderzoek verricht naar het reduceren van CO₂ uitstoot van fossiele brandstoffen. Hiermee wordt getracht om de negatieve aspecten van het gebruik van fossiele brandstoffen te 'verzachten' en 'to buy time' (KNAW, 2007).

2. In het transitieproces spelen ook niet-technologische aspecten een rol

In vrijwel alle (visie)documenten en roadmaps wordt onderkend dat een succesvolle transitie naar een duurzame energiehuishouding niet alleen afhankelijk is van (fundamenteel) technologisch onderzoek. Tegelijkertijd zal er aandacht uit dienen te gaan naar maatschappelijke processen en acceptatie van duurzame energieopties. Zo heeft de maatschappelijke en politieke stellingname in Nederland er in geresulteerd dat in de afgelopen jaren een 'pas op de plaats' is gemaakt ten aanzien van kernenergie. Ook bij windenergie zien we dat dikwijls sprake is (geweest) van maatschappelijke weerstanden tegen 'windparken' op land. Verder zal het voor een succesvolle implementatie van waterstof nodig zijn dat maatschappelijk geaccepteerd wordt dat ook in de eigen leefomgeving van burgers waterstof opgeslagen wordt. Kortom, vanuit verschillende visiedocumenten wordt nadrukkelijk aandacht gevraagd voor het betrekken van niet-technologische aspecten bij het transitieproces naar een duurzame energiehuishouding. Zo adviseert de Commissie Onderzoek Duurzame Energie bijvoorbeeld om hiervoor extra onderzoeksmiddelen ter beschikking te stellen.

In het CoC SET zien we dat het voorgaande 'geborgd' is via het thema **Environmental and Transition studies**. Zoals hierboven beschreven, zie ook schema 1, richt dit thema zich namelijk specifiek op deze niet-technologische aspecten van energietransitie. Uit de verschillende visies en roadmaps valt af te leiden dat de accenten binnen dit thema in de loop van het transitieproces zullen moeten verschuiven. Zo vormt voor de korte en middellange termijn

bijvoorbeeld de maatschappelijke acceptatie van CO₂ opslag een belangrijk aandachtspunt binnen dit thema. Op langere termijn zal de maatschappelijke acceptatie van kernenergie – bijvoorbeeld van vierde generatie kernreactoren – een belangrijk onderwerp kunnen worden.

3. Er kunnen verschillende fasen in het transitieproces onderscheiden worden

Het beeld dat uit de verschillende (visie)documenten naar voren komt, is dat er in het transitieproces verschillende fasen – met wisselende 'rollen' voor de verschillende energieopties – voorzien worden. Zoals gezegd, wordt vrij algemeen onderkend dat in de eerst komende decennia het accent nog vooral op fossiele brandstoffen zal liggen. De verwachting is dat daarnaast eerst – over enkele decennia – energieopties als biomassa en windenergie significant bij kunnen gaan dragen aan de mondiale energiebehoeften. Zo constateert de Energieraad in haar rapport 'Brandstofmix in beweging' (2008) dat in de huidige productie van duurzame energie in Nederland biomassa en windenergie het meest belangrijk zijn. Meer naar het einde van de transitieperiode wordt dan voorzien dat energieopties als zonne-energie en kernenergie – waarbij gebruik wordt gemaakt van vierde generatie kernreactoren – een majeure bijdrage aan de energievoorziening kunnen gaan leveren.

Relateren we deze 'levenscyclus' van het transitieproces naar een duurzame energiehuishouding aan het **CoC SET** dan kunnen we concluderen dat dit CoC de **gehele levenscyclus goed 'afdekt'**. Immers, clean fossil technology is met name relevant voor de eerste (en middelste) fasen van het transitieproces. Biomassa conversie en windenergie zijn dat voor het 'middelste gedeelte' van het transitieproces terwijl thema's als solar cells, photocatalysis en kernenergie (op basis van vierde generatie kernreactoren) meer in de eindfasen van het transitieproces belangrijk kunnen worden.

We kunnen in dit verband tevens concluderen dat de **inzet van menskracht** van het CoC SET ook **goed spoort** met bovenstaande '**levenscyclus' van het transitieproces** naar een duurzame energiehuishouding. Zo blijkt uit schema 4 bijvoorbeeld dat momenteel vanuit het CoC SET relatief veel menskracht wordt ingezet op thema's zoals Clean fossil energy, Windenergie en Biomassa. Dit zijn ook thema's waarvan, zoals gezegd, verwacht wordt dat zij vooral in de eerste en middelste fasen van het transitieproces van belang zullen zijn. Daarentegen blijkt uit schema 4 ook dat de inzet van menskracht op thema's, die naar verwachting aan het einde van het transitieproces belangrijk zullen worden, nog vrij beperkt is. Het gaat hierbij om thema's zoals Zonnecellen, Photocatalysis en Kernenergie (vierde generatie reactoren).

Het bovenstaande patroon kan overigens ook een **leidraad** vormen voor een geleidelijke **accentverschuiving** binnen het **CoC SET**. Hoewel dit uiteraard een lange termijn proces zal zijn, zou in het licht van het bovenstaande de strategie er uit kunnen bestaan dat – parallel aan de levenscyclus voor het transitieproces – de onderzoekscapaciteit op een thema als Clean fossil energy eerst hoog blijft maar op langere termijn 'afgebouwd' wordt. Daarentegen zou op langere termijn de onderzoekscapaciteit rondom thema's als solar cells, photocatalysis en kernenergie juist uitgebouwd kunnen worden.

4. Meersporenstrategie

Nog een belangrijke gemeenschappelijke noemer die uit de verschillende (visie)documenten en roadmaps naar voren komt is dat er voor gepleit wordt om bij het onderzoek naar duurzame energie vooralsnog **meerdere sporen** te

bewandelen. Enerzijds heeft dat dan te maken met de urgentie van het transitieproces naar een duurzame energiehuishouding. De noodzaak om deze omslag te maken is zo essentieel voor de mensheid dat alle kansen wat dit aangaat, benut zullen moeten worden. Anderzijds wordt onderkend dat het op dit moment nog niet duidelijk is welke rol de verschillende energieopties op termijn kunnen gaan spelen. Samenhangend hiermee valt nu nog niet met zekerheid te zeggen welke energieoptie(s) met name belangrijk zal (zullen) worden in de toekomst. Deze onzekerheid hangt vooral samen met het feit dat de onderliggende technologieën op dit moment nog niet uitgekristalliseerd zijn. Er is wat dit aangaat nog veel wetenschappelijk onderzoek en daarmee samenhangende wetenschappelijke doorbraken nodig om hier meer zicht op te krijgen. De hierboven genoemde onzekerheden en onduidelijkheden maken dat in visies op wenselijk toekomstig onderzoek naar duurzame energie voorsnog geadviseerd wordt om onderzoek naar meerdere energieopties te blijven doen. 'Omdat het vrijwel onvoorspelbaar is welke opties tijdig voldoende zullen bijdragen, dient om economische, technische en maatschappelijke redenen geen enkele optie bij voorbaat uitgesloten te worden' (KNAW, 2007, pag. 4). In de energievisie van ECN en NRG wordt gesteld dat 'Géén van de opties kan bij voorbaat worden uitgesloten gezien de grote uitdagingen waar we voor staan' (ECN en NRG, 2007, pag. 4). Ook in het recente Energierapport (2008) van het Ministerie van Economische Zaken wordt het belang van het volgen van een meersporenstrategie ten aanzien van de toekomstige energievoorziening onderschreven.

In het voorgaande hebben we gezien dat ook in het **CoC SET** deze **meersporenstrategie** wordt gevolgd. Vanuit dit CoC wordt namelijk simultaan ingezet op de energie-opties zonne-energie, windenergie, kernenergie en biomassa. Dit zijn ook de opties die in visies op het toekomstig onderzoek op het gebied van duurzame energie worden genoemd. In aanvulling op onderzoek naar deze energieopties wordt er vanuit het CoC SET dus eveneens aandacht geschonken aan een aantal faciliterende of 'flankerende' thema's. Deze laatste thema's kunnen een bijdrage leveren aan het op termijn succesvol implementeren van de verschillende energieopties dan wel een bijdrage leveren aan de 'overbruggingsperiode' naar een duurzame energiehuishouding.

5. Zonne-energie als speerpunt

Hoewel in visies op het wenselijke toekomstig onderzoek naar duurzame energie veelal wordt gepleit voor het open houden van de verschillende energieopties wordt wel onderkend dat (op termijn) met name **zonne-energie veel potentie biedt**. Daarbij wordt bijvoorbeeld aangegeven dat een fractionele benutting van de totale hoeveelheid zonne-energie die de aarde bereikt al voldoende is om een volledig duurzame energiehuishouding te realiseren. Anderzijds wordt daarbij wel onderkend dat deze situatie voorlopig nog niet bereikt kan worden. Er zullen nog grote wetenschappelijke en technologische doorbraken nodig zijn om zonne-energie een belangrijke rol te laten spelen in een (duurzame) energiehuishouding. Zo bedraagt het rendement van de huidige generatie zonnecellen (5-20%) momenteel nog maar een fractie van het rendement dat theoretisch mogelijk is (circa 85%)¹. Op grond van het bovenstaande wordt in de verschillende visies op het onderzoek op het gebied van duurzame energie nadrukkelijk gepleit voor fundamenteel onderzoek naar zonne-energie. De KNAW Verkenningcommissie concludeert over zonne-energie dat 'dit onderwerp grote aandacht van de Nederlandse onderzoekswereld verdient' (KNAW, 2007).

¹ Zie ook KNAW, 2007.

Het **CoC SET** sluit hier in feite naadloos bij aan. Hoewel ook binnen het CoC SET alle energieopties worden betrokken, is er voor gekozen om een extra inspanning te plegen op het gebied van zonne-energie. Daartoe is immers het Centre of Excellence **SUNNET** opgezet. Zoals ook uit het meerjarenplan van het CoC SET blijkt, is het de bedoeling dat in de komende jaren de inzet van de drie TU's op SUNNET (zonne-energie) relatief sterk zal groeien. Dit is overigens ook in lijn met de levenscyclus van het transitieproces dat we hierboven besproken hebben. Ook vanuit deze cyclus kan immers worden afgeleid dat op termijn het accent qua onderzoekscapaciteit naar deze energieoptie zal moeten verschuiven.

Resumé

Op grond van het voorgaande kan worden geconcludeerd dat de **vormgeving en accenten** van het **CoC SET** in grote lijnen **sporen** met de adviezen en bouwstenen zoals die vanuit verschillende **visies en roadmaps** op de toekomst van het energieonderzoek te destilleren zijn.

5. Relevantie van afzonderlijke thema's CoC SET

In deze paragraaf schenken we op hoofdlijnen aandacht aan de verschillende thema's van het CoC SET. We volgen daarbij twee invalshoeken. In de eerste plaats zullen we voor de verschillende thema's van het CoC SET enkele 'rode' draden uit de visiedocumenten presenteren. In de tweede plaats zullen we – daar waar zinvol en relevant – enkele bevindingen uit de door ons gevoerde gesprekken naar voren brengen.

In het navolgende zullen we een aantal thema's samennemen. In de eerste plaats betreft dat thema's die gerelateerd zijn aan zonne-energie en dus onderdeel uitmaken van SUNNET. In de tweede plaats zullen we nog een onderscheid maken tussen de thema's die vrij direct aan zonne-energie gerelateerd zijn en de twee thema's van SUNNET waarbij deze relatie meer indirect – via biomassa – verloopt. Dat betekent dus enerzijds dat we de thema's Zonnecellen, Photocatalysis, Energieopslag en Waterstof brandstofcellen gezamenlijk zullen beschouwen onder de noemer 'zonne-energie'. In schema 2 hierboven hebben we overigens al geïllustreerd hoe deze thema's binnen het CoC SET samenhangen. Anderzijds zullen we de thema's Biomassa conversie en Gebruik van Biobrandstoffen gezamenlijk beschouwen onder de noemer 'biomassa conversie'.

Zonne-energie

Zoals hierboven al aangegeven is, wordt zonne-energie in visies op en roadmaps voor onderzoek op het gebied van duurzame energie veelal als een zeer belangrijk speerpunt gezien. Daarbij wordt wel onderkend dat op dit terrein in de komende periode nog veel fundamenteel onderzoek verricht zal moeten worden. In de Technology Map van het SET-Plan van de EU (Europese Commissie, 2007a) wordt bijvoorbeeld aangegeven dat momenteel via PV-systemen maar in ongeveer 0,1% van de elektriciteitsvraag in Europa wordt voorzien. Er worden echter kansen gezien om dit uit te bouwen naar 14% in 2030. Belangrijk barrières voor de uitbouw van deze bijdrage zijn volgens de Technology Map het rendement van PV-systemen en de hoge (productie)kosten van zonnecellen. In de Technology Map (Europese Commissie, 2007a) wordt dan ook gepleit voor onderzoek op het gebied van nieuwe materialen en inpassing van zonne-energie in het elektriciteitsnetwerk. Dit sluit nauw aan bij het type onderzoek dat vanuit CoC SET wordt gedaan (zie ook schema 1).

Hoewel zonne-energie momenteel nog maar een fractie uitmaakt van het totale energie-aanbod, ziet ook het IEA zonne-energie als een belangrijke duurzame energievorm voor de toekomst. Het IEA heeft daarom in de afgelopen periode dan ook diverse onderzoeksprojecten opgezet op het gebied van zonne-energie. Nederland participeert in een aantal van deze projecten.

In haar rapport geeft de **Commissie Onderzoek Duurzame Energie** aan dat in Nederland het aandeel zonne-energie in de totale elektriciteitsvraag op lange termijn boven de 25% uit kan komen (CODE, 2008). Het aandeel zonnewarmte in de totale warmtevraag in de gebouwde omgeving kan in Nederland oplopen tot 70% in 2050. De commissie baseert deze cijfers op roadmaps voor zonnestroom en thermische zonne-energie zoals die door de branchevereniging Holland Solar zijn opgesteld. Het belang dat de commissie hecht aan fundamenteel onderzoek naar zonne-energie komt ook tot uitdrukking in haar advies over verdeling van extra onderzoeksmiddelen voor duurzame energie. De commissie reserveert daarbij de meeste extra middelen voor het thema zonne-energie (samen met het thema energiebesparing).

De **KNAW Verkenningcommissie energieconversieonderzoek** (KNAW, 2007) signaleert eveneens een dergelijke grote potentie van zonne-energie. Deze commissie geeft daarbij wel aan dat deze potentie pas op lange termijn tot uitdrukking zal komen. Ondanks een sterke jaarlijkse groei in de afgelopen jaren (25%-35% per jaar) verwacht de commissie dat het nog decennia zal duren voordat zonne-energie een bijdrage van meer dan 1% in de energievoorziening zal leveren. De KNAW Verkenningcommissie (KNAW, 2007) concludeert dat er op het gebied van zonne-energie nog veel mogelijkheden zijn voor grote verbeteringen wat betreft de conversie van zonne-energie naar elektriciteit en zonnewarmte. Daarom pleit ook deze commissie voor een grote inspanning op het gebied van zonne-energie door de Nederlandse onderzoekswereld. Overigens onderschrijft de commissie ook het belang van **energieopslag** voor een succesvolle implementatie van zonne-energie.

De **Energieraad** concludeert: 'Het leidt geen twijfel dat voor verduurzaming van de wereldenergievoorziening zonne-energie een belangrijke rol gaat spelen' (Energieraad, 2008, pag. 86). Daarbij stelt de Raad tevens: 'Nederland heeft op dit gebied een interessante kennisvoorsprong op veel landen. Het fors stimuleren van de technologie-ontwikkeling op dit gebied zou niet alleen een beter zicht geven op het potentieel van deze technologie voor Nederland maar indien deze tot een economische doorbraak zou komen, tevens interessante kansen kunnen scheppen voor de bedrijvigheid van Nederland op de immense wereldmarkt voor PV-technologie' (Energieraad, 2008, pag. 87). Ook de FOM-Verkenningcommissie Energie² en de Task Force EnergieTransitie³ concluderen dat de marktpotentie voor zonnecellen zeer groot is en dat Nederland hierin een sterke kennispositie heeft.

Zonnecellen

Het belang van het CoC SET thema Zonnecellen wordt ook onderschreven door het feit dat er in Europees verband een Technologieplatform 'Photovoltaic Technology' is opgezet. Vanuit dit platform is zowel een Vision (2005) als een Strategic Research Agenda (SRA, 2007) ontwikkeld. Daarin wordt uitgewerkt dat 'photovoltaic' zonne-energie (PV) op termijn gezien kan worden als de belangrijkste duurzame energievorm. Doordat er verschillende opties op het gebied van PV zijn – en het nu nog niet duidelijk is welke optie in de toekomst leidend zal worden – wordt vanuit dit platform aanbevolen om voor-

² FOM, 2006.

³ EnergieTransitie, 2006.

alsnog 'breed' in te zetten op onderzoek op het terrein van PV. Dit sluit in feite aan bij de aanpak die vanuit het CoC SET wordt gevolgd (zie bijvoorbeeld de aandachtsgebieden binnen het thema Zonnecellen in schema 1).

Photocatalysis

Over de (chemische) omzetting van zonne-energie naar waterstof – waar het thema **Photocatalysis** betrekking op heeft – wordt in verschillende (nationale) visies op onderzoek naar duurzame energie gesignaleerd dat dit type onderzoek zich nog in de kinderschoenen bevindt. Ook vanuit de door ons gevoerde gesprekken wordt dit beeld bevestigd. Wel wordt daarbij aangegeven dat een dergelijke wijze van waterstofproductie vanuit het oogpunt van duurzaamheid een zeer aantrekkelijke optie kan zijn. Vooral voor mobiele toepassingen zoals transport en elektronische apparatuur kan waterstof een belangrijke (secundaire) energiedrager gaan vormen. Daarvoor is het dan wel noodzakelijk dat hierbij ook aandacht wordt geschonken aan de ontwikkeling van nieuwe methoden van **energieopslag** (van waterstof).

Waterstof brandstofcellen

In Europees verband wordt – onder andere in de Technology Map van het SET-Plan van de EU (Europese Commissie, 2007a)- '**hydrogen and fuel cells**' als een speerpunt bestempeld. Daarbij wordt in de eerste plaats aangegeven dat op lange termijn meer duurzame vormen van waterstofproductie wenselijk zijn. Dit wordt in feite ook beoogd met het thema Photocatalysis van het CoC SET. In de tweede plaats is er behoefte aan onderzoek naar brandstofcellen waar het thema Waterstof brandstofcellen van het CoC SET betrekking op heeft. Er wordt wat dit aangaat dan ook geconcludeerd dat 'the main barrier to hydrogen penetration is the cost and durability of fuel cells' (Europese Commissie, 2007a, pag. 47). In de derde plaats wordt in deze Technology Map geconstateerd dat 'The development of performing and cost-competitive hydrogen storage techniques is the key for all applications'. (Europese Commissie, 2007a pag. 45). Dit geeft de relevantie aan van het thema Energieopslag van het CoC SET.

De betekenis die in Europees verband aan het thema Waterstof brandstofcellen wordt toegekend, komt ook tot uitdrukking door het feit dat er voor dit thema een specifiek Technologieplatform opgericht is: Hydrogen and Fuel Cells Technology Platform. In de SRA van dit platform wordt een aantal onderzoeksuitdagingen geïdentificeerd. Deze hebben onder ander betrekking op de productie van waterstof, de opslag van waterstof en sociaal-economisch onderzoek. Vanuit de respectievelijke CoC SET thema's Photocatalysis, Energieopslag en Environmental and Transition studies wordt hier in feite naadloos bij aangesloten.

Voor de Nederlandse context wordt in de Smart Energy Mix van KIVI NIRIA (2006) gesteld dat de vertrekpositie van Nederland op het gebied van waterstof als goed te bestempelen valt. Dit heeft te maken met zaken zoals de beschikbare aardgasinfrastructuur, de aanwezigheid van de petrochemische industrie en de Nederlandse kennispositie op het gebied van aardgas, waterstofprocessing en brandstofcellen.

Energieopslag

Hierboven is al aantal malen gewezen op het belang van het thema Energieopslag in onderzoek naar duurzame energie. In aanvulling daarop kan nog worden vermeld dat ook de Energieraad in 'Brandstofmix in beweging' (2008) concludeert dat (onderzoek naar) **Energieopslag** – zowel van elektriciteit als van waterstof – een belangrijke randvoorwaarde is om op termijn tot een adequate inpassing van duurzame energieopties te kunnen komen. Indien

hierin geen significante voortgang wordt geboekt zal dit grenzen stellen aan de mate waarin bijvoorbeeld windenergie een bijdrage kan gaan leveren aan elektriciteitsopwekking. De Raad concludeert dan ook: 'Samenvattend moet dus geconcludeerd worden dat de betrouwbaarheid van de elektriciteitsvoorziening negatief beïnvloed wordt door het groeiende aandeel duurzaam in het productiepakket. Er zijn aanzienlijke aanvullende investeringen in opslagcapaciteit nodig om dit te compenseren' (Energieraad, 2008, pag. 70). De Raad constateert daarbij tevens dat geschikte vormen van opslag vooralsnog niet beschikbaar zijn en dus onderzoek dringend nodig is.

Per saldo kan dus worden geconcludeerd dat het accent op zonne-energie in het CoC SET – zoals die tot uitdrukking komt in het CoE SUNNET – ook duidelijk gedragen wordt vanuit visies en roadmaps voor wenselijk onderzoek op het gebied van duurzame energie. Wel verdient het aanbeveling om vanuit het CoC SET na te gaan in hoeverre eventueel een **extra inspanning** op het gebied van **thermische zonne-energie** wenselijk en haalbaar is. Hoewel nationale commissies zoals hierboven genoemd hier duidelijk nog onderzoeksuitdagingen signaleren – met name via onderzoek naar nieuwe materialen en omzettingssprinsipes – komt dit onderwerp in zowel het business- als meerjarenplan van het CoC SET minder nadrukkelijk aan bod. Dit wordt in feite ook min of meer 'bevestigd' in het gezamenlijke voorstel voor materialenonderzoek (ADEM) van de drie TU's en ECN (ECN en 3TU, 2007, fig. 3).

Ook in de Technology Map van het SET-Plan van de EU (Europese Commissie, 2007a) wordt thermische zonne-energie als een serieuze optie beschouwd. Enerzijds vanwege de onderzoeksuitdagingen die hier nog liggen op terreinen zoals nieuwe materialen, systemen voor warmte-opslag en 'intelligent heat management controls'. Anderzijds omdat deze energieoptie potentie heeft om op termijn – met name binnen de bebouwde omgeving – een significante bijdrage te leveren aan de vraag naar warmte. Illustratief is verder dat er in Europees verband rondom het thema 'thermische' zonne-energie ook een separaat Technologieplatform opgezet is: Solar Thermal Technology Platform. Dit platform heeft inmiddels een Vision (2006) opgesteld. Daarin wordt onder andere gewezen op de potentie die thermische zonne-energie heeft voor de verwarming en koeling van de bebouwde omgeving en voor industrieel gebruik. Tenslotte noemen we hier nog dat ook in de 'Routekaart voor hernieuwbare energie' van de EU (Europese Commissie, 2007c) gesignaleerd wordt dat de markt voor thermische zonne-energie in opkomst is.

Biomassa conversie

In de verschillende visies op (onderzoek naar) duurzame energie wordt veelal de verwachting uitgesproken dat biomassa op middellange termijn een significante bijdrage aan een duurzame energiehuishouding kan gaan leveren. Zo wordt in de Technology Map van het SET-Plan van de EU (Europese Commissie, 2007a) aangegeven dat in 2030 het aandeel biobrandstoffen in de totale vraag naar benzine en diesel in Europa uit kan komen op 20%. Op dit moment is het volgens deze Map al zo dat 4% van de Europese energievraag ingevuld wordt vanuit biomassa. In deze Technology Map wordt gesignaleerd dat vooral ook onderzoek naar verbeteringen in conversie van biomassa nodig is om de potentie van biomassa goed te benutten. In schema 1 hebben we gezien dat dit ook een belangrijk topic is binnen het CoC SET.

Vanuit de EU is verder ook een Technologieplatform opgezet dat zich specifiek richt op biobrandstoffen: Technology Platform Bio Fuels. Dit platform heeft zowel een Vision (2006) als een SRA (2008) ontwikkeld. Ook daarin wordt gewezen op het belang van onderzoek naar verbeteringen van conversie van biomassa naar biobrandstoffen. In deze documenten wordt verder gesigna-

leerd dat biobrandstoffen met name potentie bieden als substituten voor diesel en gas.

Een belangrijk gegeven is overigens dat in Europees verband afgesproken is dat in 2020 een 'bijmengverplichting' van biobrandstoffen van minstens 10% zal moeten worden gerealiseerd. Deze taakstelling kan ook als een belangrijke stimulans fungeren voor (fundamenteel) onderzoek naar biomassa conversie.

Hoewel in het rapport van de KNAW Verkenningcommissie energieconversie-onderzoek (2007) gesignaleerd wordt dat de potentiële bijdrage van biomassa moeilijk te kwantificeren valt, stelt de commissie dat 'op dit moment niet méér geconstateerd kan worden dan dat biomassa een significante bijdrage aan duurzame energie kan geven' (KNAW, 2007, pag. 67). De KNAW commissie ziet juist ook voor Nederland goede kansen op het gebied van biomassa conversie. Dit bijvoorbeeld vanwege het feit dat de Nederlandse infrastructuur voor aardgas en transportbrandstoffen kansen bieden voor snelle introductie van bio-brandstoffen. Dit wordt ook bevestigd in de 'Smart Energy Mix' van KIVI NIRIA (2006). In dit rapport wordt aangegeven dat naast de aanwezigheid van de zojuist genoemde infrastructuur Nederland ook beschikt over een grote proces- en agro-industrie en met bijbehorende kennisinfrastructuur. In het rapport van KIVI NIRIA wordt dan ook geconcludeerd dat: 'Nederland dient in te zetten op een brede inspanning gebaseerd op een integraal plan rond de agrosector en bioraffinage' (KIVI NIRIA, 2006, pag. 29).

Overigens wordt in de verschillende visiedocumenten wel aangegeven dat bij biomassa conversie vooral ingezet zal moeten worden op '**second generation biomass**'. Dit vanwege de ervaringen die in de afgelopen jaren met biomassa conversie opgedaan zijn. Uit deze ervaringen is namelijk gebleken dat de productie van biomassa ten koste kan gaan van de productie van voedsel en daarmee een prijsopdrijvend effect kan hebben. Hiervan dreigen dan met name armere landen de dupe te worden. Daarom zal naar de toekomst vooral ingezet moeten worden op de biomassa conversie van bijvoorbeeld planteresten en planten die niet geschikt zijn voor voedselproductie.

Ook de door ons geconsulteerde personen zien veelal goede kansen voor Nederland op het gebied van biomassa conversie. Daarvoor zijn de volgende argumenten aangedragen. Allereerst beschikt Nederland over een goede logistieke positie. Deze positie kan van belang zijn bij het verkrijgen en het transport van (second generation) biomassa. Verder wordt daarbij gewezen op de beschikbaarheid van de benodigde infrastructuur vanuit de petrochemische industrie. In de derde plaats beschikt Nederland over een sterk agro-industrieel complex.

De keuze voor **Biomassa conversie** in het CoC SET – en de accentuering daarvan in SUNNET – vindt dus duidelijk draagvlak in diverse visies en roadmaps voor onderzoek naar duurzame energie. Enerzijds vanwege de bijdrage die biomassa (conversie) kan leveren aan een duurzame energievoorziening. Voor het 'verzilveren' van deze kansen zal echter nog wel het nodige (fundamenteel) onderzoek moeten worden uitgevoerd. Anderzijds is het ook zo dat de Nederlandse vertrekpositie – zowel qua markt- als kennispositie – als gunstig te bestempelen valt.

Een vraag die hierbij wel gesteld kan worden, is in hoeverre het thema '**utilization of bio fuels**' echt past binnen het CoC SET (zie ook hiervoor). Dit vanwege het feit dat dit thema al snel raakt aan de 'gebruikerszijde' van duurzame energie en het CoC SET zich met name wil focussen op de 'aanbodzijde' daarvan. Bovendien raakt dit thema aan het thema 'Automotive and Transportation' van het CoC HTS.

Kernenergie

In Europees verband geldt dat kernenergie (kernsplijting) momenteel al de belangrijkste vorm van elektriciteitsproductie vormt. Ongeveer een derde deel van de elektriciteitsproductie in de EU wordt door middel van kernenergie geproduceerd⁴. In de EU zijn 16 landen voor meer dan een kwart van hun elektriciteitsproductie afhankelijk van kernenergie. Dit vindt dan plaats met 2^e generatie reactoren. In Europees verband zien we dan ook dat kernenergie als een belangrijke energieoptie voor de toekomst wordt gezien.

Dit komt in de eerste plaats tot uitdrukking in het al eerder genoemde SET-Plan en de bijbehorende Technology Map van de EU (Europese Commissie, 2007a). In deze Technology Map wordt aangegeven dat kernenergie op termijn waarschijnlijk een belangrijke rol zal blijven spelen in de Europese elektriciteitsvoorziening. In deze Technology Map wordt naast aandacht voor kernsplijting ook aandacht gevraagd voor onderzoek naar kernfusie. Hoewel hier nog veel baanbrekende doorbraken gerealiseerd moeten worden gaat het hier in potentie om een zeer duurzame vorm van energie. In Europees verband is dit inmiddels ook opgepakt via het ITER project waar ook Nederland een bijdrage aan levert. Ook in IEA verband wordt de huidige en toekomstige potentie van kernenergie onderkend.

Binnen de Europese Unie is verder een Technologieplatform op het terrein van kernenergie opgezet: Technology Platform Sustainable Nuclear Energy. Dit platform heeft in 2007 een Vision opgesteld terwijl momenteel gewerkt wordt aan de ontwikkeling van een SRA op dit gebied. In deze Vision wordt enerzijds het grote belang van kernenergie uitgewerkt. Anderzijds wordt daarbij ook aangegeven dat – bijvoorbeeld rondom de kernreactors – nog veel winst van onderzoek te behalen valt. Vooral van de vierde generatie reactoren wordt wat dit aangaat veel verwacht (zie ook hiervoor).

In Nederland is het politieke en maatschappelijke klimaat momenteel nog zodanig dat vooralsnog geen hoge prioriteit aan kernenergie wordt toegekend. Desondanks wordt het in de verschillende nationale visies wel van belang geacht om aandacht te blijven schenken aan fundamenteel onderzoek op het gebied van kernenergie. Zo wordt in het recente rapport van de Energieraad – Brandstofmix in beweging (2008) – gepleit voor een heroverweging van kernenergie. Dit vooral gezien het feit dat de Raad op termijn knelpunten voorziet bij een significante verhoging van het aandeel duurzame energie. In de analyse van de Energieraad scoort kernenergie namelijk goed op de criteria betaalbaarheid en betrouwbaarheid. Zij pleit dan ook voor 'het op peil houden van kennis en capaciteiten met betrekking tot kernenergie en het ondersteunen van onderzoek en ontwikkeling van methoden voor een betere beheersbaarheid van het radioactief afval' (pag. 97).

Naast de Energieraad is ook de KNAW Verkenningscommissie energieconversie van mening dat kernenergie voor Nederland een interessante energieoptie kan gaan vormen. Dit kan zeker het geval zijn indien de vierde generatie kernreactoren operationeel wordt. Daarom is het van belang dat Nederland ook zelf kennis blijft opbouwen op het gebied van kernenergie, bijvoorbeeld op het terrein van vierde generatiereactoren. In dit licht is het ook van belang dat in de Technology Map van het SET-Plan van de EU gesignaleerd wordt dat er binnen Europa een groot tekort aan deskundigen op het gebied van kernenergie dreigt te ontstaan. Er wordt dan ook gesteld dat 'the education and

⁴ Zie ook CODE (2008) en Europese Commissie (2007a).

training of a new generation of nuclear scientists and engineers needs urgent attention' (Europese Commissie, 2007a, pag. 32).

Overigens is onderzoek op het gebied van kernenergie ook in **indirecte zin van belang** voor **duurzame energie**. Zo kan met dit onderzoek een bijdrage worden geleverd aan de ontwikkeling van nieuwe materialen waarmee op zich weer een impuls gegeven kan worden aan de andere thema's van het CoC SET. Zo wordt in het onderzoeksvoorstel ADEM van de drie TU's en ECN uitgewerkt dat veel van het onderzoek binnen de thema's van het CoC SET betrekking heeft op de ontwikkeling van nieuwe materialen. 'Materialenontwikkeling is dus de 'enabling technology' voor nieuwe geavanceerde energieconversie- en -opslagsystemen' (ECN en 3TU, 2007, pag. 9).

In nationale visies op onderzoek naar duurzame energie wordt verder aangegeven dat onderzoek op het gebied van kernenergie ook nodig is in het licht van internationale verplichtingen die Nederland aangegaan is. Zo neemt Nederland deel aan het internationale onderzoeksprogramma ITER. Daarin is afgesproken dat Nederland met name op het gebied van kernfusie onderzoeksinspanningen zal plegen.

In het voorgaande hebben we gezien dat er ook vanuit het CoC SET ingezet wordt op kernenergie. Uit schema 4 is wel gebleken dat de inzet die hierop vanuit de drie TU's wordt gepleegd relatief gezien vrij beperkt is. Om een tweetal redenen verdient het aanbeveling dat de drie TU's zich in de komende jaren bezinnen op de vraag of deze capaciteit voldoende is. In eerste plaats is de verwachting vanuit visies op duurzame energie dat kernenergie op langere termijn – aan het einde van het transitieproces – een belangrijke energieoptie kan zijn. Hiervan kan vooral ook sprake zijn indien de vierde generatie kernreactoren operationeel gaan worden. In de tweede plaats begint ook in de Nederlandse situatie – zie bijvoorbeeld het recente SER-advies over kernenergie (2008) – de discussie over kernenergie weer 'op te laaien'. Daarbij is het (dus) niet ondenkbaar dat zich op afzienbare termijn wijzigingen voor gaan doen in het Nederlandse politieke en maatschappelijke standpunt over kernenergie.

Windenergie

De inschatting van verschillende visies op de toekomstige energievoorziening is dat de betekenis van windenergie hierin toe zal nemen. Dit komt bijvoorbeeld naar voren in de Technology Map van het SET-Plan van de EU (Europese Commissie, 2007a). Daarin wordt aangegeven dat de bijdrage van windenergie in het elektriciteitsgebruik in Europa potentieel uit kan groeien tot 18% in 2030. Daarna zal deze bijdrage naar verwachting 'stabiliseren'. In deze Technology Map wordt verder gewezen op het belang van de ontwikkeling van 'offshore windparken'. Hiervoor zal nog het nodige onderzoek gepleegd moeten worden. 'Onshore' is windenergie volgens deze Technology Map een volwassen technologie. Offshore zal er echter een 'opschaling' gerealiseerd moeten worden (grotere windturbines). Dit vraagt bijvoorbeeld om onderzoek op het gebied van nieuwe materialen, inpassing van windparken in het elektriciteitsnetwerk (Smart Grid) en energieopslag. Eerder hebben we al gezien (zie paragraaf 2) dat deze onderzoeksuitdagingen ook vanuit het CoC SET opgepakt worden.

Ook het IEA ziet windenergie als een energiebron voor de toekomst die op termijn uit kan groeien tot een belangrijk alternatief voor fossiele brandstoffen. Daarbij is de verwachting dat in de toekomst offshore windparken – ondanks de hoge installatiekosten – rendabel in te passen zijn in de energie-

voorziening. Nederland is bij enkele windenergieprojecten van het IEA betrokken.

Het belang van windenergie blijkt ook uit het feit dat er voor dit thema in Europees verband een Technologieplatform opgezet is: **Technology Platform for Wind Energy**. Dit platform heeft zowel een Vision (2006) als een SRA (2008) opgesteld. In deze visiedocumenten wordt onder andere aangegeven dat verder onderzoek – bijvoorbeeld op het gebied van (rotor) dynamica en nieuwe materialen – nodig is om de energie-opbrengsten van windmolens verder te vergroten. Ook wordt hierin gewezen op het belang van onderzoek naar offshore windparken. Dit vanwege het feit dat zich hier met name kansen voordoen voor vergroting van het aandeel windenergie in het totale energieaanbod. Verder komt uit deze Vision en SRA het belang van onderzoek naar de inpassing van windenergie in het elektriciteitsnetwerk naar voren. In paragraaf 2 hebben we al gezien dat vanuit het CoC SET aandacht wordt gegeven aan de zojuist genoemde typen onderzoeksvragen.

Op nationaal niveau wordt zowel in het KNAW rapport (2007) als in het rapport van de Commissie Onderzoek Duurzame Energie aandacht besteed aan de toekomstige relevantie van windenergie voor de Nederlandse situatie. In deze visies wordt aangegeven dat windenergie op termijn ook voor Nederland een duidelijke rol kan gaan spelen in de energievoorziening. In het KNAW rapport (2007) wordt bijvoorbeeld geraamd dat over 20 tot 30 jaar windenergie in een kwart van de Nederlandse elektriciteitsbehoefte kan voorzien. In deze nationale visies wordt – net als in de Technology Map van het SET-Plan (Europese Commissie, 2007a) – betoogd dat hiervoor onder andere onderzoek op het gebied van nieuwe materialen, offshore windparken, aerodynamica en de inpassing van windenergie in het elektriciteitsnetwerk nodig is. Ook door deze nationale commissies wordt vooral de ontwikkeling van offshore windparken als een belangrijk spoor voor het uitbouwen van de potenties van windenergie gezien. Juist voor Nederland, met haar kennis en positie op offshore gebied, liggen hier kansen volgens deze commissies.

Relevant is verder dat uit verschillende visies op duurzame energie blijkt dat windenergie als een onderzoeksterrein wordt gezien dat – zeker onshore – al redelijk ‘uitgekristalliseerd’ is en veel onderzoek daardoor een toegepast karakter draagt. Dit verklaart ook dat het bedrijfsleven vrij sterk betrokken is bij dit onderzoeksterrein. Dit geldt, blijkens de rapporten van de Commissie Onderzoek Duurzame Energie (2008) en de Verkenningscommissie van de KNAW (2007), ook voor de Nederlandse situatie. Enkele van de door ons geraadpleegde respondenten tekenen hierbij wel aan dat in landen als Duitsland en Denemarken het bedrijfsleven – dat gerelateerd is aan het cluster windenergie – zich in de laatste jaren sterker heeft ontwikkeld dan in Nederland. Deze respondenten wijzen met name op de rol van de Duitse en Deense overheid bij het stimuleren van dit type bedrijvigheid.

Uit het bovenstaande blijkt per saldo dat in het CoC SET duidelijk ingezet wordt op de prioritaire onderwerpen zoals die in Europese roadmaps en door nationale commissies op het gebied van energieonderzoek worden gesignaleerd. Uit schema 4 blijkt bovendien dat ook in relatieve zin vanuit het CoC SET veel inzet op deze energieoptie wordt gepleegd.

In het voorgaande hebben we verschillende energieopties en (indirect) een aantal bijbehorende faciliterende thema’s – zoals energy storage – de revue laten passeren. In het resterende deel van deze paragraaf zullen we nog enkele faciliterende thema’s bespreken die hierboven nog niet aan bod zijn gekomen.

Elektriciteitsdistributie

Uit de verschillende visies en roadmaps op het gebied van duurzame energie komt het beeld naar voren dat in de toekomst de complexiteit van het netwerk van elektriciteitsdistributie sterk zal toenemen. Dit heeft bijvoorbeeld te maken met de inpassing van duurzame energieopties zoals windenergie en zonne-energie. Deze energieopties brengen immers inherent fluctuaties in het elektriciteitsaanbod met zich mee. In samenhang hiermee valt te verwachten dat elektriciteitsopwekking deels ook meer gedecentraliseerd plaats zal gaan vinden. Dit bijvoorbeeld doordat huishoudens ook elektriciteit gaan toeleveren aan het elektriciteitsnetwerk via bijvoorbeeld zonnepanelen en windmolens. Per saldo zal de complexiteit van het netwerk van levering en toelevering van elektriciteit dus sterk toenemen. Dit vraagt in feite om de ontwikkeling van 'SmartGrids' waarmee de stabiliteit en betrouwbaarheid van het netwerk van elektriciteitsdistributie kan worden gegarandeerd.

In Europees verband is er rondom de hierboven geschetste problematiek zelfs een separaat technologieplatform opgezet: European Technology Platform SmartGrids. In de Vision (2006) en SRA (2007) die vanuit dit platform vervaardigd zijn, wordt het belang benadrukt van onderzoek naar intelligente elektriciteitsnetwerken. Feitelijk gaat het hierbij om een pleidooi voor het type onderzoek zoals dat binnen het CoC thema Elektriciteitsdistributie plaatsvindt.

In het licht van het bovenstaande is het dan ook 'logisch' dat in het CoC SET 'electricity distribution' een separaat thema vormt. In feite vormt dit thema een belangrijke randvoorwaarde voor een succesvolle implementatie van duurzame energieopties.

Clean fossil energy

In het voorgaande is al naar voren gekomen dat uit verschillende visies en roadmaps op het gebied van duurzame energie blijkt dat in de komende decennia de mondiale energievoorziening nog vooral op fossiele brandstoffen zal zijn gebaseerd. Zo wordt in de Technology Map van het SET-Plan (Europese Commissie, 2007a) geraamd dat in Europa in 2030 40 tot 50% van de elektriciteitsproductie nog steeds met behulp van fossiele brandstoffen zal worden gerealiseerd. In 'An Energy Policy for Europe' (Europese Commissie, 2007b) wordt aangegeven dat afvang en opslag van CO₂ bij elektriciteitsopwekking een belangrijk spoor is om tot een meer duurzame energievoorziening te komen en daarmee de doelstellingen voor reductie van CO₂ en duurzame energiemix (20% in 2020) te realiseren.

Het thema Clean fossil energy kan in de komende jaren dus een belangrijke rol spelen om de uitstoot van CO₂ binnen de perken te houden. Zo wordt door de KNAW Verkenningcommissie energieconversieonderzoek (KNAW, 2007) aangegeven dat in de periode 2030-2050 met CO₂-afvangst en -opslag in Nederland een reductie van 25%-50% broeikasgasemissies zou kunnen worden gerealiseerd. Ook de Energieraad concludeert in haar recente rapport 'Brandstofmix in beweging' (2008) dat de technologie van CO₂-opslag nog in ontwikkeling is en nader onderzoek verdient. In de energievisie van ECN en NRG (2007) wordt geconcludeerd: 'CCS⁵ is een overgangstechnologie naar een echt duurzame energiehuishouding. Na een groeiperiode zal CCS enkele decennia worden gebruikt en vervolgens worden afgebouwd' (ECN en NRG, 2007, pag. 37). In het rapport van de FOM-Verkenningcommissie Energie (2006) wordt onderbouwd dat Nederland een sterke kennispositie op het gebied van CCS heeft. Hiermee samenhangend wordt in verschillende (nationale) visies over duurzame energie geconcludeerd dat ook de in Nederland beschik-

⁵ Carbon Capture and Storage.

bare aardgasinfrastructuur duidelijk kansen biedt voor CCS (met name voor transport en opslag van CO₂).

In de Technology Map van het SET-Plan (Europese Commissie, 2007a) wordt gesignaleerd dat onderzoeksuitdagingen op het terrein van clean fossil energy liggen op terreinen zoals verbetering van conversietechnieken, (verbeterde) afvangst van CO₂, nieuwe materialen (membranen) en (veiligheid van) opslag van CO₂. Deze uitdagingen sluiten nauw aan – zie bijvoorbeeld schema – bij de typen onderzoeksactiviteiten zoals die vanuit het CoC SET binnen het thema Clean fossil energy worden ontplooid. Rondom dit thema is overigens ook een specifiek Technologieplatform (Zero Emission Fossil Power Plants) opgezet. Uit de Vision (2006a) en SRA (2006b) die vanuit dit platform zijn opgesteld, komen vergelijkbare onderzoeksuitdagingen naar voren als zojuist beschreven bij het SET-Plan.

Diverse van de door ons geraadpleegde respondenten brengen naar voren dat in Nederland duidelijk kansen liggen op het gebied van clean fossil energy. Daarbij wordt gewezen op de combinatie van factoren zoals de aanwezigheid van energiebedrijven, lege aardgasvelden (voor de opslag van CO₂) en de beschikbare infrastructuur (leidingen) voor het transport van CO₂.

Uit het bovenstaande kan worden geconcludeerd dat – zeker in de eerste fasen van het transitieproces naar een duurzame energievoorziening – het thema Clean fossil energy een belangrijke (faciliterende) rol kan spelen in de energievoorziening. In deze zin vormt dit thema dan ook een 'logisch' onderdeel van het CoC SET. Verder blijkt dat de onderwerpen waaraan in CoC SET verband – binnen het thema Clean fossil energy – wordt gewerkt goed aansluiten bij onderzoeksuitdagingen zoals die in visies en roadmaps voor energieonderzoek worden geïdentificeerd.

Environmental and transition studies

Op het belang van dit thema – ook in CoC SET verband – zijn we in feite al in paragraaf 5 ingegaan. We zullen hier dan ook niet in herhaling treden maar verwijzen naar de betreffende paragraaf.

Resumé

Uit het bovenstaande volgt dat ook de afzonderlijke thema's van het CoC SET over het algemeen goed 'afgedekt' worden vanuit de verschillende visies en roadmaps over (onderzoek naar) duurzame energie. Enkele energieopties waaraan geen of weinig aandacht wordt geschonken in het CoC SET – zoals concentrated solar power (CSP), geothermie en getijde-energie – kunnen (voor de Nederlandse situatie) als minder relevant worden beschouwd. Zo verwachten zowel de Commissie Onderzoek Duurzame Energie als de KNAW Verkenningcommissie (2006) dat deze energieopties ook op termijn niet echt een wezenlijke bijdrage aan de Nederlandse energievoorziening zullen kunnen leveren. In de Technology Map van het SET-Plan (Europese Commissie, 2007a) wordt geconstateerd dat CSP binnen Europa met name relevant kan zijn voor Mediterrane landen. Ten aanzien van de energieopties geothermie en getijde-energie wordt ook in de Technology Map gesteld dat deze op termijn een (zeer) beperkte bijdrage aan de Europese energievoorziening kunnen leveren.

Vanuit het oogpunt van consistentie (nadruk op energieaanbod) kunnen er dus wel enkele kanttekeningen worden geplaatst bij het betrekken van het thema 'utilization of bio fuels'. Aan de andere kant kan worden geconstateerd dat het thema thermische zonne-energie wellicht een thema is dat nog wat meer geaccentueerd zou kunnen worden vanuit het CoC SET.

BIJLAGE 1 GERAADPLEEGDE RESPONDENTEN

Dr. J.M. van der Eijk (Shell)

Prof.dr.ir. T. van der Hagen (TUD)

Ir. C. Hellinga (TUD/NODE)

Dr. A.B.M. Hoff (ECN)

Prof.mr.dr. C.J. Jepma (RUG)

Dr. L.R. Kouw (NWO)

Prof.dr.ir. G.A.M. van Kuik (TUD)

Prof.dr.ir. J.A.M. Kuipers (UT)

Prof.dr. P.H.L. Notten (TU/e)

Ir. P.H. Vogtländer (Energieraad)

Dr. H. Willems (ECN)

BIJLAGE 2 LITERATUURLIJST

CATO, 2004

CO₂ capture and storage in the Netherlands

CDA, PvdA, ChristenUnie, 2007

Coalitieakkoord, Samen Werken, Samen Leven

Commissie Onderzoek Duurzame Energie (CODE), 2008

Een nationale onderzoeksagenda duurzame energie, Advies van de Commissie Onderzoek Duurzame Energie

ECN en 3TU.Federatie, 2007

Aanpak en Hoofdlijnen "Nieuwe ADEM voor het energieonderzoek", Het "ADEM Innovation Lab"

ECN en NRG, 2007

De belofte van een duurzame Europese energiehuishouding, Energievisie van ECN en NRG

Energieraad, 2008

Brandstofmix in beweging, Op zoek naar een goede balans

EnergieTransitie, 2006

Meer met energie! Kansen voor Nederland

European Biofuels Technology Platform, 2006

Biofuels in the European Union, A vision for 2030 and beyond

European Biofuels Technology Platform, 2008

Strategic Research Agenda & Strategy Deployment Document

European Hydrogen & Fuel Cell Technology Platform, 2003

Hydrogen Energy and Fuel Cells, A vision of our future

European Hydrogen & Fuel Cell Technology Platform, 2005

Strategic Research Agenda

European Photovoltaic Technology Platform, 2005

Vision for Photovoltaic Technology

European Photovoltaic Technology Platform, 2007

Strategic Research Agenda for Photovoltaic Solar Energy Technology

European Solar Thermal Technology Platform, 2006

Solar Thermal Vision 2030

European Technology Platform SmartGrids, 2006

Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future

European Technology Platform SmartGrids, 2007

Strategic Research Agenda for Europe's Electricity Networks of the Future

European Technology Platform for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants (ZEP), 2006a

Vision for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants

European Technology Platform for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants (ZEP), 2006b
Strategic Research Agenda

European Wind Energy Technology Platform, 2006
Wind Energy: A Vision for Europe in 2030

European Wind Energy Technology Platform, 2008
Strategic Research Agenda, Market Deployment Strategy from 2008 to 2030

Europese Commissie, 2005
Besluit van het Europese Parlement en de Raad betreffende het Zevende Kaderprogramma van de Europese Gemeenschap voor activiteiten op het gebied van onderzoek, technologische ontwikkeling en demonstratie (2007 tot 2013)

Europese Commissie, 2006a
Groenboek, Een Europese strategie voor duurzame concurrerende en continu geleverde energie voor Europa

Europese Commissie, 2006b
World Energy Technology Outlook 2050

Europese Commissie, 2007a
A European Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan), Technology Map

Europese Commissie, 2007b
Een energiebeleid voor Europa

Europese Commissie, 2007c
Routekaart voor hernieuwbare energie. Hernieuwbare energiebronnen in de 21^{ste} eeuw: een duurzamere toekomst opbouwen

Europese Commissie, 2008
Intelligent Energy, Work Programme 2008

FOM, 2006
FOM-verkenning Energie

International Energy Agency (IEA), 2006
2006 Standard Review of the Netherlands

KIVI NIRIA, 2006
Smart Energy Mix, Publicatie naar aanleiding van jaarcongres KIVI NIRIA

KNAW, 2007
Duurzaamheid duurt het langst, Onderzoeksuitdagingen voor een duurzame energie-voorziening

Ministerie van Economische Zaken, 2008
Energierapport 2008

NWO, 2006
Wetenschap gewaardeerd! NWO-strategie 2007-2010

SER, 2008

Advies Kernenergie en een duurzame energievoorziening

Shell, 2003
Spirit of the coming age

Sustainable Nuclear Energy Technology Platform, 2007
Vision Report

URGENT, 2005
Business plan Center of Competence/ Center of Excellence, Technologies for Sustainable Energy

URGENT, 2008
Sustainable Energy Technologies, Long range plan 2008-2012

3**Fluid and Solid Mechanics**

1. Afbakening van het onderzoeksterrein
2. Inhoud van het onderzoek
3. Externe reflectie op vorming en inhoud van het CoC
4. Marktrelevantie
5. Maatschappelijke betekenis
6. Nationale inbedding
7. Aanknopingspunten voor EU-programma's

Bijlage 1 Geraadpleegde personen

Bijlage 2 Literatuurlijst

1. Afbakening van het onderzoeksterrein

In deze paragraaf gaan we nader in op de afbakening van het CFSM. De navolgende informatie is vooral gebaseerd op de domeinafbakening, het lange termijn onderzoeksplan en de gesprekken met interne vertegenwoordigers van het CFSM.

Omvang en samenstelling van het CFSM

Het CFSM is feitelijk een **bundeling van twee KNAW-erkende onderzoeksscholen**, namelijk het J.M. Burgers Centre for Fluid Mechanics (JMBC) en de Engineering Mechanics School for Solid Mechanics (EM). Tezamen omvatten deze onderzoeksscholen bijna 60 volledige leerstoelen met bijbehorende wetenschappelijke staf en in totaal ongeveer 400 promovendi. De beide onderzoeksscholen vertegenwoordigen de twee onderzoeksgebieden die binnen dit CoC samengebracht zijn, namelijk de **stromingsleer** en de **vaste stof mechanica**. Uit (recente) visitaties blijkt dat de onderzoeksgroepen aan zowel het JMBC als EM hoog gewaardeerd worden wat betreft hun wetenschappelijke kwaliteit. Voor beide onderzoeksscholen geldt namelijk dat gesproken kan worden van vooraanstaande onderzoeksgroepen die leading zijn op hun vakgebied en die binnen de internationale wetenschap in hoog aanzien staan. Op het gebied van Fluid & Solid Mechanics – en in het bijzonder op het vlak van de multischaal fenomenen (zie verderop) – heeft Nederland wereldwijd een leidende positie en weet het zich te nestelen tussen grote landen als de Verenigde Staten, Frankrijk, Duitsland en Groot-Brittannië.

De onderzoeksscholen die samen het CFSM vormen, zijn samengesteld uit onderzoeksgroepen uit verschillende faculteiten en afdelingen binnen de drie TU's. In schema 1 is weergegeven uit welke lokale instituten/groepen beide onderzoeksscholen – en dus het CFSM als geheel – bestaan. In de naamgeving van de verschillende onderdelen komt in feite de breedheid van Fluid & Solid Mechanics al tot uitdrukking.

Schema 1 Samenstelling van de onderzoeksscholen die het CFSM omvat

Universiteit	JMBC	EM
TU/e	- Applied Physics - Mechanical Engineering - Mathematics and Computer Science	Research Profile Mechanics & Control: - Systems, Dynamics and Control - Materials Technology - Analysis Scientific Computing and Applications (CASA)
TUD	- Mechanical Engineering - Marine Technology - Applied Mathematical Analysis - Multi-Scale Physics - Physics of Nuclear Reactors - DelftChemTech - Aerospace Engineering - Civil Engineering & Geosciences	Koiter Institute: - Engineering Mechanics - Aerospace Structures - Precision and Microsystems Engineering - Computational Mechanics, Structural Mechanics and Dynamics - Soil Mechanics and Dynamics
UT	Institute of Mechanics, Processes and Control-Twente (IMPACT): - Chemical Engineering - Applied Physics - Mathematical Sciences - Mechanical Engineering - Water Engineering and Management	Institute of Mechanics, Processes and Control-Twente (IMPACT): - Applied Mechanics - Surface Technology and Tribology - Mechanical Automation - Production Technology

Bij de bovenstaande opsomming moet nog wel de opmerking worden geplaatst dat het CFSM ook enkele 'externe' onderzoeksgroepen omvat. Het JMBC bestaat namelijk niet alleen uit een groot aantal onderzoeksgroepen binnen de drie TU, maar ook uit enkele onderzoeksgroepen bij andere universiteiten. Het gaat hierbij om twee leerstoelen aan de Rijksuniversiteit Groningen⁶, twee leerstoelen aan de Universiteit Wageningen⁷, één leerstoel aan de Radboud Universiteit Nijmegen⁸ en één leerstoel aan de Universiteit Leiden⁹. Ook deze onderzoeksgroepen worden tot het CFSM gerekend.

In aanvulling op de structuur van de genoemde onderzoeksscholen is een 'lichte' overkoepelende structuur ingesteld, namelijk het **Netherlands Mechanics Committee**. Vanuit het NMC is de vertegenwoordiging vanuit beide onderzoeksscholen in internationale koepels op het vakgebied geregeld. Het NMC bestaat uit twee personen vanuit het JMBC, twee personen uit EM en één persoon vanuit de mechanica-afdeling van het Koninklijk Instituut Van Ingenieurs (KIVI). Deze structuur was voor de instelling van het CFSM al actief.

Invulling van het CoE

Het CoE maakt – zoals in de inleiding al aangegeven – onderdeel uit van het CFSM. Dit CoE, aangeduid met de term **Centre of Multiscale Phenomena**, bestaat uit een deelverzameling van 14 volledige leerstoelen. Bij de afbakening van dit CoE is uitgegaan van een mix van bewezen excellente leerstoelen (waaronder de groepen van de Spinozalaureaten De Borst en Lohse) en leerstoelen die de potentie hebben om tot excellente groepen uit te groeien door hun inbedding in het CoE.

In het kader van de intensivering van de samenwerking op 3TU-niveau is er voor Fluid & Solid Mechanics een overheidsbijdrage van 8 miljoen euro toegezegd. Hiermee worden enkele investeringen in excellent wetenschappelijk onderzoek gedaan die zullen leiden tot een versterking van het CoE (binnen het CFSM). Uit dit budget worden verschillende investeringen in het onderzoek gefinancierd. Zo is onder meer voorzien in de uitbreiding met een vijftal nieuwe fulltime leerstoelen. Deze nieuwe leerstoelen zijn voorzien op de volgende onderwerpen:

- Computational Multiscale Turbulence Dynamics (TUD)
- Computational Physics of Multi-scale Transport Phenomena (TU/e)
- Reliability of Structures and Processing (TUD)
- Multi-scale Engineering Fluid Dynamics (TU/e)
- Mechanics of Interaction Phenomena at Multiple Scales (UT)

Op het moment van schrijven waren op één na alle vijf nieuwe CoE-leerstoelen inmiddels ingevuld. De werving voor de laatste leerstoel was in volle gang.

In aanvulling hierop zullen ook nog vijf deeltijdhoogleraren worden aangetrokken. Binnen het JMBC zijn in de afgelopen jaren goede ervaringen met deze zogenoemde 'visiting professors' opgedaan. Verder zullen drie nieuwe Universitaire Docenten worden aangesteld. Tot slot zal van het bovengenoemde budget circa 1 miljoen euro worden geïnvesteerd in hoogwaardige onderzoeksfaciliteiten.

De voornoemde naam van het CoE duidt op het centrale thema dat voor het CoE is gekozen. Met het bestuderen van de **multischaal fenomenen** wordt beoogd om een verbinding te leggen tussen de verschillende lengteschalen en tijdschalen waarop zowel stromingsleer als vaste stof mechanica worden bestudeerd. Binnen beide gebieden worden macro-, meso- en microschaal veelal onafhankelijk van elkaar bestudeerd. Vanuit de invalshoek van het CoE wordt beoogd om het gedrag

⁶ De leerstoelen 'Combustion Science & Engineering' en 'Computational Mechanics & Numeric Mathematics'

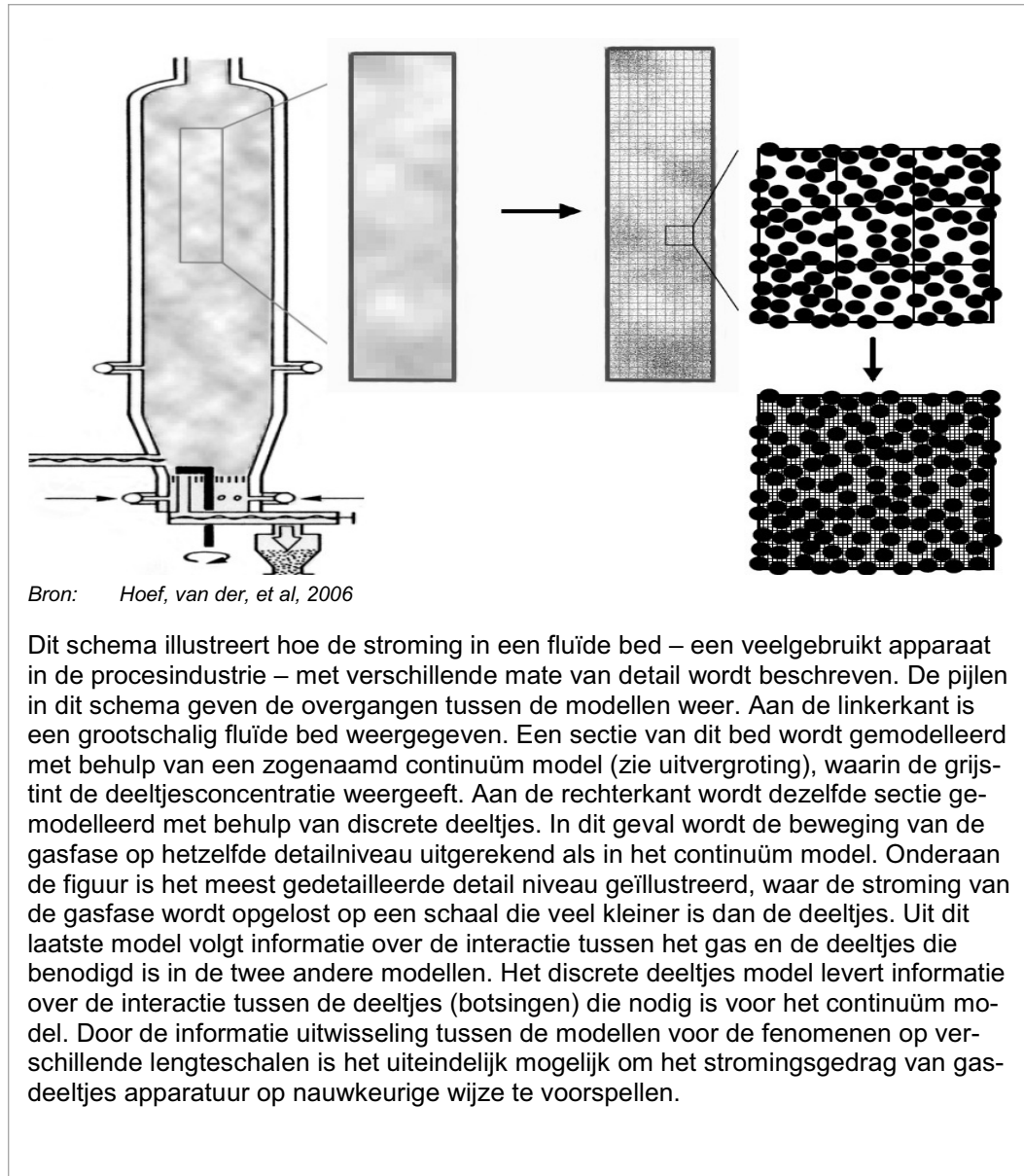
⁷ Biometris en Experimental Zoology Group

⁸ Applied Molecular Physics

⁹ Theoretical Fluid Mechanics

van vloeistof/gas en vaste stof op alle toepassingsschalen beter te begrijpen en te verklaren door de onderliggende krachten en (materiaal)eigenschappen op mesoscopische en microscopische lengteschaal. Het aaneenschakelen van schaalspecifieke experimenten en modellen tot geïntegreerde numerieke en simulatiemodellen wordt als een belangrijke wetenschappelijke uitdaging gezien.

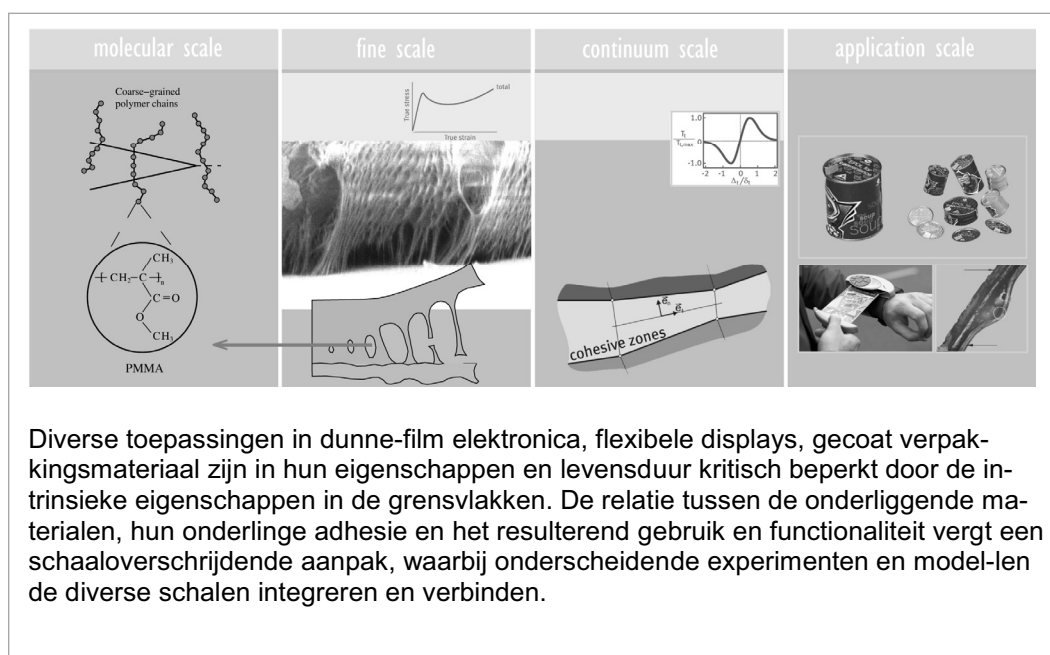
Schema 2 Grafische weergave van het multischaal modelleringsconcept voor gasdeeltjes stromingen in een fluïde bed



De keuze voor het centrale thema binnen het CoE Centre of Multiscale Phenomena is vooral gebaseerd op het criterium '**wetenschappelijke uitdaging**'. Op de verschillende thema's binnen Fluid & Solid Mechanics worden (op termijn) wetenschappelijke 'doorbraken' voorzien. Vanwege het feit dat de multischaal fenomenen vele onderzoeksthema's binnen het CFMS raken, mag hiervan een grote uitstraling naar de gehele wetenschap van de stromingsleer en vaste stof mechanica worden verwacht. Hoewel de wetenschappelijke uitdaging centraal heeft gestaan bij de afbakening van dit CoE, zal de methodische numeriek-experimentele analyse van de

multischaal fenomenen ook een **grote invloed** hebben op de **innovativiteit** van verschillende industriële bedrijfstakken. We komen hierop in paragraaf 4 terug.

Schema 3 Illustratie van multischaal fenomenen in de vaste stof mechanica

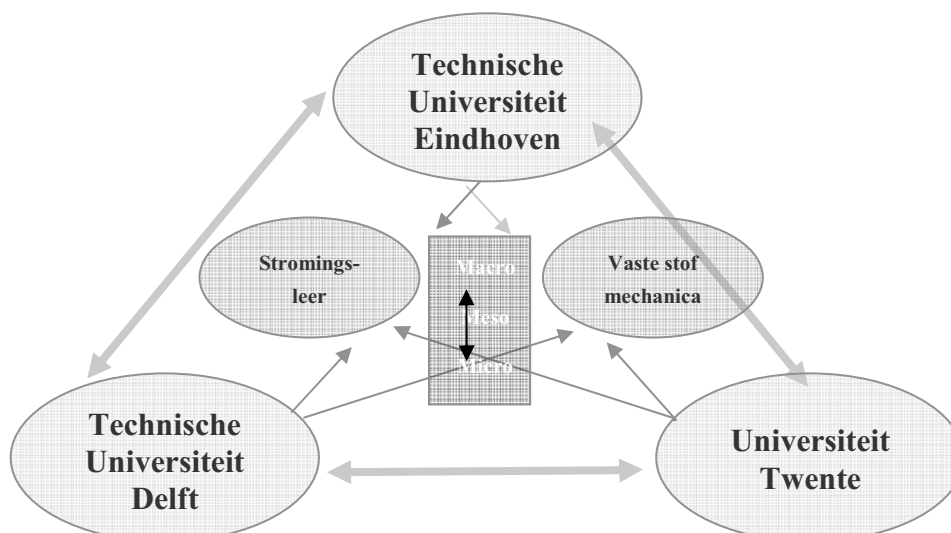


Meerdimensionale krachtenbundeling

Het bovenstaande impliceert dat de krachtenbundeling die met de vorming van het CFMS (en het CoE Centre of Multiscale Phenomena daarbinnen) wordt beoogd, meerdere dimensies kent. In schema 4 hebben we dit nader gevisualiseerd.

De **eerste dimensie** heeft betrekking op de samenwerking tussen de verschillende onderzoeksgroepen aan de drie TU's. Hoewel elk van de universiteiten een eigen 'couleur locale' heeft op het gebied van stromingsleer en vaste stof mechanica, vormt het geheel aan Fluid & Solid Mechanics onderzoek aan de drie TU's een sterke bundeling van competenties. De drie TU's nemen zowel in kwantitatieve als kwalitatieve zin een dominante positie in daar waar het gaat om publiek gefinancierd onderzoek op het gebied van stromingsleer en vaste stof mechanica aan universiteiten. Deze krachtenbundeling is niet alleen voor de wetenschap zelf van belang, maar – zoals verderop blijkt – ook voor intermediaire kennisinstituten en het Nederlandse bedrijfsleven.

Schema 4 De drie dimensies van krachtenbundeling binnen het CFMS



De **tweede dimensie** van krachtenbundeling betreft de samenhang en samenwerking tussen de twee wetenschapsgebieden stromingsleer en vaste stof mechanica. Beide gebieden hebben een diepgewortelde positie in de geschiedenis van de wetenschap ingenomen. De stromingsleer en de vaste stof mechanica hebben zich tot sterke, zelfstandige fundamentele wetenschapsgebieden ontwikkeld. Binnen de kaders van het CFSM (en het CoE daarbinnen) zijn de stromingsleer en de vaste stof mechanica in bindende en ondersteunende zin bij elkaar gebracht. Overigens was voor de vorming van het CFSM in toenemende mate al sprake van interactie en samenwerking tussen onderzoeksgroepen binnen elk van beide onderzoeksscholen. In die zin kan het CFSM worden gezien als formalisering van een ontwikkeling die daarvoor al in gang was gezet. Verderop in dit rapport zal blijken dat het samenbrengen van deze twee gebieden erg wordt gewaardeerd door de 'buitenwacht'.

Met de keuze voor '**Multi-scale Phenomena**' als centraal thema voor het CoE werd – in aanvulling op het voorgaande – in feite een **derde dimensie** van krachtenbundeling toegevoegd. Traditioneel concentreerde het onderzoekswerk in de stromingsleer en de vaste stof mechanica zich voornamelijk op een specifieke lengteschaal (veelal bepaald door de specifieke toepassing). Het wetenschappelijk verbinden van de acterende lengteschalen is gegroeid uit de noodzaak om veel concretere en meer voorspellende antwoorden te kunnen geven op de nieuwe industriële uitdagingen die de kleinste bouwstenen van de materie koppelen aan functioneel en structureel gedrag van vloeistof/ vaste stof systemen. Deze verbredende aanpak levert zowel nieuwe wetenschappelijke uitdagingen als toepassingen op. Op termijn zal deze trend een belangrijke weerslag hebben op de applicatiemogelijkheden van Fluid & Solid Mechanics.

2. Inhoud van het CFSM-onderzoek

Funderende wetenschap

Hiervoor is al opgemerkt dat het CFSM twee wetenschapsgebieden bundelt, namelijk de stromingsleer en de vaste stof mechanica. Bij **stromingsleer** gaat het om de beschrijving van de beweging van vloeistoffen (hydrodynamica) en gassen (aerodynamica). Onderwerpen van studie vormen dan stromingseigenschappen als bijvoorbeeld snelheid, druk, dichtheid en temperatuur. **Vaste stof mechanica** beschrijft de structuur en het 'gedrag' van vaste materie onder invloed van diverse complexe omstandigheden. Daarbij wordt aandacht besteed aan structurele materie-eigenschappen (zoals bijvoorbeeld sterkte, stijfheid, bezwijken/falen en vervorming) en – daarmee samenhangend – functionele eigenschappen (zoals betrouwbaarheid, levensduur, maakbaarheid en geleiding van materie). In het geval van beide wetenschapsgebieden kan gesproken worden van een complex onderwerp met vele wetenschappelijke uitdagingen. Om die uitdagingen aan te kunnen gaan, moeten voortdurend nieuwe en verbeterde experimenten en numerieke modellen worden ontwikkeld waarmee het gedrag van vloeistoffen en vaste stoffen (en de interactie daartussen) kan worden berekend, voorspeld en gevisualiseerd.

Het onderzoek aan het CFSM kan zowel inhoudelijk als methodologisch als **breed** worden aangemerkt. In de gevoerde interne en externe gesprekken is naar voren gekomen dat Fluid & Solid Mechanics als '**funderende wetenschap**' moet worden beschouwd voor een groot aantal andere wetenschaps- en technologiegebieden. Het gaat daarbij bijvoorbeeld om (toegepaste) natuurkunde, werktuigbouwkunde, maritieme technologie, chemische technologie, toegepaste wiskunde, civiele techniek, watermanagement, lucht- en ruimtevaarttechniek en biomedische technologie. Binnen het CFSM-onderzoek worden (in wetenschappelijke experimenten) uiteenlo-

pende theoretische en numerieke methodes ontwikkeld, toegepast en gevalideerd¹⁰. In het verlengde hiervan kan dus van een grote uitstraling naar een groot aantal applicatiegebieden worden gesproken (zie ook verderop).

Onderzoeksthema's van het CFMS

Binnen het onderzoek aan het CFMS worden in totaal acht thema's onderscheiden waarop aan de drie TU's hoogwaardig wetenschappelijk onderzoek wordt bedreven. Binnen elk van deze thema's kunnen weer verschillende onderzoeksgebieden worden onderscheiden (die gerelateerd zijn aan het betreffende thema). In het navolgende schema zijn deze thema's weergegeven en kort beschreven.

Schema 5 De thema's van het CFMS

Thema	Toelichting op het thema
1. Complex Fluids	Onderzoek dat zich richt op het complexe gedrag van deeltjes, druppels en/of bellen in vloeistof/gas (zoals twee-/meerfasenstroming en granulaire stroming). Ook de meestal niet-Newtonse stroming en deformatie (reologie) van het totale meerfasensysteem (suspensie, emulsie, schuim) is hierbij van belang.
2. Turbulence	Het bestuderen van onregelmatige wervelende bewegingen in vloeistof en gas op uiteenlopende schalen.
3. Micro- en nano-fluids	Onderzoek naar het gedrag van stroming en van druppels en belletjes op micro- en nanoschaal (voor nieuwe materialen, nieuwe fabricagemethoden, koeling elektronische instrumenten, labs-on-chips voor medische toepassingen, etc.).
4. Multi-scale structure property relations in solids	Aan de hand van geavanceerde, numeriek-experimentele methoden voorspellen van 'gedrag' van vaste media onder diverse complexe belastingen. Het gaat hierbij dan met name om het voorspellen van resulterende structurele eigenschappen (sterkte, stijfheid, vervormbaarheid, ductiliteit, vermoeiing, schade, breuk, enz.).
5. Non-linear dynamics	Onderzoek naar verschillende typen niet-lineaire bewegingsverschijnselen en het opnemen van niet-lineariteiten in de modellering, analyse en simulatie van dynamische fenomenen (onder meer roterende onderdelen van industriële machines, synchronisatie van gelijktijdige robotsystemen, frictie en geluid bij wiel-wegcontact).
6. Tailoring the mechanics of materials, devices and constructions	Voorschrijdend onderzoek met als doel mechanisch gedrag van vaste media op diverse lengteschalen te testen en te modelleren, zodat optimale keuzes kunnen worden gemaakt op het niveau van het materiaal, geometrie, product en maakproces. Waar functionaliteit van de materialen een rol speelt, is dit thema intrinsiek multidisciplinair (mechanisch, thermisch, elektrisch, Magnetisch).
7. Fluid-structure interaction	Onderzoek van de wisselwerking tussen stroming en structuur: de invloed van stroming van vloeistof/gas op de eigenschappen van vaste media en – vice versa – de invloed van vaste structuren op de stroming. Dit speelt zowel op kleine schaal (microfluidische toepassingen in de medische hoek) als constructieproblemen op macroschaal.
8. Solver efficiency	Ontwikkelen van meer efficiënte numerieke computertechnieken om beter en optimaler gebruik te kunnen maken van de toenemende, maar begrensde rekensnelheid van computers, waarbij het simultaan oplossen van diverse lengteschalen een sterke toename van de behoefte met zich meebrengt.

Bron: *Long term research plan Centre of Fluid and Solid Mechanics, 2008*

Aan de hand van bovenstaand schema kan een aantal conclusies worden getrokken.

¹⁰ Bron: *Centre of Competence 'Fluid and Solid Mechanics' Domain description, 2007*

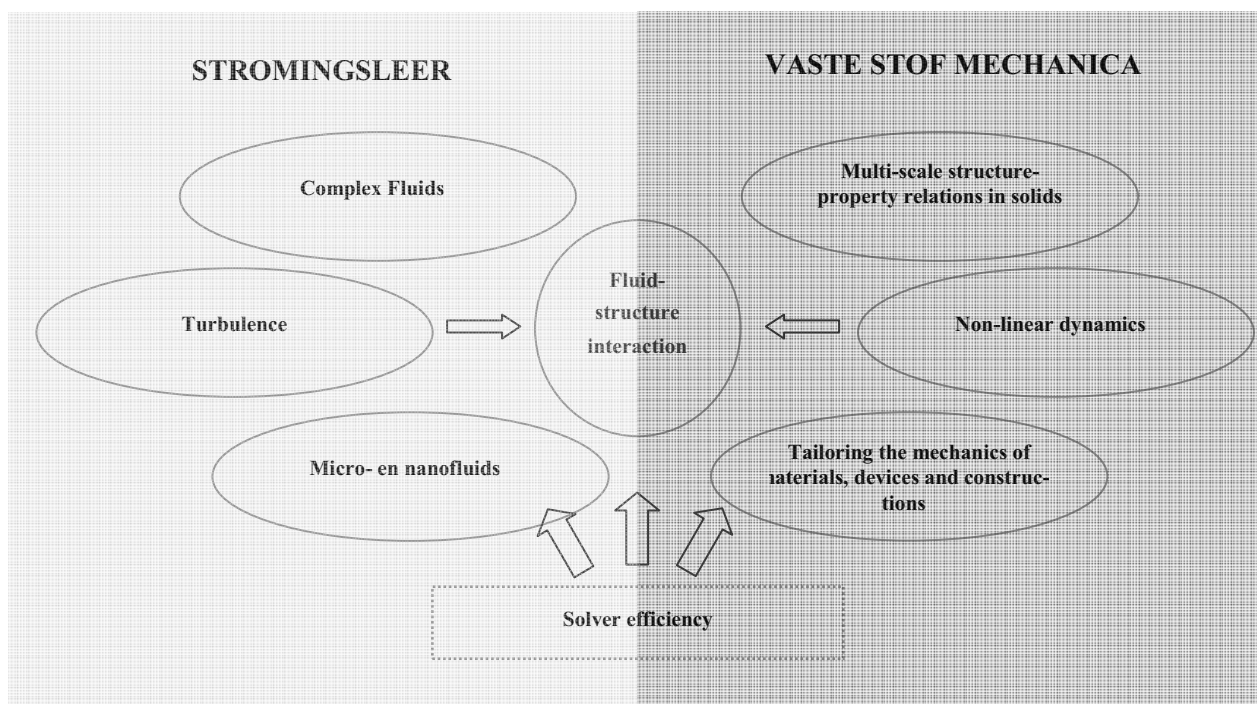
Uit de gesprekken met interne vertegenwoordigers van de drie TU's en de deskresearch is gebleken dat de **domeinafbakening van het CoC** is gebaseerd op het onderzoek zoals dat al aan de beide onderzoeksscholen wordt verricht. De thema's beslaan dus het hele werkterrein van de stromingsleer en de vaste stof mechanica zoals dat wordt bestreken vanuit beide onderzoeksscholen. In de bovenstaande afbakening komen de onderzoeksterreinen van beide onderzoeksscholen op een herkenbare manier terug. Zo dekken de eerste drie thema's uit schema 4 feitelijk een belangrijk deel van de stromingsleer af (en ligt het zwaartepunt van het onderzoek op deze drie thema's dus bij het JMBC). De thema's 4 tot en met 6 hebben betrekking op vaste stof mechanica en vormen de kernen van de onderzoeksschool EM.

Ook de toenemende **integratie tussen de beide wetenschapsgebieden** komt tot uitdrukking in bovenstaande domeinafbakening, namelijk in de laatste twee thema's uit schema 5. Binnen het thema fluid-structure interaction komen basisprincipes uit de stromingsleer en de vaste stof mechanica bijeen. Juist op het snijvlak tussen vloeistof/ gas en vaste stof is nog veel te ontdekken, te beschrijven en te modelleren. Vanuit de gevoerde gesprekken met vertegenwoordigers vanuit het bedrijfsleven blijkt dat voor de resultaten van het onderzoek op dit terrein grote belangstelling bestaat.

Daarnaast dient gewezen te worden op het belang en de positie van het thema 'solver efficiency'. Hoewel in bovenstaand schema als apart thema weergegeven, gaat het hierbij om een faciliterend thema voor de andere CFSM-thema's. Het verbeteren van numerieke methoden – waaraan vanuit het thema solver efficiency wordt gewerkt – heeft grote impact op de wetenschappelijke en experimentele methoden en technieken binnen zowel de stromingsleer als de vaste stof mechanica. Dit kan als buitengewoon belangrijk worden aangemerkt om in de fundamentele wetenschapsbeoefening op beide gebieden forse sprongen te maken. Overigens is ook vanuit sommige externe gesprekspartners aangegeven dat ook zij belang hechten aan – en binnen hun organisatie zelf ook inzet plegen op – dit thema. De 'vertaling' van de wetenschappelijke technieken, zoals die worden ontwikkeld binnen CFSM, naar commercieel toepasbare softwarepakketten is naar hun mening weliswaar een proces van de langere adem, maar zeker interessant om te volgen. Deze vertaling is overigens geen kerntaak voor de CFSM-onderzoekers zelf. In de fase na het CFSM-onderzoek ontbreekt het dikwijls aan middelen en menskracht om deze stap te zetten.

De CFSM-thema's zoals die hiervoor zijn genoemd, staan niet op zichzelf maar vertonen een grote **inhoudelijke samenhang**. Deze samenhang is in schema 6 gevisualiseerd.

Schema 6 De thema's van het CFSM in onderling verband



Het wetenschapsdomein waarop het CFSM 'acteert' – dus het geheel aan thema's binnen het CFSM – is een ***mix van inhoudelijke en meer methodisch gerichte thema's***. Juist in die combinatie zit een belangrijke kans voor het gehele vakgebied van Fluid & Solid Mechanics. Om de fundamentele wetenschap verder te brengen – en in het verlengde hiervan de technologische ontwikkeling verder te brengen en nieuwe toepassingsmogelijkheden te 'ontginnen' – kan niet meer worden volstaan met bestaande mathematische vergelijkingen en computermodellen. Om het onderzoek uit te voeren zijn nieuwe numerieke, experimentele en simulatietechnieken nodig.

Vanuit dit oogpunt levert het CFSM-onderzoek dan ook een belangrijke bijdrage aan de verdere ontwikkeling van de '***computational sciences***' op het gebied van de stromingsleer en de vaste stof mechanica. Het ontwikkelen en valideren van deze rekenkundige modellen vormt een belangrijke uitdaging voor het vakgebied. Op de kortere termijn is dit van belang voor het science-based onderzoek aan de eigen onderzoeksgroepen. Uit de gevoerde gesprekken blijkt dat ook de intermediaire kennisinstituten (als TNO en GTI's) hiervan inmiddels profiteren. De weg naar commerciële toepassingen in ontwerpsoftware voor het bedrijfsleven is veelal nog een weg van lange adem. Op termijn wordt op dit punt echter een belangrijke bijdrage vanuit het CFSM-onderzoek aan het innovatieve vermogen van het Nederlandse bedrijfsleven voorzien.

Vanuit bovenstaand perspectief kan worden geconcludeerd dat er sprake is van een ***logische en samenhangende afbakening***, dat zowel recht doet aan de huidige sterkten van de beide gebieden als aan kansen en uitdagingen voor de toekomst. Die kansen en uitdagingen gelden dan zowel in wetenschappelijk opzicht als (op termijn) ook in maatschappelijk opzicht. Beide gebieden (gezamenlijk) kennen een ***groot aantal mogelijke applicatiegebieden*** van hun kennis. Bij Fluid & Solid Mechanics is immers sprake van een fundamentele basisdiscipline die inzicht/kennis, mathematische theorieën en methoden en simulatie-/ontwerpmodellen genereert, die in combinatie met andere disciplines kunnen leiden tot vele applica-

ties in nieuwe materialen, producten, processen, modellen, systemen en dergelijke. Dit impliceert dat dit het onderzoek aan dit CoC meerdere maatschappelijke thema's en een groot aantal sectoren van de Nederlandse industrie 'raakt'.

3. Externe reflectie op vorming en inhoud van het CFSM

In de gesprekken met de externe gesprekspartners hebben we hen in de gelegenheid gesteld om een reflectie te geven op de vorming en de inhoud van het CFSM. Dit levert het navolgende beeld op. In de voornoemde workshop is dit verder aangevuld en aangescherpt.

Een eerste constatering is dat de gesprekspartners het **terecht** – en in feite ook niet meer dan logisch – vinden dat Fluid & Solid Mechanics als één van de speerpunten is aangewezen voor de samenwerking op 3TU-niveau. Op elk van de drie universiteiten zijn wetenschappelijke onderzoeksgroepen aanwezig, die een grote traditie hebben en binnen hun wetenschapsgebied een vooraanstaande (internationale) positie innemen. Een ander argument dat in dit opzicht werd aangevoerd door de gesprekspartners, is het feit dat we in dit geval te maken hebben met een funderende basisdiscipline voor de gehele mechanica. Hiervan gaat een grote en bepalende invloed uit naar vele technologieën en daarmee voor vele engineering- en ontwerp vraagstukken binnen de Nederlandse industrie. Juist vanwege het karakter van Fluid & Solid Mechanics – weliswaar zelfstandige wetenschapsdisciplines, maar die in de toepassings sfeer als een 'enabler' voor vele technologische toepassingen moet worden gezien – waren sommige gesprekspartners aangenaam verrast dat het gelukt is om de erkenning als speerpunt voor verdere samenwerking tussen de drie TU's te verwerven.

Een tweede constatering is dat het CFSM voortborduurt op een **bestaande structuur** (van twee onderzoeksscholen) die in de afgelopen jaren **sterke netwerken** met partijen in haar omgeving heeft opgebouwd. Met zowel de intermediaire kennisinfrastructuur als het industriële bedrijfsleven is in de achterliggende periode een hechte band ontstaan. Deze band uit zich onder meer in de participatie van deze externe partijen in de (Industriële) Adviesraden van JMBC en EM (zie schema 7).

Schema 7 Externe partijen die participeren in de (Industriële) Adviesraden van JMBC en EM

Externe partijen		
AKZO-Nobel	Gasunie	Philips
ASML	Marin	Shell
Corus	Ministerie van Verkeer & Waterstaat	Stork
Deltares	M2i (voorheen NIMR)	Teijin Aramid BV
Dow Benelux	NLR	TNO
ECN	NMI	Unilever

Bron: *Annual Report 2006 van JMBC respectievelijk EM*

Het CFSM is uitgebouwd rond een bestaand en functioneel netwerk op het gebied van Fluid & Solid Mechanics. Dit CoC hoeft dus niet 'van scratch' te beginnen, maar kent al volop interactie met haar omgeving. De formalisering tot een CoC is de feitelijke bevestiging van een jarenlang proces wat geleid heeft tot een hechte samenwerking tussen onderzoeksgroepen, TNO/GTI's en het bedrijfsleven. Wat de toekomstige CFSM-activiteiten betreft zal vooral op deze bestaande netwerken worden voortgebouwd.

Een volgende rode draad in de gevoerde externe gesprekken en de workshop is dat de **maatschappelijke relevantie** van de samenwerking in 3TU-verband op het gebied van Fluid & Solid Mechanics sterk resulteert uit de **opleidingsfunctie** binnen het CoC, uitgevoerd door de beide onderzoeksscholen. De kennisinstituten en de industriële concerns in ons land die eigen R&D-activiteiten uitvoeren, zijn voor het aantrekken van (een belangrijk deel van) hun onderzoeks- en ontwikkelingscapaciteit afhankelijk van de academisch gevormde onderzoekers die worden opgeleid aan de beide onderzoeksscholen. Aangegeven is dat het CFMS een uitermate belangrijke bron van hoogopgeleide en adequaat getrainde medewerkers vormt. De opleidingsfunctie van het CFMS wordt als een concrete, directe valorisatievorm gezien.

Zeet nauwkeurig en betrouwbaar meten van gas- en vloeistofhoeveelheden is economisch van groot belang voor Nederland. Er wordt immers voor miljarden euro's verhandeld op basis van dergelijke metingen. Denk maar aan aardgas, olie, water, benzine, voedingsmiddelen, et cetera. Kleine meetfouten leiden tot zeer grote financiële consequenties. Goede meetstandaarden voor stroming zijn dan ook essentieel. Het Nederlands Meetinstituut (NMI) die hiervoor verantwoordelijk is, behoort op dit gebied tot de top-3 in de wereld, hetgeen de concurrentiepositie van Nederland ondersteunt. Om zover te komen en deze positie verder uit te bouwen is het benutten van de experimentele ontwikkelingen van het JMBC en de gepromoveerden die zij aflevert, noodzakelijk. (Bron: ir. A.J. Dalhuijsen, NMI)

Aan de drie TU's krijgen de onderzoekers in de visie van de externe gesprekspartners een goede academische vorming. Het programma van (gezamenlijke) **cursussen** vanuit de onderzoeksscholen wordt als erg waardevol beschouwd. Naast een verdere verdieping van het vak krijgen de deelnemers hiermee belangrijke vaardigheden als 'zelfredzaamheid' en 'samenwerken'. Specifiek werd gewezen op de mogelijkheid binnen het CFMS om cursussen bij de andere twee universiteiten te volgen in plaats van uitsluitend aan de 'eigen' universiteit. Deze **interne uitwisseling** draagt bij aan een verruiming van het inhoudelijke blikveld van de mensen en vergroting van het netwerk aan contacten dat zij meebrengen. In de gesprekken en de workshop is naar voren gebracht dat dit zeer gewaardeerde eigenschappen zijn. Overigens staat het cursusprogramma dat vanuit de onderzoeksscholen wordt aangeboden steeds meer in de belangstelling van de kennisinstituten/het bedrijfsleven.

In de gesprekken met de externe partijen hebben we ook een oordeel gevraagd over de **thema-indeling** en de **beschrijving van elk van de onderzoeksthema's** van dit CoC. Daaruit is naar voren gekomen dat de gesprekspartners zich doorgaans herkennen in de afbakening van thema's. Voor het deel van de stromingsleer en/of vaste stof mechanica waarop zij zicht hebben, kunnen zij aan de hand van de themaomschrijving een goede voorstelling maken van welk onderzoek wordt uitgevoerd.

Een volgende constatering is dat er onder de geraadpleegde externe vertegenwoordigers een **groot draagvlak** bestaat voor het centraal stellen van de **multischaal verschijnselen** binnen het CoE. Voor innovatieve processen binnen uiteenlopende industriële sectoren – verdergaande miniaturisering in bijvoorbeeld de consumentenelektronica en IC-industrie, de voortdurende vragen vanuit klanten om veel meer functionaliteiten in ontwerpprogramma's te integreren, de noodzaak om betere voorspellingen te kunnen doen van de betrouwbaarheid/bezwijkmomenten van materiaaltoepassingen en de ontwikkeling van nieuwe high-performance materialen – wordt de aandacht voor de multischaal fenomenen als belangrijke succesfactor beschouwd.

Vanuit deze optiek hebben verschillende externe gesprekspartners aangegeven het terecht en zeer waardevol te vinden dat de multischaal verschijnselen centraal zijn komen te staan binnen de 3TU-samenwerking op dit terrein. Dit moet volgens deze gesprekspartners gekoesterd worden. Het CFSM loopt hiermee namelijk voorop in Europa: in EU-programma's en Europese netwerken als European Research Community for Flow Turbulence Combustion (ERCOFTAC) is dit tot dusver vrij onderbelicht gebleven. Vanuit verschillende nationale programma's wordt inmiddels al wel aandacht besteed aan het verder 'ontginnen' van deze multischaal fenomenen en het versnellen van de toepassing daarvan in een industriële omgeving. Daarbij valt bijvoorbeeld te denken aan het STW-programma MuST en één van de onderzoeksthema's van het M2i-programma¹¹. Verderop komen we nog op deze programma's terug.

Een andere kritische succesfactor voor het onderzoek aan het CFSM dat vanuit de externe gesprekspartners naar voren is gebracht, is de **multidisciplinaire samenwerking**. Kenmerkend voor Fluid & Solid Mechanics is dat het een wetenschappelijke basisdiscipline is die op een meerdimensionale manier naar applicaties gaat. Dit geldt niet alleen voor de onderlinge samenwerking tussen de disciplines binnen het CFSM, maar ook voor samenwerking met andere, aanpalende disciplines binnen de drie TU's alsmede met onderzoeksgroepen bij andere universiteiten (bijvoorbeeld medische faculteiten). Vanuit de hoek van de grote R&D-concerns is aangegeven dat zij in de kennisinteractie met onderzoeksgroepen binnen het CFSM niet alleen als kennisafnemers moeten worden beschouwd. Bij hen wordt ook (toegepaste) kennis ontwikkeld, dat de fundamentele kennisontwikkeling aan de drie TU's verder kan helpen. Het intensiveren van tweerichtingsverkeer (niet alleen binnen 3TU-verband, maar ook met de externe omgeving) wordt als zeer waardevol en tevens uitdagend voor Fluid & Solid Mechanics gezien. Overigens hebben verschillende onderzoeksgroepen binnen het CFSM al stappen in die richting gezet en hiermee inmiddels de nodige ervaringen opgedaan.

Suggesties voor mogelijke initiatieven vanuit CFSM

In de gevoerde gesprekken zijn verschillende **suggesties** gedaan voor **initiatieven** die ontplooid zouden kunnen worden vanuit het CFSM. Vanuit een deel van de geraadpleegde bedrijven is aangegeven dat – in aanvulling op de contacten die er op dit moment al bestaan met individuele leerstoelen binnen de beide onderzoeksscholen – het CFSM een waardevolle aanvulling kan zijn om het onderzoek (op het gehele terrein van Fluid & Solid Mechanics) te etaleren en voor het bedrijfsleven nog meer toegankelijk te maken. Voor sommige vertegenwoordigers van bedrijven geldt dat zij slechts zicht hebben op een deel van het onderzoek dat wordt uitgevoerd, namelijk van de onderzoeksschool waarmee zij contact onderhouden. Anderzijds bestaat er bij deze bedrijven behoefte aan één aanspreekpunt waar zij hun kennisvragen neer kunnen 'adresseren'. Het CFSM zou in hun ogen een loketfunctie kunnen vervullen. Overigens moet hierbij wel worden aangetekend dat aanpalende organisaties – zoals het M2i – al een dergelijke functie hebben.

Een andere suggestie (die ook vanuit een aantal kennisinstituten wordt gedragen) is het organiseren van een 'challenges day', zoals dit in verleden ook al wel eens vanuit het JMBC is geïnitieerd. Tijdens een dergelijke bijeenkomst – maar dan voor JMBC én EM samen – wordt vanuit het bedrijfsleven een aantal praktijkproblemen voorgelegd aan een groep hoogleraren om vervolgens vanuit de wetenschap ideeën voor mogelijke oplossingsrichtingen aangedragen te krijgen. Sommige gesprekspartners zien dit als mogelijke bron voor het formuleren van nieuwe, gezamenlijke onderzoeksprojecten.

¹¹ Eén van de clusters binnen dit innovatieprogramma heeft specifiek betrekking op dit thema en wordt aangevoerd door een hoogleraar vanuit de 3TU.

Tot slot hebben enkele externe gesprekspartners de wens geuit dat het CFMS in samenwerking met haar partners in de kennisketen tot een zekere vorm van **pro-grammering** zal komen. Als spiegel van het fundamentele basisonderzoek aan het CFMS zouden aan de hand van concrete business cases vanuit het bedrijfsleven en intermediaire kennisinstellingen 'applicatiecarriers' vastgesteld dienen te worden, die op hun beurt weer tot nieuw onderzoek kunnen leiden.

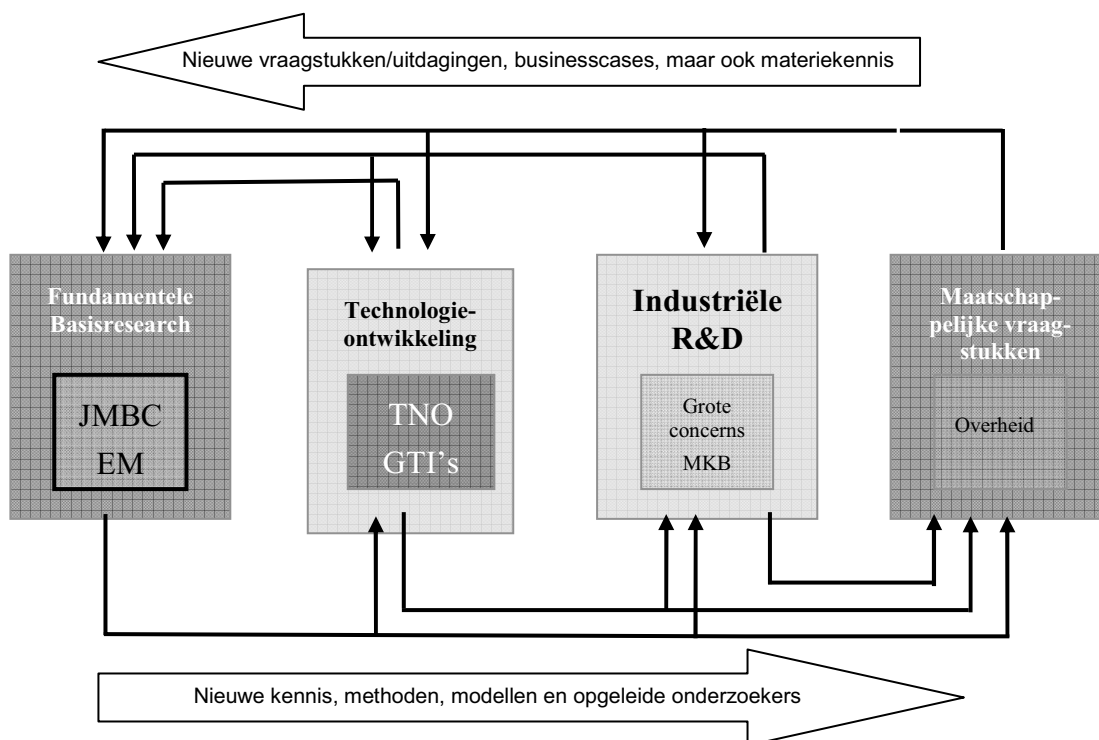
4. Marktrelevantie CFMS

Hoewel een belangrijk deel van het onderzoek aan het CFMS fundamenteel van aard is, hebben zowel de stromingsleer als de vaste stof mechanica vele toepassingsmogelijkheden. Beide gebieden genereren belangrijke fundamentele basiskennis voor veel technologieën en dragen in dit opzicht bij aan het innovatievermogen – en in het verlengde hiervan – het economisch presteren van de Nederlandse industrie. Deze economische relevantie van het CFMS-onderzoek zullen we in deze paragraaf nader onderbouwen.

Positie CFMS in de innovatieketen

In het voorgaande is al duidelijk geworden dat vanuit het CFMS in de afgelopen jaren een krachtig netwerk is opgebouwd met TNO/GTI's en het bedrijfsleven. Via een aantal sporen vindt kennisinteractie plaats met intermediaire instituten (die deze kennis doorvertalen naar industriële vraagstukken) en rechtstreeks met het bedrijfsleven. Deze interactie is gevisualiseerd in onderstaand schema.

Schema 8 Positie van het CFMS-onderzoek in de innovatieketen



Het wetenschappelijk onderzoek aan het CFMS staat aan het begin – en dus de basis – van de innovatie- en waardeketen. Zij genereert een voortdurende 'stroom' aan ideeën, methoden en modellen waarvan een deel uiteindelijk – via de kennisin-

stituten en/of het bedrijfsleven – tot applicaties wordt gebracht. Het vermarkten van deze applicaties vindt binnen de industrie plaats. Deze applicaties komen voor een deel tegemoet aan kennisbehoeften die voortvloeien uit maatschappelijke vraagstukken. Op dit laatste gaan we in de volgende paragraaf in.

Overigens is vanuit de externe gesprekspartners ook aangegeven dat sommige grote R&D-bedrijven en een deel van technologie-georiënteerde MKB niet alleen als 'afnemers' van kennis moeten worden gezien, maar ook als kennisproducenten waarvan het wetenschappelijk onderzoek aan het CFSM kan profiteren. In dit opzicht is er sprake van een tweerichtingsverkeer.

In het geval van Fluid & Solid Mechanics kan van een zeer **breed scala aan applicatiemogelijkheden** worden gesproken. De kennis die aan het begin van de keten wordt ontwikkeld aan het CFSM wordt – veelal in combinatie met kennis uit andere wetenschappelijke disciplines – door uiteenlopende industriële sectoren toegepast. Bij een deel van het onderzoek binnen de CFSM-thema's uit paragraaf 3 is de vertaling naar de toepassing/applicaties een zaak van lange adem. Die kennis kan gezien worden als 'vermogen' die in de toekomst mogelijk verzilverd gaat worden. Op andere deelterreinen van het CFSM-onderzoek heeft de ontwikkelde fundamentele kennis zijn weg naar de toepassing in (nieuwe concepten voor) producten, processen en systemen inmiddels gevonden. Er is in dit opzicht sprake van een breed 'speelveld' waarop de 3TU-onderzoeksgemeenschap van Fluid & Solid Mechanics actief is. Op deze applicatiegebieden worden vanuit de onderzoeksscholen (en de onderzoeksgroepen daarbinnen) met uiteenlopende industriële bedrijven en intermediaire kennisinstituten relaties onderhouden.

Valorisatie via de opleidingsfunctie

De opleidingsfunctie van het CFSM wordt door het bedrijfsleven en de intermediaire kennisinstellingen als een essentiële en directe valorisatievorm gezien. De bedrijven met eigen R&D-activiteiten zijn voor hun innovatieve vermogen mede afhankelijk van de mate waarin zij over goed gekwalificeerde research- en engineeringcapaciteit kunnen beschikken. Vanwege het funderende karakter van Fluid & Solid Mechanics vormt het CFSM een belangrijke **bron** voor dit type **hoogwaardige R&D-menskracht**. Promovendi die vanuit het CFSM beschikbaar komen voor de arbeidsmarkt vinden zonder problemen een baan bij kennisinstituten en bedrijven in het netwerk rondom het CFSM.

Het belang van het CFSM voor de arbeidsmarkt van de kennisinstituten en bedrijven wordt onderbouwd met de volgende cijfers. Per jaar levert het CoC CFSM gemiddeld ongeveer 60 gepromoveerden af aan de arbeidsmarkt. Uit een analyse van de eerste baan van gepromoveerden blijkt dat circa 80% van de aan het JMBC en EM opgeleide promovendi een baan krijgen bij de GTI's/TNO of het bedrijfsleven.

Als overbrugging naar de volgende generatie litho-grafische technologie (namelijk Extreme UV), heeft ASML als enige producent in de wereld in 2003 besloten om immersielithografie te implementeren in haar machines voor de semiconductor industrie. Bij deze technologie worden dunne films van vloeistof toegepast tussen de lens en de wafer. Deze technologie is gebaseerd op kennis uit het CFSM-thema micro- en nanofluids. Om dit mogelijk te maken moest ASML in korte tijd haar R&D-personeel op dit terrein fors uitbreiden. In 2003 telde het bedrijf slechts enkele medewerkers die zich met stromingsleer en thermische processen bezig hielden. Begin 2008 was dit aantal uitgebreid naar maar liefst 210 R&D-medewerkers! Het aanbod van mensen vanuit de drie TU's was verre van voldoende. Vandaar dat medewerkers van over de hele wereld werden agetrokken. Juist vanwege de snelheid van handelen lukte het ASML om een marktaandeel van 80% te realiseren.

Wat deze opleidingsfunctie betreft ligt er overigens nog wel een belangrijke uitdaging voor het CFSM. Tijdens de workshop is naar boven gekomen dat de kennisinfrastructuur en het bedrijfsleven een **groot tekort** aan dit type menskracht ervaren. Vacatures in het R&D-domein waarvoor mensen met een opleiding in de stromingsleer of vaste stof mechanica nodig zijn, zijn op dit moment zeer moeilijk te vervullen. Dit grote tekort vormt een belemmering voor het innovatieproces en de expansie van de ondernemingen. Vanuit deze optiek is een grotere 'aanvoer' van opgeleide onderzoekers vanuit het CFSM wenselijk.

Het CFSM is voor het bedrijfsleven en de intermediaire kennisinstellingen overigens niet alleen van belang voor de werving van nieuwe R&D-medewerkers. Ook het aanbod van cursussen die jaarlijks vanuit het CFSM worden georganiseerd, staat in toenemende mate in de belangstelling van kennisinstellingen en bedrijven. Via deze **cursussen** krijgen **zittende medewerkers** – en dus de organisaties waarbij zij werken – de meest recente (wetenschappelijke) inzichten op deelterreinen van de stromingsleer en/of vaste stof mechanica aangereikt. Hoewel deze cursussen van oorsprong vooral bedoeld zijn voor promovendi, bestaat inmiddels ongeveer één derde van de cursisten uit medewerkers van TNO/GTI's en bedrijven.

Valorisatie via (contract)onderzoek

Naast de voornoemde opleidingsfunctie vindt valorisatie van de CFSM-kennis ook plaats via de onderzoeksprojecten. Deze kennisuitwisseling verloopt doorgaans via contacten met individuele onderzoeksgroepen, al dan niet via gezamenlijke deelname aan programma's van bijvoorbeeld STW, FOM en de TTI's (zie paragraaf 6). De relevantie van het CFSM-onderzoek voor de intermediaire kennisinstututen en de industrie blijkt onder meer uit de mate waarin door hen financieel wordt bijgedragen aan het onderzoek. In het onderstaande schema zijn de externe partijen weergegeven die participeren in het onderzoek aan het CFSM. Uit het schema blijkt dat ook vanuit de overheid of overheidsgerelateerde organisaties wordt geparticipeerd.

Schema 9 Externe partijen die participeren in CFSM-onderzoek

Externe partijen		
Abagus	MARIN	RIVM
Akzo-Nobel Research	Mayr Meinhof	SenterNovem
AMC	Ministerie van Economische Zaken	Shell
ASML	Ministerie van Verkeer & Waterstaat	SKF-ERC BV
Centrum Ondergronds Bouwen	MSC.Marc	Smurfit Kappa
Corus	Nederlandse Vlam Vereniging	SRON
DAF Trucks	NLR	Stork
De Schelde	NXP SKF	Stork-Fokker
Deltares	Océ Technologies	Svasek Hydraulics BV Rotterdam
DSM	PDE Automotive	Ten Cate
ECN	Philips Applied Technology	Thales
ESA	Philips DAP	TNO
Gasunie	Philips Lighting	Twister BV
General Electric Company	Philips Oral Healthcare	Unilever Research
Gouda VV	Philips Research	Vredestein
Helianthos	Polymer Vision	Wärtsilä Propulsion Netherlands
HOLST	Polynorm	Yara Sluiskil
INPRO	RIKZ- Rijkswaterstaat	Zwick

Bron: Jaarrapporten 2006 van JMBC respectievelijk EM

Het belang van het CFSM-onderzoek voor kennisinstituten, bedrijven en overheden laat zich ook meten in het aandeel van derdegeldstroom middelen in het totale onderzoeksbudget. Dit aandeel bedraagt circa 30%.

De onderzoeksresultaten komen niet alleen ten goede aan de kennisinstituten en bedrijven die onderzoeksprojecten financieel ondersteunen. De diffusie van kennis verloopt ook via gebruikerscommissies¹² (van STW/FOM-projecten), voortgangsbesprekingen samen met de industrie, clustermeetings met de industrie, overdracht van software, de bijeenkomsten van de Industriële Adviesraden, de JMBC-contactgroepen, het JMBC-symposium, het EM-symposium, het cursusprogramma, de jaarrapporten en dergelijke.

Betekenis voor de concurrentiepositie van de Nederlandse industrie

De funderende kennis die vanuit het CFSM-onderzoek beschikbaar komt, is een belangrijke 'grondstof' voor het innovatieproces binnen de Nederlandse industrie. Veel product- en procesinnovaties zijn niet mogelijk zonder de funderende kennis over stromingsleer en vaste stof mechanica. Een 'unique selling point' van het CFSM is overigens dat zij verbindingen legt met andere wetenschappelijke disciplines en zodoende in staat is om verschillende kennisdomeinen te integreren. Dit verklaart ook waarom de beide onderzoeksscholen er in de afgelopen jaren in geslaagd zijn om een **sterk netwerk** op te bouwen met belangrijke vertegenwoordigers van deze industrie. Het CFSM bouwt op deze samenwerking voort.

In verschillende gesprekken met industriële vertegenwoordigers en tijdens de workshop is naar voren gebracht dat de **concurrentiepositie** van verschillende **industriële branches** in grote mate afhankelijk is van de CFSM-kennis. Hiervoor hebben we al gezien dat deze kennis via verschillende 'kanalen' beschikbaar komt voor de industrie. Daarbij wordt vooral een groot belang gehecht aan de kennis die opgeleide onderzoekers meebrengen als zij in het private R&D-domein komen te werken¹³. In het onderstaande zullen we de betekenis van het CFSM-onderzoek voor de concurrentiepositie van een aantal branches nader illustreren. Daar waar cijfers over de economische betekenis van die sectoren zijn vermeld, zijn deze (tenzij anders is weergegeven) afkomstig uit de notitie '*Voorstellen sleutelgebiedenaanpak*' (InnovatiePlatform, 2004).

A. Maakindustrie

In de maakindustrie kent Nederland verschillende internationale concerns die professionele en consumentenproducten op de markt brengen. Het gaat hierbij dan bijvoorbeeld om de consumentenelektronica-industrie (Philips), de semiconductor-industrie (NXP, ASML) en de printing-industrie (Océ). Inclusief toeleverende bedrijvigheid en ondersteunende dienstverlening kunnen ongeveer 2.300 bedrijven tot de maakindustrie worden gerekend. Deze bedrijven tellen in totaal 72.000 arbeidsplaatsen en hebben een gezamenlijke jaaromzet van 20 miljard euro.

Reologie is een belangrijke discipline binnen Philips, niet alleen in producten (zoals een elektrische tandenborstel of een foodprocessor), maar ook in allerlei maaktechnologieën. Voorbeelden van dit laatste zijn spuit-gieten van kunststofonderdelen, dikke film technologie voor het maken van printed circuit boards, aanbrengen van een laag fluorescentie poeder op de binnenzijde van een TL-buis, processen van glas, het vormgeven van onderdelen uit dicht gesinterd aluminiumoxide. Bron: dr.ir. J.F. Dijkman, Philips Research Laboratories)

¹² Deze gebruikerscommissies vormen een typisch voorbeeld van het tweerichtingverkeer tussen de onderzoekers en andere partijen in de kennisketen.

¹³ Bij deze vorm van kennisdiffusie wordt ook wel gesproken van 'embedded knowledge'.

Door de verregaande internationalisering en de toenemende concurrentiedruk moeten bedrijven in de maakindustrie sneller op marktontwikkelingen reageren, de producten meer afstemmen op de wensen van de klant en tegelijkertijd de productiekosten verlagen. De productontwikkeling is daarmee een complexe wisselwerking tussen 'technology push' en 'market-pull' geworden. Kennis die leidt tot een grotere betrouwbaarheid van de producten, minder uitval en fouten in het productieproces en een verkorting van de 'time-to-market' (of 'design-to-market') kunnen dan ook op grote belangstelling rekenen vanuit deze industrie. Vanuit het CFSM-onderzoek wordt hieraan onder meer bijgedragen door fundamentele kennis te leveren over materiaaleigenschappen, fysieke stromingseigenschappen van materiaal tijdens de ver- of bewerking in het productieproces en numerieke simulatietechnieken ten behoeve van ontwerpprocessen.

Een belangrijke technologische ontwikkeling binnen de maakindustrie in de afgelopen decennia – die verstrekende gevolgen heeft gehad op de engineerings- en fabricage-processen – heeft betrekking op de **miniaturisatie**. Hierbij is men tegen de grenzen van de onafhankelijkheid van de schaalgrootte aangelopen: materiaaleigenschappen worden niet uitsluitend door de grootte van de component bepaald, maar eveneens door de microstructuur van het te gebruiken materiaal. De functionaliteit en betrouwbaarheid van materialen worden steeds meer afhankelijk van de materiaaleigenschappen van steeds kleiner wordende componenten. In het verleden hiervan spelen oppervlakten en interfaces een steeds dominantere rol.

Het CFSM-onderzoek heeft grote invloed op verschillende vormen van 'jetting-technologie'. Océ heeft hierdoor mogelijkheden gekregen om de grafische inktjet-printing te optimaliseren. Door toepassing van stromingskennis kunnen kleinere druppels inkt effectiever door de spuitkop van de printer stromen. Daarnaast wordt kennis gegenereerd voor (toekomstige) toepassingen van 'manufacturing through jetting' ten behoeve van circuit boards, DNA-chips en LED-displays.

Door de trend naar miniaturisering worden **microsystemen** – zoals MicroElectro-Mechanical Systems (MEMS) – steeds belangrijker¹⁴. Hiermee samenhangend is ook sprake van een sterke groei van de toepassing van Integrated Circuits (IC's) voor de productie van microsystemen. Deze groei zal zich in de toekomst versterkt doorzetten. Bij het ontwerp, de fabricage en het gebruik van microsystemen treden andere effecten op het gedrag van vloeistoffen en materialen op dan gebruikelijk. Rekening gehouden moet worden met een grote variëteit aan thermische, elektrostatische, optische en chemische eigenschappen.

Binnen het CFSM worden nieuwe fundamentele kennis, experimentele technieken en simulatietechnieken ontwikkeld, die nodig zijn om dit soort eigenschappen te begrijpen. Door het ontbreken van science-based ontwerpmethoden zijn bedrijven in de maakindustrie veelal nog gedwongen om te werken volgens een trial and error methode. Met de applicatiemogelijkheden die voortvloeien uit het CFSM-onderzoek kunnen grote sprongen worden gemaakt in het optimaliseren van ontwerpmethoden.

B. Mobiliteitsbranches

Een groot aantal toepassingsgebieden van het CFSM-onderzoek heeft raakvlakken met verschillende vervoers- en transportmodaliteiten (en dan met name auto's, schepen en vliegtuigen). Uit de gesprekken en documenten komen twee primaire ontwikkelingen binnen deze mobiliteitsbranches naar voren. Enerzijds heeft dit te maken met de voortschrijdende behoefte van gebruikers van die voertuigen aan kwalitatief steeds betere voertuigen. Die **kwaliteitsbeleving** ligt voor een belangrijk deel in aspecten die terug te voeren zijn op voertuigdynamica. Optimalisering van het voertuiggedrag heeft hierbij dan betrekking op bijvoorbeeld het sneller,

¹⁴ De aandacht voor microsystemen kan gerelateerd worden aan de deelname van verschillende CFSM-onderzoeksgroepen aan MicroNed en de participatie in het M2i-programma (zie elders in dit rapport).

betrouwbaarder, veiliger, zuiniger, geluidsarmer, comfortabeler voortbewegen van het voertuig.

Anderzijds zijn grote economische voordelen te behalen in het ontwerp- en productieproces van voertuigen, door meer **kostenefficiëntie** (door gebruik van minder en lichter materiaal) en **versnelling van de time-to-market** (geavanceerde ontwerp- en productiemethoden). Voor de automotive, vliegtuig-industrie en de scheepsbouw – die elk in sterk concurreren- de internationale markten opereren – liggen belangrijke uitdagingen op het terrein van product- en systeemontwikkelingen. Vanuit dit perspectief is er sprake aan een voortdurende behoefte aan nieuwe mechanica kennis en simulatietechnieken, die bijdragen aan een geïntegreerde toepassing van verschillende technologieën (materiaaltechnologie, productietechnologie, embedded systems, regeltechniek, et cetera).

De maritieme sector laat ontwerpen van schepen doorrekenen en testen bij MARIN. Bij deze testen wordt onder meer aandacht besteed aan de interactie tussen het water en de scheepsromp en impactbelastingen door aanvaringen: wat zijn de krachten van de vrije oppervlaktestroming op de romp van het schip en bij welke krachten bezwijkt het materiaal. Kennis hiervoor wordt onder meer vanuit het CFSM-thema fluid-structure interaction geleverd. Vanuit de maritieme sector bestaat grote behoefte aan steeds snellere rekenmethoden en meer geavanceerde, Multischaal ontwerpmodellen.

Belangrijke studieobjecten binnen het CFSM-onderzoek zijn de (wrijvings)krachten die door water/lucht worden uitgeoefend op de structuur (of onderdelen) van het voertuig, de functionele prestaties van (nieuwe) materialen en systemen en de verbrandingsprocessen in motoren die de voertuigen aandrijven. Vanuit Fluid & Solid Mechanics worden nieuwe simulatiemodellen aangereikt voor het ontwerp van voertuigen en vliegtuigen (of onderdelen daarvan). Met deze modellen kunnen de ideale vorm en dosering van nieuwe high-performance materialen worden berekend. Het gaat daarbij om lichtere en sterkere materialen, die een grotere belasting en langere levensduur kennen en bovendien goed recycleerbaar zijn. Een kernmerkend voorbeeld is de ontwikkeling van de lichtgewicht gelamineerde materialen voor vliegtuigconstructies (bijvoorbeeld GLARE), waarbij het CFSM bijdraagt aan de optimalisatie van de sterkte, stijfheid en levensduur door onder meer het gedrag op de grensvlakken in deze laminaten te analyseren (zie thema 6 van schema 4).

De economische betekenis van de mobiliteitssector geldt niet zozeer de eindfabricage van de verschillende vervoersmobiliteiten. Met uitzondering van nichemarkten in de hoogwaardige scheepsbouw is Nederland een relatief kleine speler op deze markten. Als de gehele toelevering van producten en diensten wordt meegenomen – de productie van systemen, componenten, geavanceerde materialen en ondersteunende dienstverleners als ingenieursbureaus – dan kan van een grote economische betekenis worden gesproken:

- automotive sector: 200 bedrijven met circa 38.000 werkzame personen. De totale omzet is circa 12 miljard euro;
- maritiem cluster: groot aantal bedrijven die werk bieden aan ongeveer 135.000 mensen. Jaaromzet 9,5 miljard euro;
- vliegtuigonderdelen en -gasturbines: 20.000 werknemers en jaaromzet 3 miljard euro.

C. Procesindustrie

Nederland kent een sterke, innovatieve procesindustrie die van grote economische betekenis is. Uit schema 10 blijkt dat deze industrie ongeveer een tiende van de totale toegevoegde waarde en een derde van alle R&D-inspanningen in ons land voor haar rekening neemt. Dit komt met name ook omdat Nederland beschikt over grote bedrijven die actief zijn op het terrein van olie en gas (Shell, Gasunie), de chemie (DSM, Akzo) en de voedingsmiddelen (Unilever). Uit voorgaande blijkt dat deze bedrijven relaties onderhouden met (onderzoeksgroepen binnen) het CFMS.

Schema 10 Economische kengetallen diverse subsectoren procesindustrie

Subsector	Aandeel in toegevoegde waarde Nederland (2006)	R&D-uitgaven (2005) in mln euro
Chemische industrie (basis en eindproducten)	2,2%	1.286
Voedings- en genotmiddelenindustrie	2,3%	268
Papier- en kartonindustrie	1,5%*	19
Delfstoffenwinning	4,2%	107
Totaal		1.680
Aandeel in totaal Nederland	10,2%	32,7%

* Incl. uitgeverijen en drukkerijen.

Bron: CBS Statline

Belangrijke vraagstukken binnen de procesindustrie – waarvoor gebruik wordt gemaakt van kennis van het wetenschappelijk onderzoek aan het CFMS – hebben betrekking op het optimaliseren en beheersen van de productieprocessen. Dit vraagt om kennis over en berekeningen van (vaak via Computational Fluid Dynamics en Solid Mechanics) stroming, menging en warmtetransport om de apparatuurkeuze en de procescondities te bepalen en te optimaliseren. Zo moeten in dit productieproces grondstoffen, halffabrikaten en eindproducten goed door buizen en pijpleidingen stromen. Een probleemgebied dat al langere tijd in de belangstelling staat en waarop al veel onderzoek aan het JMBC is verricht, is de twee- of meerfasenstroming (stromingsaspecten van mengsels die bestaan uit twee of meer niet-mengbare fasen). De computermodellen die momenteel door de industrie worden gebruikt om het gedrag van meerfasenstroming te voorspellen, hebben hun beperkingen qua precisie en betrouwbaarheid. Door binnen de Computational Fluid Dynamics kennis op het gebied van stromingsleer, wiskunde en computerwetenschappen te combineren, wordt vanuit het CFMS gewerkt aan betere rekenmodellen.

Twee-/meerfasenstroming is een lange-termijnvraagstuk waar de procesindustrie al vele tientallen jaren mee worstelt. In de afgelopen jaren hebben wetenschap en industrie een intensieve samenwerking op dit terrein opgebouwd, onder meer via het STW/FOM-programma 'Gedispergeerde meerfasenstroming'. Dit onderzoekpro-

In de polymeer technologie wordt meer en meer gewerkt naar producten met materiaaleigenschappen die direct zijn toegevoegd op de eindtoepassing: vezels, schuim, laminaat, folie et cetera. Multiscale Modelling wordt belangrijk op het moment dat de materiaaleigenschappen van het eindproduct op voorhand een rol speelt bij het ontwerpen van polymeermolecuulstructuren, het daarbij behorend katalysator ontwerp, de grootte, vorm en aard van de reactoren en andere procesinstallaties. Fluid & Solid Mechanics faciliteert niet alleen het opschalingproces, maar ook op microschaal de fysische interactie van medium en katalysator en op mesoschaal eventuele deeltjesvorming. Ook bijvoorbeeld het koppelen van vereist materiaalgedrag vanuit de uiteindelijk gewenste morfologie van polymerschuim via individuele (micro)belvormingsmodellen en celwandsterkte berekeningen. (Bron: G. Hommersom, Dow Benelux B.V.)

gramma werd uitgevoerd van 2000 tot 2007.

Een tweede vraagstuk waaruit het economische belang van het CFSM-onderzoek blijkt heeft betrekking op het veiligheidsvraagstuk. Centraal daarbij staan de materiaaleigenschappen van de buizen en pijpleidingen. Deze moeten voldoende sterk zijn om de druk van het stromende vloeistof/ vaste materie te weerstaan en dus niet te bezwijken. In het ontwerp van procesinstallaties is dan ook kennis vanuit de stromingsleer en de vaste stof mechanica van eminent belang. Bij de omvangrijke investeringen dient vooraf zekerheid te bestaan over de belastbaarheid van de installaties, ook om schade als gevolg van verstoringen van het productieproces en imagoschade te voorkomen.

In de derde plaats is de procesindustrie is bij uitstek een energiegerelateerde sector. Dit betekent dat een efficiënter gebruik van energie/elektriciteit aanzienlijke besparingen voor de bedrijven opleveren. Met behulp van ketenoptimalisatie zijn op het punt van onder meer het energieverbruik nog de nodige 'winst' te behalen (zie ook paragraaf 8). Verschillende onderzoeksprojecten binnen het CFSM hebben betrekking op het vraagstuk van duurzame industriële processen. Een typisch voorbeeld waarop onderzoek binnen het CFSM werd verricht, is de ontwikkeling van pre-coated metal sheets, waarbij diverse productiestappen kunnen worden geëlimineerd bij de latere verwerkingsprocessen.

D. Materiaalindustrie

Nederland telt een aantal grote concerns die zich bezig houden met de productie van hoogwaardige materialen. Een deel van deze bedrijven is hierboven al bij de procesindustrie behandeld. In dit onderdeel gaan we specifiek in op de productie van staal. De productie van dit materiaal is in ons land geconcentreerd bij de Corus Groep, een wereldspeler in de productie van staal en (tot voor kort) aluminium voor onder meer voor de verpakkingindustrie, de bouw en de automotive-industrie. Het concern doet via Corus Research Development & Technology veel aan eigen R&D.

Vanuit verschillende invalshoeken zijn de resultaten van het CFSM-onderzoek relevant voor de R&D-activiteiten van het Corus-concern. Het gaat daarbij in de eerste plaats om het voortdurend verbeteren van de kwaliteit van haar eindproduct, dus het geproduceerde plaatstaal. Een voorbeeld van een toepassing van CFSM-kennis op dit punt heeft betrekking op het toevoegen van luchtbelletjes tijdens het productieproces, met een opmerkelijke verbetering van de resulterende productkwaliteit. In de tweede plaats heeft Corus een voortdurende behoefte aan kennis over de verwerking van haar product. Naast het leveren van het product legt zij zich in toenemende mate toe op het adviseren van klanten en ontwerpers over de verwerking en de toepassingsmogelijkheden van haar product en de specifieke eigenschappen en kwaliteiten. Deze service wordt een steeds belangrijker issue om zich te onderscheiden op de markt.

Een voorbeeld van relevante CFSM-kennis over de verwerking van nieuwe staalsoorten heeft betrekking op de vervorming van metalen tijdens de productie van auto-onderdelen. CFSM-onderzoekers zijn erin geslaagd om de vervorming bij het zogenaamde terugkeerverschijnsel van metaal ('spring-back') nauwkeurig te kwantificeren in modellen. Dit is van belang voor toekomstige methoden voor virtual testing en rapid prototyping binnen het ontwerpproces in de automotive industrie en – in het verlengde hiervan – verkorting van de time-to-market bij de introductie van nieuwe automodellen.

In de derde plaats is een belangrijke uitdaging voor de staalindustrie om tot een verdere verduurzaming van haar productieproces te komen. In de 'Vision 2030' van het European Steel Technology Platform wordt gesteld dat – naast innovaties in producten en versterking van het partnerschap met afnemende sectoren – de staal-

industrie zich zal moeten ontwikkelen tot een meer concurrerende en duurzame sector. Dit vraagt om innovaties in het productieproces, zodat efficiënter met energie wordt omgegaan, de CO₂-emissies verder afnemen, minder materiaal wordt gebruikt en minder afval ontstaat. Numerieke simulatie van het productieproces vormt hierbij een belangrijk hulpmiddel. Het CFSM kan hierbij vanuit het thema 'Multi-scale structure-property relations in solids' – waarbij de relatie tussen het materiaal, het productieproces en de resulterende eigenschappen centraal staat (zie schema 4 hiervoor) – een belangrijke rol vervullen.

Corus is vertegenwoordigd in de Industriële Adviesraden van beide onderzoekscholen die het CFSM vormen. Daarnaast participeert Corus in onderzoeksprojecten van het CFSM, al dan niet via het M2i-programma. Van de voorloper van dit programma was Corus de initiatiefnemer.

E. Civiele sector

Ons land kent een sterk ontwikkelde civiele sector. Deze sector telt circa 5.000 bedrijven, die werk bieden aan in totaal 84.000 medewerkers. De totale jaaromzet bedraagt circa 11 miljard euro. Daarnaast speelt de overheid een belangrijke rol bij de beleidsvorming (Ministerie van Verkeer en Waterstaat) en de beleidsuitvoering op het gebied van infrastructuur en watermanagement (Rijkswaterstaat). Deze overheden participeren ook in onderzoek dat aan het CFSM wordt verricht.

Problemen die partijen in de civiele techniek en de grondmechanica in de praktijk ondervinden, kennen veel fundamentele vragen waarop vanuit het CFSM gezocht wordt naar oplossingen. Zo bestaat er grote behoefte aan (multischaal) rekenmodellen waarmee steeds betere voorspellingen kunnen worden gedaan van

de sterkte, de belasting en duurzaamheidseigenschappen (vocht, temperatuur en corrosie) van bruggen, viaducten, dijken/ waterkeringen en andere infrastructurele 'kunstwerken'. Ook wordt er vanuit het CFSM gewerkt aan modelontwikkeling voor nieuwe generatie bouwmaterialen, zoals vezelversterkte polymeren, laminaten en vezelversterkt beton. Vanwege de sterkte in combinatie met een laag gewicht mag een toenemende vraag naar dit soort high-performance materialen worden verwacht. Inmiddels zijn op het gebied van sedimentatiestromen in rivieren en havenbassins modellen beschikbaar voor de markt. Dit is belangrijk voor het garanderen van een veilige doorvaart en dus van economische betekenis voor bijvoorbeeld de Rotterdamse haven. (zie kader).

Binnen het CFSM is een model ontwikkeld voor het vaststellen van sedimentatiestromen in havenbassins en rivierbeddingen waarmee baggerprocessen kunnen worden geoptimaliseerd. Aan de hand hiervan kan het uitbaggeren van vaargeulen meer gericht en kostenefficiënt plaatsvinden. Met het model kan niet alleen bepaald worden waar precies gebaggerd moet worden, maar ook welke techniek van opzuigen van zand gebruikt dient te worden.

Een ander actueel vraagstuk vormt het meten en modelleren van groundbewegingen onder railinfrastructuur (zoals de hogesnelheidstrein) en grootschalige, infrastructurele ingrepen in stedelijke gebieden (bijvoorbeeld de Noord-Zuid lijn in Amsterdam). Belangrijke afnemers van CFSM-kennis zijn enerzijds de intermediaire kennisinfrastructuur (recentelijk samengevoegd in Deltares) en anderzijds producenten van grondstof/ materialen voor de civiele techniek, softwarebedrijven (die deelttoepassingen als opties opnemen in hun softwarepakketten) en ingenieursbureaus (die deze rekenmodellen gebruiken).

Tot zover een schets van de economische betekenis van het CFSM-onderzoek. In de volgende paragraaf belichten we het belang van het onderzoek vanuit maatschappelijke vraagstukken.

5. Maatschappelijke betekenis van het CFSM

In deze paragraaf schenken we aandacht aan de maatschappelijke relevantie van het CFSM. Daarbij zijn enkele maatschappelijk zeer relevante vraagstukken te benoemen die gerelateerd kunnen worden aan deelterreinen waarop onderzoeksgroepen binnen het CFSM actief zijn. We zullen een aantal pregnante voorbeelden hiervan nu kort de revue laten passeren. De **maatschappelijke vraagstukken** die daarbij aan de orde komen, zijn:

- A. Energie
- B. Duurzaamheid
- C. Water, land en lucht
- D. Voeding en gezondheid

Bij een aantal van de navolgende maatschappelijke vraagstukken zijn er overigens belangrijke marktkansen voor de sectoren uit de voorgaande paragraaf.

ENERGIE

Als eerste kan het **energievraagstuk** worden genoemd. Centraal binnen dit maatschappelijke vraagstuk staat het probleem van de eindigheid van de (makkelijk winbare) voorraden aan fossiele brandstoffen. Door de bevolkingsgroei en de economische expansie (zeker ook door de opkomende economieën van landen als India en China) neemt de vraag naar deze vormen van energie nog steeds toe. De verwachting is dat de mondiale energiebehoefte in de komende decennia nog zal verdubbelen. Om aan deze groeiende energievraag te kunnen voldoen, zal de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen moeten worden verminderd. In de energieopwekking is een transitie nodig naar andere vormen van energie (zoals verbranding van biomassa, zonne-energie, wind-energie, kernenergie, de omzetting van zonne-energie in waterstof, etc). Zowel in het EU-beleid als in het nationale beleid vormt de **transitie** naar duurzame, niet-fossiele energiebronnen een belangrijk speerpunt van beleid.

Uit de verschillende (visie)documenten komt naar voren komt dat er in het transitieproces verschillende fasen – met wisselende ‘rollen’ voor de energieopties – kunnen worden onderscheiden. In de eerstkomende decennia zal het accent nog op de verbranding van fossiele brandstoffen liggen. De verwachting is dat daarnaast eerst – over enkele decennia – energieopties als biomassa en windenergie significant bij kunnen gaan dragen aan de mondiale energiebehoefte. Zo constateert de Energieraad in haar rapport ‘Brandstofmix in Beweging’ (2008) dat in de huidige productie van duurzame energie in Nederland biomassa en windenergie het meest belangrijk zijn. Meer naar het einde van de transitieperiode wordt dan voorzien dat energieopties als zonne-energie en kernenergie – waarbij gebruik wordt gemaakt van vierde generatie kernreactoren – een majeure bijdrage aan de energievoorziening kunnen gaan leveren.

Hoewel deze transitie in ons land inmiddels in gang is gezet, zal Europa/Nederland voor haar energievoorziening voorlopig in belangrijke mate afhankelijk zijn van de verbranding van fossiele brandstoffen¹⁵. Vandaar dat in beleidsmatig opzicht ook aandacht wordt besteed aan energiebesparing, meer efficiëntie in de energieopwekking en het beperken van de negatieve milieugevolgen van verbranding van fossiele brandstoffen (clean fossil energy). Uit de Technology Map van het vorig jaar gepresenteerde EU-rapport ‘A European Strategic Energy Technology Plan’

¹⁵ Zo gaan de Commissie Onderzoek Duurzame Energie en de Verkenningcommissie energieconversie-onderzoek van de KNAW uit van een (minimale) transitieperiode van 50 tot 100 jaar.

blijkt dat er belangrijke onderzoeksuitdagingen bestaan in de verbetering van conversietechnieken, (verbeterde) afvangst van CO₂, de toepassing van nieuwe materialen (membranen) en (veiligheid van) opslag van CO₂.

Vanuit diverse onderzoeksgroepen aan het CFSM wordt kennis ontwikkeld dat ten dienste staat aan het voornoemde energievraagstuk. Dit gebeurt vanuit verschillende invalshoeken, namelijk:

- optimaliseren van de winning van fossiele brandstoffen (met name in de offshore);
- meer efficiënte en schonere verbrandingstechnieken, door bijvoorbeeld brandstof en zuurstof beter te mixen bij de verbranding van fossiele en biobrandstoffen en door vervuilende deeltjes met nieuwe rotatietechnieken te scheiden uit vervuilde olie;
- de ontwikkeling van nieuwe high-performance materialen voor bestaande en nieuwe generaties gasturbines. Een belangrijk probleem bij gasturbines is het optreden van corrosie door de interactie tussen zuurstof en het medium staal;
- diverse aspecten van windenergie, zoals modellen voor de plaatsbepaling van 'offshore' windmolens (windmolenparken op zee) en aerodynamische en materiaalkundige aspecten van rotorbladen (luchtstromingen, akoestiek, bezwijkgedrag, et cetera).

Bij Shell bestaat behoefte aan reservoirmodellen waarmee het gedrag van vloeistof in poriën in olievelden wordt vastgesteld. Dit gedrag op microniveau wordt vervolgens 'opgeschaald' naar reservoirs van uiteindelijk enkele kilometers. Deze modellen zijn belangrijk voor de besluitvorming over de exploitatie van bestaande olievelden en het in productie nemen van nieuwe olievelden. De modellen die hiervoor nodig zijn, kenmerken zich door een typische multischaal-benadering.

Voor een belangrijk deel gaat het hierbij om de toepassing van stromingsleer bij de winning van fossiele brandstoffen en in verbrandingsprocessen. Daarnaast zijn er toepassingen die meer materiaalkundig van aard zijn. Om het gebruik van alternatieve energiebronnen mogelijk te maken, zijn belangrijke doorbraken nodig bij de ontwikkeling van materialen. Hieraan mag met name vanuit de EM-hoek een bijdrage worden verwacht.

Uit de gevoerde gesprekken komt naar voren dat een belangrijke kans (en meerwaarde) voor het CFSM-onderzoek gevonden kan worden in de rendementsverbetering van bestaande centrales. De huidige 'productiecapaciteit' is te klein om de energievoorziening op de langere termijn zeker te stellen (mede door politieke instabiliteit in landen die belangrijke leveranciers van fossiele brandstoffen zijn). In het huidige beleid wordt op korte termijn vooral ingezet op de nieuwbouw van nieuwe energiecentrales. Rendementsverbetering van bestaande centrales krijgt relatief weinig aandacht, terwijl juist hierin het CFSM-onderzoek een belangrijke rol kan spelen.

DUURZAAMHEID

In aanvulling op het vraagstuk van de transitie naar duurzame energieopties – zoals dat bij het voorgaande thema al aan de orde is gekomen – spelen ook andere duurzaamheidvraagstukken waaraan vanuit het CFSM-onderzoek een bijdrage kan worden geleverd. Het gaat dan onder meer om een meer langdurig en economisch gebruik van onze grondstoffen, aandacht voor gehele levenscyclus van producten (inclusief de afbraak en recycleerbaarheid), de reductie van het energie- en brandstofverbruik in productieprocessen en bij vervoer/transport, verminde-

In de Strategic Research Agenda's (SRA's) van de verschillende mobiliteitssectoren zijn (al dan niet gekwantificeerde) doelstellingen opgenomen voor brandstof- en CO₂-emissie en geluidsreductie. Zo heeft de Advisory Council for Aeronautics Research in Europe in haar Strategic Research Agenda van oktober 2004 als doelstelling geformuleerd om in de periode tot 2020 tot een halvering van het brandstofverbruik en CO₂-emissie te komen. Ook wat betreft de ervaren geluidsoverlast wordt gestreefd naar een reductie met 50%.

ring van de CO₂-uitstoot en reductie van het externe geluid. Zowel in Brussel als in het beleid van de rijksoverheid staat bronbeleid op deze duurzaamheidsaspecten hoog op de politieke agenda.

Binnen het CFSM-onderzoek zijn uiteenlopende applicatiemogelijkheden aan te wijzen, die bij kunnen dragen aan een meer duurzaamheid. Voorbeelden hiervan zijn:

- toepassing van kennis over de wijze waarop producten/materiaal aan het einde van de levenscyclus het beste verwerkt en eventueel opnieuw gebruikt kunnen worden;
- het realiseren van duurzame industriële processen, waardoor besparingen op het energiegebruik bij dit soort processen gerealiseerd kunnen worden (zie ook voorgaande paragraaf);
- de toepassing van stromingsleer in verbrandingsmotoren van vliegtuigen, ('reguliere' en hybride) auto's en schepen, waardoor een betere verbranding en daarmee een hoger rendement kan worden verkregen;
- reductie van weerstand bij schepen door het gebruik van luchtbelletjes of de toevoeging van polymeren. Door dit soort innovaties kan de wrijving tussen de scheepswand en het water worden verminderd. Dit leidt tot vermindering van het brandstofgebruik en dus aanzienlijke kostenbesparingen. Ook weerstandsreductie bij vliegtuigbewegingen vormt een onderzoeksterrein waarop vanuit CFSM kennis wordt gegenereerd;
- een beter begrip van akoestische verschijnselen als gevolg van turbulentie bij draaiende onderdelen. Dit speelt onder meer in de luchtvaart. Veel weerstand bij de uitbreiding van vliegvelden is terug te voeren op de geluidsoverlast van vliegtuigen. Inzicht in dit soort verschijnselen draagt bijvoorbeeld bij aan de ontwikkeling van geluidsdempende technieken in de motoren (zonder dat de prestatie hiervan vermindert).

WATER, LAND EN LUCHT

Onder de noemer milieu hebben we het maatschappelijk vraagstuk van de **veiligheid in het deltagebied**. In de afgelopen decennia heeft Nederland zich ontwikkeld als een toonaangevende 'speler' in kennis op het gebied van watermanagement, zowel wat betreft de fundamentele wetenschappelijke kennis als de vertaling daarvan naar economische bedrijvigheid. Meer recent is dit weer hoog op de agenda komen te staan door de groeiende informatiebehoefte over de gevolgen van klimatologische veranderingen. Dit is een vraagstuk dat niet alleen vanuit de Nederlandse politiek aandacht krijgt (zie kader), maar in feite wereldwijd speelt. Ook in het Zevende Kaderprogramma is plaats ingeruimd voor onderzoek naar de risico's van klimaatsverandering.

In het Regeerakkoord van het huidige kabinet werd gesteld dat het watermanagement in ons land moet worden gezien in het licht van klimaatverandering en dat geïnvesteerd zal moeten worden in veilige dijken en versterking van de kustverdediging. Bovendien werd een langetermijnvisie voor de veiligheid tegen overstromingen aangekondigd. Daartoe is recentelijk de zogenaamde Deltacommissie (de commissie Veerman) ingesteld. Deze commissie heeft als opdracht om voor de komende eeuw inzicht te geven in de te verwachten zeespiegelstijging en andere klimatologische en maatschappelijke ontwikkelingen die van belang zijn voor de Nederlandse kust. Daarnaast brengt de commissie advies uit over een samenhangend beleid dat leidt tot een duurzame ontwikkeling van het Nederlandse kustgebied. Ook de invloed van de zeespiegelstijging op de afvoer van rivierwater wordt hierbij betrokken. Het advies van de Deltacommissie zal worden 'vertaald' naar een Kustvisie. Deze visie zal opgenomen worden in het eerste Nationale Waterplan, dat in 2009 zal verschijnen. Dit plan legt voor de komende zes jaar de hoofdlijnen van het nationale waterbeleid vast (Bron: Ministerie van Verkeer en Waterstaat).

Een andere invalshoek is de **ruimtelijke ordening/planning**. Op grond van de beschikbare modellen kan berekend worden waar het veilig is om te bebouwen en wat de beste plaats is voor landuitbreidingsprojecten in kustgebieden. Ook dit zijn vraagstukken die volop in de maatschappelijke belangstelling staan.

Het CFSM-onderzoek levert belangrijke fundamentele kennis voor de bescherming van de Nederlandse delta. Het vakgebied draagt immers bij aan een beter begrip van geofysische verschijnselen en processen, zoals bijvoorbeeld natuurlijke stromingen van lucht en deeltjes in de atmosfeer, stromingen in oppervlaktewateren en in grond. Dit thema is niet alleen het domein van de stromingsleer (en dus van het JMBC). Ook vanuit EM krijgt dit thema aandacht: het voorspellen en modelleren van de (maximale) belasting en faalgedrag van diverse typen 'kunstwerken' in de civiele techniek.

Large Eddy Simulations (LES) is een veelbelovende numerieke techniek waarmee gedetailleerde, complexe stromingspatronen gevisualiseerd kunnen worden. Vanuit het JMBC is een horizontale LES-techniek beschikbaar gekomen dat door het (voor-malige) WL – nu Deltares – geschikt is gemaakt voor commerciële toepassing. Het simulatiemodel is vervolgens beschikbaar gesteld aan Rijkswaterstaat, die aan de hand hiervan het ontwerp van de tweede Maasvlakte heeft bepaald.

Vanuit deze optiek doen zich bij deze vraagstukken volop marktkansen voor. De kennis en (simulatie)modellen die op dit thema worden gegenereerd, zijn met name van belang voor engineerings- en beleidsvraagstukken op het gebied van weer/klimaat, civiele techniek, ecologie/milieu en watermanagement. Belangrijke partners in onderzoek (en gebruikers van de uitkomsten van het basisresearch aan het CFSM) zijn dan ook Deltares en – indirect – civieltechnische ingenieursbureaus, bedrijven in de GWW-sector en overheden.

Het visualiseren van de verspreiding van (toxische) stoffen in luchtstroming, lucht in stedelijke gebieden of – op kleinere schaal – in gebouwen. Aan de hand hiervan kan bijvoorbeeld de effectiviteit van maatregelen op het gebied van fijnstof zichtbaar worden gemaakt. Door strenge wettelijke restricties is inzicht hierin zeer relevant voor de planning van nieuwe wegen en woongebieden. Ook betere evacuatieplannen bij ongevallen in chemische bedrijven en branden behoren tot de toepassingsmogelijkheden op dit terrein.

VOEDING EN GEZONDHEID

Het CFSM-onderzoek dat verband houdt met het vraagstuk 'Voeding en gezondheid' kent een drietal invalshoeken, namelijk:

- de voedingsmiddelenbereiding;
- processen in het menselijk lichaam;
- toepassingen bij (bio)medische diagnoses, behandelmethoden en hulpmiddelen.

Het produceren van **voedingsmiddelen** op industriële schaal is een complex proces. Veel voedingsmiddelen hebben namelijk een complexe microstructuur, die bepalend is voor de stabiliteit, de textuur en de smaakbeleving. Het creëren van deze microstructuren in een industrieel proces heeft alles te maken met een combinatie van massa- en warmtetransport, stroming en deformatie van niet-Newtonse meerfasenmengsels. De meerfasenstroming is een terrein waar nog veel op te ontdekken valt. Binnen het CFSM-onderzoek krijgt dit verschijnsel – zoals hiervoor aangegeven – veel aandacht.

Een belangrijke uitdaging waar de voedingsmiddelenindustrie nu voor staat – en wat ook grote marktkansen biedt – is het produceren van een nieuwe generatie voeding die bijdraagt aan een gezonde leefstijl. Met name de relatie tussen ongezonde voeding en overgewicht staat momenteel volop in de publieke belangstelling. Het aantal mensen met overgewicht of obesitas stijgt snel. In toenemende mate wordt binnen de voedingsmiddelenindustrie gezocht naar geschikte vervangers van vet en suiker. Gezondheid is op dit moment al de belangrijkste 'driver' voor innovaties in de voedingsmiddelenindustrie¹⁶.

Principes en methodes uit de Fluid & Solid Mechanics kunnen ook worden toegepast bij het bestuderen van processen in het **menselijk lichaam**, zoals de vertering van voeding in het maag-darm kanaal en het transport van ingrediënten via de maag of darmwand naar het bloed. Hier is sprake van een raakvlak met de medische diagnostiek.

Een voorbeeld van een medische toepassing van resultaten van het CFSM-onderzoek is het gebruik van microbelletjes voor de detectie en lokalisering van kankercellen. Met moleculaire beeldvormingstechnieken kunnen vervolgens de plaats en de omvang van een kankergezwell zichtbaar worden gemaakt.

De vraag naar gezondheidszorg en gezondheidsgerelateerde producten neemt sterk toe. De maatschappelijke relevantie van dit thema zal in de komende jaren alleen nog maar toenemen als gevolg van onder meer demografische ontwikkelingen¹⁷, de economische groei en ontwikkelingen op medisch-technologisch gebied (zoals op gebied van orgaantransplantatie). Niet alleen neemt het aantal ouderdomsgebreken toe, ook is de zorg toegankelijker geworden. Hierdoor doen burgers een intensiever beroep op zorgvoorzieningen. Per saldo zien we dat door deze ontwikkelingen veel landen, waaronder ook Nederland, te hebben maken met toenemende zorguitgaven. Beleidsmatig gezien neemt de aandacht voor efficiëntie- en kwaliteitsverbeteringen dan ook toe.

Het bestuderen van structurele en functionele eigenschappen van nieuwe biocompatible materialen voor nieuwe generaties medische hulpmiddelen als prothesen, pace-makers, katheters, stents en andere implantaten. Daar waar het om de toepassing van polymeren in dit soort medische hulpmiddelen gaat, behoort ook het vloeigedrag tijdens de productie en de verwerking van deze kunststof tot het studiedomein van het CFSM.

Door de groeiende vraag naar gezondheidszorg is er een sterk uitdijende markt ontstaan voor biomedische toepassingen (medische producten en systemen voor zowel de institutionele gezondheidszorg als individuele consumenten). In korte tijd is 'health' een interessante markt geworden voor bedrijven als bijvoorbeeld Philips. Het CFSM-onderzoek heeft in ondersteunende zin diverse raakvlakken met de markt voor biomedische systemen. Het CFSM-onderzoek op dit terrein heeft betrekking op biologische of biomedische stroming en de toepassing van engineering mechanics in onder meer biodegradeerbare materialen, bioreactoren en implantaten (bio-

mechanics). Bij de biologische/biomedische stroming gaat het om de snelle uitwisseling van moleculen tussen bloed en weefsel. Dit type stromingsprocessen wordt op zowel nanoschaal (binnen cellen), microschaal (individueel celniveau) als macroschaal (vezels en organen) bestudeerd. Een beter begrip van biologische stroming kan leiden tot de ontwikkeling van betere diagnose- en behandelmethode (zowel invasief als non-invasief). Vanuit de EM-hoek wordt onder meer bijgedragen in de vorm van numerieke en experimentele technieken voor de ontwikkeling van betrouwbare precisie-microsystemen en medische robots. Daarnaast wordt vanuit het

¹⁶ Norton, I., P. Fryer en S. Moore, 2006.

¹⁷ Mede door de vergrijzing wordt verwacht dat de prevalentie van een aantal chronische aandoeningen tussen 2003 en 2025 sterk toenemen, bijvoorbeeld op het gebied van hartfalen (+47%), dementie (+45%), beroerte (+44%), gezichtsstoornissen (+43%), coronaire hartziekten (+42%), etc. (STG/Health Management Forum, 2008).

CFSM bijgedragen aan de vooruitgang van de biomedische beeldvorming. Bij verschillende onderzoeksprojecten op dit terrein wordt samengewerkt met het bedrijfsleven, andere technische groepen en medische onderzoeksgroepen (aan universitaire medische centra in onder meer Leiden, Rotterdam en Amsterdam).

Vanuit de geraadpleegde externe gesprekspartners is aangegeven dat dit terrein betrekkelijk nieuw is voor Fluid & Solid Mechanics, maar daarentegen in de toekomst veel kansen en mogelijkheden zal bieden. In een multidisciplinaire aanpak bij de ontwikkeling van dit soort toepassingen, kunnen de principes van stromingsleer en vaste stof mechanica een belangrijke toegevoegde waarde hebben. Een verdere intensivering van de samenwerking met moleculaire, chemische en medische wetenschappen ligt daarbij voor de hand.

6. Nationale inbedding van CFSM

In deze paragraaf zullen we de **beleidsmatige inbedding** van het CFSM op nationaal niveau nader toelichten. Daarbij presenteren we een aantal belangrijke onderzoeksprogramma's die (indirect) gerelateerd kunnen worden aan het CFSM-onderzoek. Deze programma's kenmerken zich overigens ook door een betrokkenheid van het bedrijfsleven. Dit laatste is een belangrijke indicatie voor de marktrelevantie van dergelijke programma's. We merken op dat we in het onderstaande geen koppeling hebben gemaakt op het niveau van de afzonderlijke CFSM-thema's. Ook geldt dat we – vanwege de breedte van het onderzoek aan het CFSM – niet de intentie hebben gehad om een allesomvattend en uitputtend overzicht te geven.

IP-sleutelgebieden

Een eerste constatering is dat het onderzoek aan het CFSM raakvlakken heeft met meerdere **sleutelgebieden** van het **InnovatiePlatform (IP)**. Een belangrijk criterium bij het vaststellen van deze sleutelgebieden was dat het moest gaan om combinaties van bedrijvigheid en kennis waarin Nederland 'excelleert'. De gedachte van het IP is dat zich juist op deze gebieden kansen voordoen voor innovatie en (daarmee) voor versterking van de Nederlandse concurrentiepositie. Het IP geeft in haar voorstel voor de sleutelgebiedenaanpak aan dat de geïdentificeerde sleutelgebieden in de toekomst kunnen rekenen op bijzondere aandacht van het IP¹⁸.

Met de volgende sleutelgebieden kan het onderzoek aan het CFSM in verband worden gebracht, namelijk:

- **High-tech systemen en materialen:** machine- en systemenindustrie, transportmiddelen en vliegtuigonderdelen en gasturbines. Het onderscheidende vermogen van Nederland op dit sleutelgebied bestaat volgens het IP uit het samenbrengen van verschillende disciplines. Een kerncompetentie van het CFSM is juist dat zij in staat is om multidisciplinair te opereren. Verderop zal blijken dat om die reden ook veel raakvlakken bestaan met het CoC High Tech Systems;
- **Water:** onder dit sleutelgebied zijn enkele watergerelateerde sectoren vervat, namelijk waterbouw, waterbeheer, waterbehandeling en het maritieme cluster. Uit het voorgaande blijkt dat het CFSM-onderzoek uiteenlopende toepassingsmogelijkheden en marktkansen heeft op dit thema;
- **Chemie:** naast het feit dat de chemische (proces)industrie een economisch belangrijke sector vormt, zijn er verschillende technologieën binnen deze industrie waarop ons land een goede kennispositie heeft. Voorbeelden die vanuit het IP worden aangevoerd zijn katalyse, scheidingstechnologie, membraantechnologie en kristallisatie. Bij nieuwe toepassingen op deze gebieden kan relevante kennis vanuit het CFSM gebruikt worden.

¹⁸ InnovatiePlatform, *Voorstel sleutelgebieden-aanpak*, 2004.

Met de bovenstaande raakvlakken met IP-sleutelgebieden wordt enerzijds het fundamentele belang van het onderzoek aan het CFMS bevestigd. Anderzijds geeft dit ook inzicht in de reikwijdte van het onderzoek.

Publiek-private onderzoeksprogramma's

Naast de relatie met de sleutelgebieden blijkt de nationale inbedding van het CFMS ook uit een aantal publiek-private onderzoeksprogramma's die inhoudelijke raakvlakken vertonen met het CFMS-onderzoek. Deze programma's vormen een (mogelijke) bron voor derde geldstroommiddelen voor onderzoeksgroepen binnen het CFMS. Relevant daarbij is dat bij al deze mogelijke financieringsbronnen het bedrijfsleven direct of indirect betrokken is. Achtereenvolgens zullen we in het onderstaande ingaan op:

- het Materials Innovation Institute (M2i)
- het Dutch Polymer Institute (DPI)
- MicroNed
- het HTAS-programma
- het EOS-programma
- het BioMedische Materialen programma (BMM)
- het IOP Self Healing Materials

Allereerst zijn er de **Technologische Top Instituten (TTI's)**. Een TTI is een virtueel samenwerkingsverband waarin industrie, wetenschap en overheid samenwerken bij de uitvoering van een onderzoeks- en valorisatieagenda op een bepaald technologiegebied. Uitgangspunt voor de invulling van deze agenda vormen researchbehoefte van de industrie. Feitelijk vormen de genoemde TTI's een valorisatie-instrument voor het onderzoek aan het CFMS. Een relevant TTI – vooral voor het EM-smaldeel binnen het CFMS – is het **Materials Innovation Institute (M2i)**. Dit programma is het vervolg op het Netherlands Institute for Metals Research (NIMR), waarbij Corus destijds één van de initiatiefnemers was. In het M2i-programma staat onderzoek ten behoeve van nieuwe materialen centraal. Dit onderzoek wordt op een achttal technologiethema's uitgevoerd, die verdeeld kunnen worden in twee hoofdcategorieën van materialen (zie onderstaand schema).

Schema 11 De acht technologiethema's binnen het M2i-programma

High-performance structural materials	High-performance functional materials
High-strength light-weight materials	Processing technologies of functional materials
Tailor-made high performance steels	Multi-scale fundamentals of structural and functional materials
Virtual shaping and testing	Durability
Advanced joining en de-joining	Surfaces, interfaces and thin films

Bron: *Brochure en website M2i*

In het M2i-programma komen de vaste stof mechanica en materiaalkunde/-technologie bij elkaar. Inhoudelijk bestaan er dan ook veel raakvlakken tussen de onderzoeksthema's van het CFMS (en dan met name de EM-thema's daarbinnen) en de bovenstaande M2i-thema's. Voor het onderzoek in M2i-verband vormen een fundamentele begrip van vaste stof mechanica en de beschikbaarheid van (steeds geavanceerder) modelleringstools essentiële basisvoorwaarden. Ook de centrale CoE-thema 'multischaal fenomenen' komen expliciet aan de orde binnen het M2i-onderzoeksprogramma. Er bestaat in onderzoek en onderzoekers een nauwe relatie tussen EM en M2i: enkele tientallen onderzoeksprojecten binnen M2i (en haar voorloper) worden uitgevoerd door EM-onderzoeksgroepen. Voor verschillende techno-

logiethema's binnen M2i geldt bovendien dat deze voorgezeten (en 'getrokken') worden door EM-hoogleraren.

Een min of meer vergelijkbare relatie – maar dan in aantal onderzoeksprojecten duidelijk minder intensief dan bij het M2i – bestaat er tussen het JMBC en het **Dutch Polymer Institute (DPI)**. Het DPI is een virtueel verband van 200 onderzoekers die werken bij enkele tientallen universiteiten en kennisinstituten over de gehele wereld. Daarnaast participeren ongeveer 35 bedrijven in het DPI-netwerk. Het inhoudelijk raakvlak tussen het CFSM-onderzoek en het DPI kan vooral worden gevonden in het vloeigedrag bij de productie en de verwerking van polymeren. Het modelleren van dit vloeigedrag is belangrijk voor het ontwikkelen van nieuwe concepten van polymerentoepassingen. Vanuit het DPI is aangegeven dat het JMBC een belangrijke bron is voor hoogopgeleide onderzoekers.

Een ander belangrijk programma voor het CFSM wordt gevormd door **MicroNed**. Dit publiek-private Bsik-programma¹⁹ heeft tot doel de kennis op het gebied van Microsysteem technologie (MST) en MEMS (MicroElectroMechanical Systems) verder uit te bouwen en te ontwikkelen. Vanuit Bsik is voor de periode 2004-2009 een subsidie van 28 miljoen euro toegekend aan MicroNed. Eén van de clusters binnen MicroNed – namelijk 'Fundamentals, Modelling and Designs of Microsystems (FUNMOD)' – sluit naadloos aan bij een deel van het onderzoek dat vanuit het CFSM wordt verricht. Binnen dit cluster worden fundamentele kennis en engineering tools ontwikkeld op een aantal relevante deelonderwerpen (zie schema 12).

Schema 12 Voor CFSM relevante deelthema's en onderzoeksthema's van het FUNMOD-cluster binnen MicroNed

Deelthema	Onderwerpen van onderzoek
Transport phenomena and multiphysics	▪ Micro-fluidics ▪ Heat transfer ▪ Strong coupling between fluid, structure, electrostatics and heat transfer
Design and Optimization	▪ Micro-fluidics ▪ Heat transfer ▪ Strong coupling between fluid, structure, electrostatics and heat transfer
Micromechanics	▪ Mechanics of dynamically loaded free-standing thin films ▪ Surface and interface effects ▪ Interfacial delamination in microsystems ▪ Buckle-driven delamination and design of thin polymer film systems

Bron: Website MicroNed

Verschillende onderzoeksgroepen binnen het CFSM hebben projecten gefinancierd gekregen vanuit MicroNed. Dit geldt met name voor projecten die vanuit EM zijn geïnitieerd en – in mindere mate – ook vanuit JMBC. Kenmerkend voor MicroNed is de grote betrokkenheid van het Nederlandse bedrijfsleven. Bij MicroNed is sprake van een partnerschap van 23 bedrijven, waaronder ook 17 MKB-bedrijven.

Een mogelijk relevant programma voor de komende jaren is het programma **High Tech Automotive Systems (HTAS)**. HTAS is in 2007 van start gegaan en kent

¹⁹ Bsik staat voor Besluit Subsidies Investerings Kennisinfrastructuur.

een looptijd van minimaal vijf jaar. Het programma beoogt om in tien jaar tijd de omzet van de sector met meer dan 6 miljard euro te vergroten. De werkgelegenheid moet met 10.000 arbeidsplaatsen toenemen. Zoals uit de naamgeving al blijkt, richt dit programma zich vooral op baanbrekende technologieën die de concurrentie van de Nederlandse automotive sector verder moeten versterken. De totale kosten van het HTAS-programma worden geraamd op 158 miljoen euro. In het projectplan²⁰ is als uitgangspunt genomen dat de industrie en de overheid ieder de helft van de totale kosten opbrengen. Vanuit het Ministerie van Economische Zaken is inmiddels een bedrag van 42 miljoen euro als subsidie toegezegd²¹. In totaal hebben zich 13 bedrijven en 6 kennisinstellingen gecommitteerd aan het HTAS-programma. Hierbij dient te worden gedacht aan bedrijven zoals DAF, VDL, NXP en Vredestein. Binnen het HTAS-innovatieprogramma lopen momenteel twee subsidieprogramma's, namelijk HTAS doorbraakprojecten en HTAS Internationale innovatieprojecten. SenterNovem voert deze programma's uit.

Het nieuwe programma **Energie Onderzoek Subsidie (EOS)** is een subsidieprogramma van SenterNovem dat kennis over energie-efficiënte en duurzame energie genereert. EOS is begin 2008 van start gegaan en omvat verschillende subsidie-instrumenten. Specifiek voor universitaire onderzoeksgroepen zijn de onderdelen EOS Nieuw Energie Onderzoek en EOS Lange Termijn relevant. Uit het eerstgenoemde instrument worden onderzoeksprojecten gefinancierd die nieuwe richtingen van duurzame energie 'ontginnen'. Binnen het tweede onderdeel gaat het om onderzoek dat nog ver van de markt afstaat. In beide onderdelen zal zowel fundamenteel-wetenschappelijk als industrieel onderzoek worden ondersteund.

In totaal zijn er binnen EOS twintig speerpunten van onderzoek vastgesteld. Deze zijn geordend naar een vijftal aandachtsgebieden, namelijk:

- Energie-efficiëntie in de industriële en agrarische sector
- Biomassa
- Nieuw gas/schoon fossiel
- Bebouwde omgeving
- Opwekking en netten

Voor twee thema's staat op dit moment een tender uit. In 2008 zullen nog vijf andere tenders worden uitgezet.

Voor specifieke onderzoeksgroepen binnen het CFSM kan wellicht ook het **BioMedische Materialen programma (BMM)** relevant zijn. Met het BMM-programma – dat eind 2007 van start is gegaan – wordt er naar gestreefd om nieuwe biomedische materialen te ontwikkelen en medische doorbraken te creëren. BMM is een multidisciplinair programma waarbij iedere partner specifieke kennis en expertise inbrengt. In het programma wordt fundamenteel onderzoek uitgevoerd en worden concepten uitgewerkt tot en met initiële validatie in een klinische omgeving. De Nederlandse overheid heeft voor de vijfjarige looptijd van het programma 45 miljoen euro beschikbaar gesteld. Het totale budget van het programma bedraagt 90 miljoen euro. In het programma zijn zowel bedrijven als kennisinstellingen en academische ziekenhuizen vertegenwoordigd.

Vanuit de zogenaamde Innovatieve Onderzoeks Programma's (IOP's) van het Ministerie van Economische Zaken vindt vraaggestuurde kennisontwikkeling plaats (bij universiteiten, TNO en GTI's) op thema's die voor de Nederlandse economie van belang worden geacht. Sinds de introductie van dit instrument in de jaren tachtig zijn er in totaal 25 IOP's van start gegaan. In de afgelopen jaren zijn diverse IOP's opgestart die in meer of mindere mate gerelateerd kunnen worden aan het CFSM-

²⁰ High Tech Automotive Systems, innovation programme, Federatie Holland Automotive, december 2006

²¹ Persbericht Ministerie van Economische Zaken, 24 mei 2007

onderzoek. Beperken we ons tot de IOP's waarvoor nog tenders lopen (of nog in een tweede fase gaan lopen), dan lijkt vooral het **IOP Self Healing Materials** relevant voor het CFSM. Dit IOP is in 2005 van start gegaan. Binnen dit IOP wordt onderzoek uitgevoerd naar zelfherstellende structurele materialen. Een viertal typen materialen worden in dit programma onderscheiden, namelijk polymeren, metalen, composieten en civieltechnische materialen. In de eerste tender zijn twaalf projecten gehonoreerd. Op het moment van schrijven is de tweede tender in uitvoering. Met de eerste fase van dit IOP is een budget van 9,5 miljoen euro gemoeid.

Onderzoeksprogramma's van STW en FOM

De onderzoeksgroepen binnen het CFSM hebben in de afgelopen jaren een zekere traditie opgebouwd wat betreft het verwerven van tweedegeldstroom middelen bij de **fundingorganisaties STW en FOM**. Dit geldt zowel voor de vrije, open programma's als voor thematische onderzoeksprogramma's. Hieruit blijkt dat de hoge wetenschappelijke kwaliteit van het CFSM-onderzoek ook bij die organisaties erkend wordt. Recentelijk zijn nieuwe programma's tot stand gekomen, die raakvlakken hebben met het CFSM-onderzoek en dus kansen bieden voor funding van CFSM-onderzoeksprojecten. Enkele van deze programma's zijn mede op initiatief van (een deel van) de onderzoekscommunity binnen het CFSM tot stand gekomen.

Allereerst kan het **MuST-programma** van STW worden genoemd. MuST staat voor Multiscale Simulation Techniques. Het MuST-programma is één van de programma's in het kader van het STW-Perspectief. Deze programmatische aanpak is bedoeld voor het oplossen van innovatieknelpunten door methodisch vernieuwende kennis te ontwikkelen die voor meerdere toepassingen een oplossing kan brengen. Verschillende personen binnen het CFSM zijn bij de totstandkoming van dit programma betrokken geweest.

Inhoudelijk sluit het MuST-programma naadloos aan bij het centrale thema binnen het CoE, namelijk 'multischaal fenomenen'. De onderzoeksprojecten die vanuit MuST worden gefinancierd, moeten leiden tot (generieke) simulatietools en -technieken waarbij tenminste twee schaalniveaus met elkaar worden verbonden. Deze tools en technieken kunnen vervolgens door kennisinstituten en de industrie 'opgepakt' worden om te vertalen naar concrete engineeringstoepassingen. In het programmadocument wordt het economische belang hiervan benadrukt. In het programmavoorstel wordt overigens ook een verbinding gemaakt met de programma's M2i, DPI en MicroNed. Het fundamentele onderzoek zoals dat vanuit MuST wordt gefinancierd, zal namelijk leiden tot een versteviging van het toegepaste onderzoek binnen de genoemde programma's.

Voor het programma is een budget van 5 miljoen euro beschikbaar, inclusief een cofinanciering van 25% vanuit kennisinstituten/bedrijven. In de tweede helft van vorig jaar heeft de tender plaatsgevonden. In het kader van MuSt werden tien projecten gehonoreerd, waarvan zeven projecten werden toegekend aan het 3TU-onderzoeksgroepen (binnen het CFSM).

Eveneens in 2007 werd het STW-Perspectief programma **Smart Systems-in-Package (SmartSiP)** geïntroduceerd. Voor dit programma is eveneens een budget van 5 miljoen euro beschikbaar. Met het SmartSiP-programma wordt beoogd om het wetenschappelijk onderzoek en mogelijke gebruikers van de onderzoeksresultaten in staat te stellen om een flinke stap voorwaarts te zetten bij het combineren van de disciplines Embedded Systems en Systems-in-Package. Systems-in-Package zijn geminiaturiseerde, autonome systemen waarvan de componenten zijn geïntegreerd in één klein pakket. Door combinaties te maken van verschillende kennisgebieden zal nieuwe kennis over smart-SIP's ontwikkeld gaan worden. Toepassingen van smart-SIP's worden vooral verwacht in de telecommunicatie, gezondheidszorg, procesautomatisering, automobilititeit en thuis-automatisering. Omdat deze SIP's

van geheel verschillende materialen zullen zijn opgebouwd, zal kennis over materiaaleigenschappen kunnen worden 'ingebracht' vanuit Solid & Fluid Mechanics. Dit geldt overigens ook voor kennis over multischaal fenomenen, zowel ten aanzien van lengteschalen als tijdschalen.

In 2008 zijn in het kader van STW-Perspectief drie nieuwe thema's vastgesteld. Twee van deze thema's kunnen min of meer gerelateerd worden aan onderzoek dat vanuit het CFMSM wordt verricht. Dit geldt in de eerste plaats voor het programma **Clean Combustion Concepts (CCC)**²². Dit programma heeft als doel om nieuwe kennis te genereren waarmee de verbranding van fossiele en biobrandstoffen schoner en zuiniger gemaakt kan worden. Bij deze verbrandingsmethoden moet worden gedacht aan toepassingen in motoren, elektriciteitscentrales, industriële ovens en fornuizen. Ook het ontwikkelen van numerieke modellen en meetmethoden voor ultraschone verbranding wordt vanuit dit programma ondersteund. Met name op dit punt doen zich kansen voor CFMSM-onderzoeksgroepen voor. Expliciet is in het programmadocument aangegeven dat multidisciplinaire samenwerking tussen onderzoeksgroepen in de chemie, fysica en mechanica wenselijk is. Voor het CCC-programma is een budget van 4,5 miljoen euro beschikbaar. Op het moment van schrijven loopt de tender voor dit programma. De selectie van projectvoorstellen zal voor het eind van het jaar plaatsvinden.

Het tweede STW-programma dat relevant kan zijn voor onderzoeksgroepen aan het CFMSM, heeft betrekking op het programma **Smart Optics Systems (SOS)**. Het doel van dit programma is om de technologie van 'smart optics' (deformeerbare spiegels met actieve terugkoppeling) zoals die vanuit de astronomie is ontwikkeld, beschikbaar te maken voor een breder veld van toepassingen. Daarbij wordt met name gedacht aan toepassingen in de health and life sciences, de industrial imaging en de consumer optics. Daarbij gaat het onder meer om toepassingen in de lithografie en de biomedische beeldvorming. Het onderzoek moet betrekking hebben op de ontwikkeling van generieke technologieën en ontwerpmethoden die uiteindelijk zullen leiden tot volgende generatie van optische systemen. Met name voor dit programma is een subsidiebudget van 4,3 miljoen euro beschikbaar. Dit bedrag moet gematcht worden met minimaal hetzelfde bedrag van instituten en/of bedrijven. De tender is onlangs geopend. Voor het eind van het jaar vindt definitieve besluitvorming over de keuze van te honoreren projecten plaats.

Binnen FOM heeft de stromingsleer de laatste twintig jaar een sterke positie verworven. Eind jaren tachtig werd een eigen FOM-werkgemeenschap 'Warmte en stromingsleer' opgericht, die inmiddels is opgegaan in de werkgemeenschap Fenomenologische fysica. Deze sterke positie komt onder meer ook tot uitdrukking in de toekomstvisie van deze werkgemeenschap²³. Hierin worden belangrijke thema's beschreven waarop in de komende vijf tot tien jaar programmatische activiteiten worden verwacht. Vijf thema's zijn in deze visie naar voren gebracht, namelijk:

- Stromingsfysica
- Faalgedrag van materialen voor verdergaande miniaturisatie
- Akoestiek en golfvoortplanting
- Optische meettechniek, instrumentatie en metrologie
- Lage temperatuur plasmafysica

Het CFMSM-veld heeft binnen de werkgemeenschap Fenomenologische fysica een groot aantal algemene programma's, namelijk:

- Physics for technology
- Two-dimensional turbulence

²² Twee SenterNovem-programma's worden als toepassingsgerichte evenknie gezien voor het fundamentele CCC-onderzoek, namelijk het programma High-Tech Automotive Systems (HTSA) en Energie Onderzoek Subsidie (EOS). Zie hiervoor.

²³ FOM, Fenomenologische fysica – Toekomstvisie voor de komende 5 tot 10 jaar, 2005

- Turbulence and its role in energy conversion
- Physics of granular
- Dynamics of patterns
- Rheophysics: connecting jamming and rheology

Mede naar aanleiding van de bovengenoemde visie is recentelijk een aantal **Industrial Partnership Programmes (IPP's)** geïnitieerd en van start gegaan, die voor onderzoeksgroepen binnen het CFSM relevant zijn. IPP's zijn FOM-programma's voor fundamenteel strategisch onderzoek dat in samenwerking met bedrijven en GTI's wordt uitgevoerd. In onderstaand schema staan deze IPP's weergegeven. Voor de volledigheid staan in dit schema ook een aantal 'oudere' IPP's genoemd die zijn gerelateerd aan het CFSM-onderzoek.

Schema 13 Voor het CFSM relevante IPP's

Naam IPP	Periode en evt. mede-financier
Evolution of the microstructure of materials	1999-2008 i.s.m. NIMR
Dispersed multiphase flow	2000-2007 i.s.m. STW
Sustainable hydrogen	2003-2008, i.s.m. NWO-ACTS programma
The physics of fluids and sound propagation	2003-2009 i.s.m. Shell
Fundamentals of heterogeneous bubbly flow	2007-2012 i.s.m. Shell, AKZO, DSM en Corus
Size dependent material properties	2008-2012 i.c.m. M2i
Magnetocaloric materials not only for cooling	2008-2012 i.s.m. BASF
Innovative physics for oil and gas	2008-2013 i.s.m. Shell

Bron: FOM

Convenant Technologische Driehoek van Nederland

Een nieuwe ontwikkeling in de relatie tussen de drie TU's en de intermediaire kennisinstellingen is het **convenant 'Technologische Driehoek van Nederland'**. Dit convenant vloeit voort uit het rapport van de Commissie Wijffels over de brugfunctie van TNO en de Grote Technologische Instituten (GTI's). Eén van de aanbevelingen van deze commissie was om de samenwerking met universiteiten te verbeteren. In het genoemde convenant hebben de 3TU.Federatie, TNO en de GTI's Marin, Deltares, ECN en NLR afgesproken om hun krachten verder te bundelen en daarmee gezamenlijk bij te dragen aan het vergroten van de innovatiekracht van Nederland²⁴. In dit verband hebben de convenantpartijen een zestal maatschappelijke thema's geïdentificeerd waarop de onderlinge samenwerking zal worden versterkt, namelijk:

- Energie
- ICT
- Technical Health Science/Biomedical Systems
- High Tech Systems/Mechatronics Systems
- Civiele Techniek/Watermanagement
- Mobiliteit

Bij nagenoeg al deze thema's bestaan raakvlakken met het onderzoek zoals dat aan het CFSM wordt uitgevoerd. Op dit moment zijn de kennisinstellingen – in nauwe samspraak met vertegenwoordigers van de drie TU's – bezig om programma's te definiëren voor deze thema's. Voor energie is een strategisch plan door ECN ont-

²⁴ Zie: De Technologische Driehoek van Nederland, januari 2008.

wikkelt dat betrekking heeft op materialenonderzoek voor duurzame energie: Advanced Dutch Energy Materials (ADEM). Voor de andere thema's geldt dat in de komende maanden de plannen bekend zullen worden. Verwacht mag worden dat binnen elk van de programma's die ontwikkeld worden door de TNO/GTI's zich goede kansen voor onderzoeksgroepen binnen het CFSM voordoen voor deelname aan nieuwe, gezamenlijke onderzoeksprojecten. Op de 'interface' tussen het CFSM en deze organisaties doen zich mogelijkheden voor verdere intensivering van de samenwerking en interactie met het CFSM voor.

Samenvattend kan uit het voorgaande worden geconcludeerd dat er vanuit verschillende programma's en initiatieven erkenning en steun bestaat voor het onderzoek aan het CFSM. Via deze programma's bestaat ook op indirecte wijze vanuit de markt draagvlak voor het CFSM-onderzoek. Bij een belangrijk deel van de genoemde programma's wordt namelijk betrokkenheid van het bedrijfsleven en de intermediaire kennisinstellingen bij de ondersteunde onderzoeksprojecten vereist.

7. Aanknopingspunten voor EU-programma's

In deze paragraaf plaatsen we het CFSM in een Europees perspectief. In het verlengde van het voorgaande is er in het geval van het CFSM-onderzoek sprake van veel raakvlakken met EU-programma's. In samenwerking met andere disciplines kan gesproken worden van een waaier van kansen voor participatie in dergelijke internationale programma's (en dus wervingsmogelijkheden voor derdegeldstroommiddelen). Voor een deel worden deze mogelijkheden inmiddels al benut. Verschillende gesprekspartners zien in het CFSM een mogelijkheid om Fluid & Solid Mechanics gemeenschap binnen de drie TU's als een grotere entiteit te kunnen presenteren en profileren. Zij sluiten niet uit dat hiervan een positieve invloed uit zal gaan op de succesratio. Deze gesprekspartners benadrukken daarbij dat de slaagkansen toeneemt als aan drie basisvoorwaarden worden voldaan, namelijk:

- multidisciplinaire samenwerking;
- het centraal stellen van de multischaal fenomenen (gezien de eerdere constatering dat het CFSM hiermee in Europa voorop loopt);
- en een vroegtijdige betrokkenheid van het bedrijfsleven en intermediaire kennisinstututen bij de onderzoeksplanning.

Samenhang CFSM-onderzoek met het Zevende Kaderprogramma

In het **Zevende Kaderprogramma** heeft de Europese Unie haar beleid op het gebied van onderzoek, technologische ontwikkeling en demonstratie voor de periode 2007-2013 vastgesteld. In dit Kaderprogramma wordt een viertal programma's onderscheiden: Samenwerking, Ideeën, Mensen en Capaciteiten. Qua financieel volume is het programma Samenwerking verreweg het meest omvangrijk, namelijk circa 44 miljard euro. Vanuit het specifieke programma 'Samenwerking' wordt de samenwerking tussen de universiteiten, de industrie, onderzoekscentra en de overheid bevorderd, zowel binnen de EU als met de rest van de wereld.

In het kader van het **programma 'Samenwerking'** is een negental **prioritaire thema's** vastgesteld²⁵. Deze thema's zijn gedefinieerd rondom veelbelovende kennis- en technologiegebieden. Deze thema's zijn:

- Gezondheid
- Voeding, landbouw en biotechnologie
- Informatie- en communicatietechnologie
- Nanowetenschappen, nanotechnologieën, materialen en nieuwe productie-

²⁵ Overigens kunnen ook de andere deelprogramma's binnen het Zevende Kaderprogramma relevant zijn voor de onderzoeksgemeenschap binnen het CFSM. Het gaat daarbij dan om 'Ideeën' (grensverleggend onderzoek), 'Mensen' (loopbaan onderzoekers/aantrekken getalenteerde onderzoekers), 'Capaciteiten' (onderzoeksinfrastructuur, regionale clusters, MKB, onderzoek in ultraperifere regio's).

technologieën

- Energie
- Milieu (incl. klimaatverandering)
- Vervoer (incl. luchtvaart)
- Sociaal-economische wetenschappen en geesteswetenschappen
- Veiligheid en ruimtevaart

In interactie met andere disciplines kan de stromingsleer en vaste stof mechanica gerelateerd worden aan meerdere van deze prioritaire thema's en aandachtsgebieden daarbinnen. Dit is in schema 14 aangegeven.

Schema 14 Relatie prioriteiten Zevende Kaderprogramma en CFM-onderwerpen

EU Prioriteiten en aandachtsgebieden	Thema's CFM
Gezondheid	
- Biotechnologie, universele instrumenten en technologieën voor de gezondheid van de mens (detectie, diagnose en monitoring)	- Micro- en nanofluids - Fluid-structure interaction
Nanowetenschappen, nanotechnologieën, materialen en nieuwe productietechnologieën	
- Nanowetenschappen en nanotechnologieën	- Micro- en nanofluids - Multi-scale structure-property relations in solids
- Materialen	- Multi-scale structure-property relations in solids - Non-linear dynamics - Tailoring the mechanics of materials, devices etc. - Fluid-structure interaction
- Nieuwe productie	- Complex fluids - Tailoring the mechanics of materials, devices etc.
- Integratie van technologieën voor industriële toepassing (nanotechnologie, materialen en productie)	- Complex fluids - Micro- en nanofluids - Multi-scale structure-property relations in solids - Non-linear dynamics - Tailoring the mechanics of materials, devices etc. - Fluid-structure interaction
Energie	
- Waterstof en brandstofcellen	- Complex fluids - Micro- en nanofluids - Fluid-structure interaction
- Energie-efficiëntie en energiebesparing	- Complex fluids - Turbulence - Micro- en nanofluids - Fluid-structure interaction
Milieu (inclusief klimaatverandering)	
- Klimaatverandering, verontreiniging en risico's	- Complex fluids - Turbulence
Vervoer	
Luchtvaart en luchtvervoer: - Vergroening van het luchtvervoer - Verhoging van de efficiëntie - Verbetering van de kostenefficiëntie	- Complex fluids - Turbulence - Multi-scale structure-property relations in solids - Tailoring the mechanics of materials, devices etc.
Oppervlaktevervoer: - Vergroening van het oppervlaktevervoer	- Complex fluids - Turbulence - Multi-scale structure-property relations in solids - Non-linear dynamics - Tailoring the mechanics of materials, devices etc.

Er kan uit het bovenstaande schema een aantal conclusies worden getrokken. De eerste – en meest belangrijke – conclusie is dat het geheel aan onderzoek vanuit het CFSM met nagenoeg alle thema's uit het Zevende Kaderprogramma in verband kan worden gebracht. Op een groot aantal terreinen van dit programma zal sprake zijn van een behoefte aan nieuwe kennis, methoden en modellen over dynamische aspecten van vloeistof en vaste stoffen. Gezien de excellente onderzoeksgroepen die acteren binnen het CFSM alsmede de relaties die op dit moment al bestaan met belangrijke bedrijven uit de Nederlandse industrie, mag verondersteld worden dat zich ook bij het Zevende Kaderprogramma kansen voordoen om onderzoek gefinancierd te krijgen vanuit de EU.

In het lange termijn onderzoeksplan van het CFSM is al wel een zekere 'focus' aangebracht in de thema's van het Zevende Kaderprogramma waarop men wil gaan inzetten in de komende periode. Deze kansen worden vooral gezien op het gebied van materialen en productietechnologie, energie en gezondheid. Waarop deze focussering is gebaseerd is niet verder toegelicht. Uit bovenstaand schema blijkt dat op deze thema's zeker kansen benut kunnen worden.

SRA's van European Technology Platforms

In dit onderdeel zullen we onder andere aandacht schenken aan Europese onderzoeksagenda's die door de Europese Technologie Platforms zijn opgesteld. In ETP's werken bedrijven en onderzoeksinstituten samen aan het formuleren en uitvoeren van strategische onderzoeksagenda's voor Europa. Gezien het brede en 'funderende' karakter van het CFSM-onderzoek voert het te ver om een uitgebreid en uitputtend inzicht te geven in de aanknopingspunten die gevonden kunnen worden in de Europese SRA's. In het onderstaande geven we kort en bondig een aantal voorbeelden van SRA's die relevant (kunnen) zijn voor specifieke onderzoeksgroepen binnen de CFSM-community.

European Technology Platform ERTRAC: wegtransport

In de SRA van het ERTRAC²⁶ is voor de wegtransport een aantal belangrijke onderzoeksthema's voor de toekomst geïdentificeerd. Het gaat hierbij om thema's zoals schoner wegtransport, duurzaamheid en vergroting van de veiligheid. De meeste aanknopingspunten voor CFSM-onderzoek kunnen worden gevonden binnen de thema's 'omgeving, energie en bronnen' en 'ontwerp en productie'.

²⁶ ERTRACT, Strategic Research Agenda Road transport, 2004

Schema 15 Thema's en onderzoeksgebieden SRA Roadtransport

Thema's	Onderzoeksgebieden
Mobiliteit, transport en infrastructuur	<i>Mobiliteit van mensen:</i> sociale ontwikkelingen, gedrag van mensen, afstemming grondgebruik met transport, mobiliteitsmanagement, aansluiting op andere vervoersmodaliteiten, verkeersinformatievoorziening, nieuwe voertuigen en nieuwe infrastructuur <i>Goederenvervoer:</i> aansluiting op andere modaliteiten, stillere en schonere voertuigen, lange afstand transport, efficiëntie en effectiviteit en onnodig transport
Veiligheid	<i>Ongevallenpreventie:</i> training weggebruiker, onderhoud infrastructuur, veilige voertuigen, communicatiesystemen, veilige interface weggebruikertechnologie, ongevallenonderzoek, brandstofveiligheidsonderzoek <i>Impact ongevallen:</i> veiligheidstechnologie in voertuigen, bescherming kwetsbare weggebruikers en informatievoorziening weggebruikers <i>Veilig wegvervoersysteem:</i> overval, diefstal, achterhalen gestolen goederen en voertuigen
Omgeving, energie en bronnen	<i>Emissiereductie en efficiënt energiegebruik:</i> efficiënte verbrandingsmotoren, verbeterde/nieuwe brandstoffen, hybride en intelligente energiemanagementsystemen, waterstof en brandstofcellen <i>Milieu incl. gevolgen voor omgeving:</i> reductie CO₂-uitstoot, geluid en trillingen
Ontwerp en productie	<i>Time to market:</i> virtual prototyping, samenwerking product- en procesontwikkeling, aandacht voor planning en voorspelling in ontwerp en productie <i>Flexibele productiesystemen:</i> productiesnelheid en wensen klant <i>Toekomstbestendig gebruik bronnen:</i> onderzoek naar materiaal voor aanleg infrastructuur en productie voertuigen, innovatief gebruik nieuwe materialen die bijdragen aan duurzaamheid en hergebruik materialen

Bron: *ERTRACT*, 2004

European Technology Platform Waterborne: transport over water

Het Technology Platform Waterborne is in 2005 opgericht. In datzelfde jaar verscheen het visiedocument van Waterborne. Kort daarna volgde de Waterborne Strategische Research Agenda (WSRA). In deze WSRA staan drie thema's centraal, namelijk veiligheid, duurzaamheid en efficiëntie; Europese concurrentiekracht en groei. Uit schema 16 blijkt dat binnen de genoemde thema's een groot aantal vraagstukken zijn gedefinieerd waarop in Europa meer onderzoek gewenst is.

Schema 16 Thema's en onderzoeksgebieden SRA Watertransport

Thema's	Onderzoeksgebieden
Veiligheid, duurzaamheid en efficiëntie	Ontwerprisico's, verbeteren gebruik/onderhoud schepen, ontwikkeling nieuwe systemen en procedures voor veilige activiteiten op water, zware (weers)omstandigheden, ongelukken, uitstoot schadelijke gassen, watervervuiling, schadelijke effecten van golfslag, geluid en trillingen, veiligheid (terrorisme, piraterij)
Europese concurrentiekracht	Levenscyclus schepen (bouw, gebruik, sloop), nieuwe markten scheepsbouw (LNG-schepen), innovatie in scheepsontwerp en optimalisering systemen, power generation, stuwkracht efficiëntie, elektrische voortstuwing, automatisering, controle en navigatie, cargo handling, ontwerp en simulatie software, outsourcing van onderdelen in de scheepsbouw, nieuwe (sterkere) materialen (lichtgewicht, corrosiebescherming, coatings) en productiemethoden, kostenreductie en energieverbruik, intelligente onderhoudsplanung en optimalisatie, automatisering en platformmanagement, offshore wind-, golf- en getijdenenergie en activiteiten onder water
Groei	Planning optimale logistieke ketens, achterlandverbindingen, wisseling vervoersmodaliteiten, gebruik IT bij transport, meer efficiëntie in havens en onshore infrastructuur, optimaal scheepsgebruik, containermarkt, simulatie logistieke keten, milieugevolgen aanleg haveninfrastructuur en baggerwerken, beleid op het vlak van commercie en milieu en recreatieve vaart

Bron: *Technology Platform Waterborne, Strategic Research Agenda Waterborne, 2006*

De meeste aanknopingspunten voor het CFSM-onderzoek kunnen worden gevonden in de eerste twee thema's en dan specifiek bij de deelonderwerpen 'ontwerprisico's', '(zware) weersomstandigheden', 'schadelijke effecten van golfslag', 'geluid en trillingen', 'power generation', 'innovatie in scheepsontwerp', 'ontwerp en simulatie software' en 'nieuwe materialen'. Vanuit de externe gesprekspartners is overigens wel aangegeven dat er voor transport over water binnen het Zevende Kaderprogramma veel minder geld beschikbaar is gekomen dan vanuit het voorgaande kaderprogramma.

European Technology Platform ACARE: luchtvaart

Advisory Council for Aeronautics Research in Europe (ACARE) vormt het Europese Technologie Platform voor het luchtvaartcluster. Dit platform heeft in 2004 een SRA uitgebracht, waarin een vijftal hoofdthema's centraal zijn komen te staan. De meeste aanknopingspunten voor het CFSM-onderzoek zijn te vinden in het tweede thema 'Omgeving'.

Schema 17 Thema's en onderzoeksgebieden SRA Aeronautics

Thema's	Onderzoeksgebieden
Kwaliteit en betaalbaarheid	Consumentengemak, keuzemogelijkheden en flexibiliteit
Omgeving	Vermindering brandstofverbruik en CO2-emissie, vermindering milieubelasting van productie, onderhoud, producten en luchtvaartgerelateerde diensten
Safety	Reductie aantal ongevallen, vermindering menselijke fouten en consequenties daarvan
Air Traffic System Efficiency	Vergroten punctualiteit en betrouwbaarheid Air Traffic System, vergroting aantal vliegbewegingen, vermindering verblijfsduur passagiers op vliegvelden, punctualiteit vertrek vliegtuigen in alle weercondities
Security	Voorkomen kapingen

Bron: ACARE, *Strategic Research Agenda Aeronautics (2004)*

European Technology Platform ESTEP: staalindustrie

Het European Steel Technology Platform (ESTEP) heeft in 2004 een visiedocument – Vision 2030 – uitgegeven. De centrale doelstelling van dit platform is om de positie van wereldleider in de staalindustrie te behouden en te versterken. Hierbij gaat de aandacht uit naar zowel de concurrentiekracht als verduurzaming van deze industrie. ESTEP heeft in dit visiedocument een viertal onderzoeksthema's centraal gesteld, met elk meerdere deelthema's die in toekomstig onderzoek aandacht verdienen.

Schema 18 Thema's en onderzoeksgebieden ESTEP

Thema's	Onderzoeksgebieden
Safe, clean, cost-effective and low capital intensive technologies	Emissie- en energie-efficiënte processen, flexibele en multifunctionele productieketen, intelligente productie
Rational use of energy, resources and residues management	Broeikasgassen, effectief gebruik van energie en besparen bronnen, impact van materialengebruik
Appealing steel solutions for end users	Kostenefficiënte verwerking van complexe staalproducten, automobiellindustrie, (wegen)bouwsector
Attracting and securing qualified people	Gezondheid en veiligheid, aantrekkelijke sector voor goed opgeleid personeel, leven lang leren en HR-management

Bron: *European Steel Technology Platform, Vision 2030, 2005*

De eerste twee thema's kunnen in verband worden gebracht met het duurzaamheidsvraagstuk van de staalindustrie (zie paragraaf 5). Binnen het thema 'Appealing steel solutions for end users' gaat het om het helpen oplossen van materiaal gerelateerde vraagstukken in de energiesector, de automobiellindustrie en de (wegen)bouw. In paragraaf 5 is al opgemerkt dat de staalindustrie in toenemende mate eindgebruikers adviseert bij de toepassing van 'hun' staal. Dit vraagt in de komende jaren om wetenschappelijk onderzoek op het gebied van het sterker (en/of

harder) maken van staal, de gedragingen van staal onder extreme omstandigheden (vuur, aardbeving, corrosie: vooral in infrastructuur en gebouwen), de productie van lichtgewicht materialen, hergebruik, veiligheid, betrouwbaarheid en coatings. Diverse CFMS-onderzoeksprojecten hebben betrekking op dit type vraagstukken.

European Technology Platform EuMaT: materialen

Op het terrein van Advanced Engineering Materials and Technologies is het Europese Technologie Platform EuMaT opgezet. Dit platform heeft in haar roadmap een SRA opgenomen die stoelt op drie pijlers en twee horizontale activiteiten. De pijlers hebben betrekking op:

- Multifunctionele materialen
- Materialen voor extreme omstandigheden
- Hybride & multimaterialen

Multischaalmodellering en productie- en verbindingstechnologie vormen de horizontale activiteiten. De pijlers en activiteiten zijn door EuMaT vertaald naar een aantal onderzoeksthema's waarvoor calls uitgeschreven zullen worden. Elk van deze thema's is weer uitgewerkt in diverse deelonderwerpen. In onderstaand schema staan uitsluitend de hoofdcategorieën uit deze onderzoeksthema's vermeld.

Schema 19 Onderzoeksthema's van het SRA EuMaT

Thema's
Materials for energy supply and environmental protection
Development of new materials tailored to next generation transportation
Nano-assembled-materials enabled components and micro-systems
Direct and inverse advanced engineering materials design through multiscale collaborative framework
Novel multifunctional materials for multisectoral applications in highly demanding operational conditions

Bron: *EuMat Roadmap, juni 2006*

Vanuit dit platform wordt onder andere aandacht geschonken aan onderzoek rond geavanceerde materialen voor onder andere toepassingen in energiesystemen, voersmiddelen, microsystemen en precisietechnologie. Deze onderwerpen zijn gerelateerd aan met name het EM-deel binnen het CFMS. Daarnaast valt op dat de aandacht voor de multischaal fenomenen, zoals die ook binnen het CFMS centraal is komen te staan, zeer goed past binnen dit SRA.

European Technology Platforms op het gebied van (duurzame) energie

Op het gebied van energie zijn er diverse Europese Technologie Platforms actief. Deze platforms richten zich elk op een bepaalde energiebron. Schema 20 geeft een overzicht van de platforms. Vanuit deze platforms zijn verschillende visiedocumenten en onderzoeksagenda's opgesteld. Het rijkt in dit kader te ver om die allemaal te behandelen. Om inzicht te krijgen in de belangrijkste (onderzoeks)uitdagingen die op Europees gebied zijn geformuleerd, verwijzen we naar de omgevingsanalyse die is opgesteld voor het CoC Sustainable Energy Technologies (SET).

Schema 20 Overzicht Europese Technologie Platforms op het gebied van (duurzame) energie

Europees Technologie Platform	Onderwerp
European Biofuels Technology Platform	Bio-brandstoffen
European Technology Platform for Wind Energy	Windenergie
Photovoltaic Technology Platform	Zonne-energie (elektriciteit)
European Solar Thermal Energy Platform	Zonne-energie (warmte)
Hydrogen and Fuel Cell Platform	Waterstof en brandstofcellen
Technology Platform of Zero Emission Fossil Power Plants	Fossiele brandstoffen
Technology Platform for Sustainable Nuclear Energy	Kernenergie
European Technology Platform for the Electricity Networks of the Future	Smart Grids

Bron: Website European Technology Platforms

European Technology Platform SusChem: duurzame chemie

Het Europese Technologie Platform voor sustainable chemistry (SusChem) is in 2004 gelanceerd. Dit platform heeft als doel om focus en richting aan te brengen in het Europese onderzoek op het gebied van chemie, chemische engineering en industriële biotechnologie. In haar visiedocument '*The vision for 2025 en beyond*' heeft dit platform een aantal thema's en onderzoeksgebieden vastgesteld waarop in de komende periode onderzoek geïnitieerd zal worden (zie onderstaand schema).

Schema 21 Thema's en onderzoeksgebieden van SusChem

Thema's	Onderzoeksgebieden
Industriële biotechnologie	Nieuwe enzymen en micro-organismen, microbial genomics en bio-informatica, metabolic engineering en modelling, biokatalyse functies en optimalisering, biokatalyse procesontwerp, fermentatiewetenschap en engineering en innovatief downstream processing
Technologie van materialen	Fundamenteel begrip van relaties tussen structureigenschappen, computational materiaal wetenschappen, ontwikkeling van analytische technieken, nieuwe productieprocessen voor het opschalen van laboratorium synthese, bio-based performance en nanocomposiete materialen
Reactie en procesontwerp	Synthetische concepten, katalyse transformaties, biotechnologische processing, process intensification ²⁷ , in silico technieken, purification en formulation engineering

Bron: SusChem, *The vision for 2025 en beyond*

European Roadmap for Process Intensification

Met Process Intensification wordt beoogd om processen zodanig in te richten dat voordelen worden behaald met betrekking tot investeringen, veiligheid, kwaliteit, materiaalgebruik en ketenefficiëntie. Dit wordt ook wel samengevat met de term 'ketenoptimalisatie'. In 2008 heeft EnergieTransitie – een initiatief van de overheid dat is ondergebracht bij SenterNovem – een Europese roadmap voor dit onderwerp opgesteld²⁸. Deze roadmap zal een vervolg krijgen in een subsidieprogramma voor process intensification dat vanuit het Zevende Kaderprogramma van de Europese Unie zal worden gefinancierd.

²⁷ Zie de toelichting over de roadmap over dit thema

²⁸ European Roadmap for Process Intensification

De roadmap besteedt aandacht aan procesverbeteringen in de petrochemie, de farmacie en voedingsmiddelenindustrie. Door process intensification kunnen voordelen als energiebesparingen, kostenbesparingen, meer veiligheid in processen, betere betrouwbaarheid van processen, hogere productkwaliteit, hogere productfunctionaliteit, voedselveiligheid, flexibiliteit, etc. in de vier betrokken sectoren behaald worden. Om deze voordelen te kunnen behalen, zal het nodige fundamentele onderzoek naar verschillende process intensification technologieën – en in het verlengde hiervan toegepast onderzoek – moeten worden verricht. Op dit moment ontbreekt het aan de kennis en vaardigheden om materiaal (gereedschap/uitrusting) te maken voor industrieel gebruik.

Daarnaast zijn voor een succesvolle implementatie van process intensification funderende technologieën nodig, zoals bijvoorbeeld technologie om kinetische en thermodynamische eigenschappen van chemische processen op moleculair niveau te analyseren. Verder bestaat er behoefte aan numerieke methoden voor het modelleren van ketenoptimalisatie. Daarbij wordt opgemerkt dat bij de ontwikkeling van deze modellen rekening moet worden gehouden met niet-lineaire verschijnselen. Het CFSM-onderzoek heeft op dit punt binnen diverse thema's de nodige kennis en expertise opgebouwd. Tot slot zijn procesbesturingssystemen van belang.

In paragraaf 4 is al naar voren gekomen dat de procesindustrie een belangrijke industriële partner is in het onderzoek dat aan het CFSM wordt verricht.

BIJLAGE 1 GERAADPLEEGDE PERSONEN

De voorlopige uitkomsten van deze omgevingsanalyse zijn tijdens een **workshop** besproken. Hieraan is deelgenomen door betrokkenen van beide onderzoeksscholen en een groot aantal vertegenwoordigers van intermediaire kennisinstellingen en industrie. De uitkomsten van deze workshop zijn verwerkt in deze rapportage. In onderstaand overzicht zijn de personen die hebben deelgenomen aan de workshop met een sterretje (*) aangeduid.

Dr.ir. R. Badie (ASML)
 Dr.ir. J. Baltussen (Akzo-Nobel)*
 Dr.ir. P. van den Berg (Deltares)*
 Dr.ir. A. van Berkel (TNO)
 Prof.dr.ir. R. de Borst (TU/e)*
 Prof.dr.ir. D.H. van Campen (TU/e)*
 Ir. G. Calis (Stork)*
 Ir. A.J. Dalhuijsen (NMI)*
 Dr. R.P.J. Duursma (Corus)*
 Dr.ir. J.F. Dijkman (Philips Research Laboratories)*
 Prof.dr.ir. M. Geers (TU/e)*
 Prof.dr. M.A. Gutiérrez (TUD)*
 Prof.dr.ir. G.J.F. van Heijst (TU/e)
 Dr. S. Hoekstra (M2i)*
 G. Hommersom (Dow Benelux)*
 Prof.dr.ir. J. Huétink (UT)
 J. Jansen (Unilever)*
 Dr.ir. J. Joosten (DPI)
 Dr.ir. F.J. Klever (Shell)
 Prof.dr. D. Lohse (UT)
 Ir. J.J. Meerman (Teijin Aramid)*
 Prof.dr.ir. A.E. Mynett (Deltares)*
 Prof.dr. H. Nijmeijer (TU/e)
 Prof.dr.ir. G. Ooms (TUD)*
 Dr. B. Oskam (NLR)*
 Dr.ir. H. Prins (Marin)
 Ir. M. Riepen (ASML)*
 Dr.ir. D. Schmidt (TNO)*
 Ir. H. Snel (ECN)*
 Dr.ir. L.J. Sluijs (TUD)
 Prof.dr.ir. H. Tijdeman (UT)*
 Ir. P. Veenstra (Shell)*
 Prof.dr.ir. A.H.M. Verkooijen (TUD)
 Dr.ir. H. Vos (TNO)*
 Prof.dr.ir. J. Westerweel (TUD)
 Prof.dr. G.Q. Zhang (NXP)

BIJLAGE 2 LITERATUURLIJST

- 3TU.Federatie, TNO en Grote Technologische Instituten, 2008
De Technologische Driehoek van Nederland
- Advisory Council for Aeronautics Research in Europe, 2004
Strategic Research Agenda Aeronautics
- CDA, PvdA en ChristenUnie, 2007
Regeerakkoord. Samen werken, samen leven
- Centre of Fluid and Solid Mechanics, 2005
Business plan for a 3-TU Centre of Excellence: Multiscale Phenomena in Fluids and Solids
- Centre of Fluid and Solid Mechanics, 2007
Centre of Competence 'Fluid and Solid Mechanics' Domain description
- Centre of Fluid and Solid Mechanics, 2007
Long term research plan Centre of Fluid and Solid Mechanics
- Centre of Fluid and Solid Mechanics, 2008
Concept 3TU CoE-verantwoording 2008
- Commissie Onderzoek Duurzame Energie (CODE), 2008
Een nationale onderzoeksagenda duurzame energie, Advies van de Commissie Onderzoek Duurzame Energie
- Deltares, 2008
Gebundelde innovaties
- ECN en 3TU.Federatie, 2007
Aanpak en Hoofdlijnen "Nieuwe ADEM voor het energieonderzoek", Het "ADEM Innovation Lab"
- Energieraad, 2008
Brandstofmix in beweging, Op zoek naar een goede balans
- EnergieTransitie, 2008
European Roadmap for Process Intensification
- Engineering Mechanics, 2006
Application for Renewal of the Accreditation of the Graduate School
- Engineering Mechanics, 2007
Engineering Mechanics Annual Report 2006
- ERTRACT, 2004
Strategic Research Agenda Road Transport
- EuMat, 2006
Roadmap of the European technology Platform for Advanced Engineering Materials and Technologies
- European Technology Platform Waterborne, 2006
Strategic Research Agenda Waterborne

European Steel Technology Platform, 2004
Vision 2030

European Technology Platform for sustainable chemistry (SusChem), 2005
The vision for 2025 en beyond

Europese Commissie, 2005
Besluit van het Europese Parlement en de Raad betreffende het zevende kaderprogramma van de Europese Gemeenschap voor activiteiten op het gebied van onderzoek, technologische ontwikkeling en demonstratie (2007 tot 2013)

Europese Commissie, 2007
A European Strategic Energy Technology Plan

Federatie Holland Automotive, 2006
High Tech Automotive Systems, innovation programme

FOM, 2005
Fenomenologische fysica – Toekomstvisie voor de komende 5 tot 10 jaar

Hoef, M.A. van der, M. Ye, M. van Sint Annaland, A.T. Andrews, S. Sundaresan, J. A.M. Kuipers, 2006
Multiscale Modeling of Gas-Fluidized Beds. In: Guy B. Marin, Editor(s), *Advances in Chemical Engineering*, Academic Press, 2006, Volume 31, Computational Fluid Dynamics, Pages 65-149

InnovatiePlatform, 2004
Voorstel sleutelgebiedenaanpak

J.M. Burgerscentrum, 2007
Annual Report & Research Programme 2006-2007

J.M. Burgerscentrum, 2007
Application for re-accreditation 2007-2013

J.M. Burgerscentrum, 2007
Course Programme 2007-2008

J.M. Burgerscentrum, 2007
JMBC 15 years

KNAW, 2007
Duurzaamheid duurt het langst, Onderzoeksuitdagingen voor een duurzame energievoorziening

MicroNed, 2008
Website MicroNed

M2i, 2007
M2i The innovation & Valorization Formula (samenvatting en brochure)

Norton, I., P. Fryer en S. Moore, 2006
Product/Process Integration in Food Manufacture: Engineering Sustained Health. American Institute of Chemical Engineers Journal 52 (5), 2006, 1632.

STG/Health Management Forum, 2008

Ruimte voor arbeidsbesparende technologie om in 2025 voldoende zorg te bieden

Technologiestichting STW, 2007

STW Programm Multiscale Simulation Techniques (MuST)

Technologiestichting STW, 2008

Perspectief. Programma's van STW

US National Committee on Theoretical and Applied Mechanics, 2006

Research in fluid dynamics: meeting national needs

4

Netherlands Institute for Research on ICT NIRICT

1. Inhoud van NIRICT
2. Maatschappelijke relevantie ICT-onderzoek
3. Marktrelevantie
4. Inbedding NIRICT in Europese en nationale onderzoeksagenda's

Bijlage 1 Geraadpleegde respondenten

Bijlage 2 Literatuur

1. Inhoud van het CoC NIRICT

Hierboven hebben we al besproken dat binnen het CoC NIRICT zes thema's worden onderscheiden. In schema 1 hieronder hebben we deze thema's weergegeven. Per thema hebben we ook aangegeven waarop het onderzoek aan de drie TU's zich onder andere richt. Verder is in het onderstaande schema ook weergegeven waar het Centre of Excellence (CoE) van het CoC NIRICT betrekking op heeft. Dit CoE wordt aangeduid met de term **CeDICT**. Deze afkorting staat voor: Centre for Dependable ICT systems. In het businessplan van NIRICT wordt CeDICT beschouwd als een 'Long Term Challenge'. Daarmee wordt bedoeld dat het gaat om onderzoek met een hoge complexiteit – dat zich kenmerkt door een high risk/high return – en (daarmee) een tijdshorizon van tenminste acht jaar.

CeDICT houdt zich (dus) bezig met onderzoek naar de betrouwbaarheid (dependability) van (ICT-)systemen. Dit is – zowel maatschappelijk als industrieel – een belangrijk onderwerp. Dit vanwege het feit dat steeds meer toepassingen staan of vallen met de beschikbaarheid, betrouwbaarheid en integriteit van ICT-systemen. Vrijwel dagelijks worden we geconfronteerd met de gevolgen van situaties waarbij hiervan geen sprake is. Voorbeelden daarvan zijn de perikelen rondom de tunnel bij Roermond, de beveiliging(spasjes) bij overheidsgebouwen, de invoering van de OV-chipkaart en de verschillende 'verloren' aangiften bij de Belastingdienst. In essentie is CeDICT (daarmee) relevant voor de (andere) thema's die in schema 1 opgenomen zijn. Ook bij deze andere thema's vormt dependability immers een belangrijk aandachtspunt. In deze zin kunnen de resultaten van CeDICT dus 'ondersteunend' werken aan het onderzoek zoals dat binnen de (andere) thema's van schema 1 plaatsvindt.

De (andere) thema's van schema 1 worden in het onderliggende businessplan van NIRICT gedefinieerd als zogenoemde 'Strategic Research Agendas'. De onderzoeksactiviteiten binnen deze ICT-topics hebben een kortere tijdshorizon dan CeDICT: namelijk vijf tot acht jaar. Bij de keuze van deze SRA's hebben de drie TU's zich onder andere laten leiden door de beschikbare expertise binnen de eigen geledingen. Daarnaast is – zoals we in het navolgende nog zullen uitwerken – ook aansluiting gerealiseerd bij onderzoeksagenda's die zowel in Europees als in nationaal verband zijn opgesteld.

Schema 1 Centre of Excellence CeDICT en SRA's van NIRICT

CENTRE OF EXCELLENCE	AANDACHTSPUNTEN IN ONDERZOEK
CEDICT	ONTWIKKELEN VAN METHODEN EN TECHNIEKEN DIE BEHULPZAAM KUNNEN ZIJN BIJ DE ONTWIKKELING VAN BETROUWBARE ICT-SYSTEMEN DAN WEL BIJ HET TOETSEN VAN DE BETROUWBAARHEID VAN DEZE SYSTEMEN.
SRA'S/THEMA'S	AANDACHTSPUNTEN IN ONDERZOEK
BREEDBANDCOMMUNICATIE	ONDERZOEK NAAR: ▪ TECHNOLOGIEËN VOOR OPTISCH-ELEKTRONISCHE BREEDBANDCOMMUNICATIE ▪ ANTENNE TECHNOLOGIE (WIRELESS COMMUNICATIE) ▪ SPECTRUM MANAGEMENT
COMPUTERNETWERKEN	ONDERZOEK RICHT ZICH OP NETWERKTECHNOLOGIE WAARMEE NAADLOOS VERBINDING KAN WORDEN GEMAAKT MET BREEDBANDINFRASTRUCTUUR WAARDOR HOOGWAARDIGE COMMUNICATIEDIENSTEN AAN GEBRUIKERS KUNNEN WORDEN VERLEEND. BIJ DIT ONDERZOEK GAAT HET BIJVOORBEELD OM DE VRAAG HOE ALLE BESCHIKBARE COMMUNICATIE- EN REKENCAPACITEIT 'GEBUNDELD' KAN WORDEN IN EEN 'COOPERATIVE, SELF-ORGANIZING, ADAPTIVE GRID'. VANUIT DIT SRA/THEMA WORDT ONDERZOEK VERRICHT NAAR METHODEN, TECHNIEKEN EN MIDDELEN OM DIT TE REALISEREN.
AMBIENT INTELLIGENCE	ONDERZOEK HEEFT BETREKKING OP SENSORNETWERKEN WAARMEE INTELLIGENTE PRODUCTEN/ DIENSTEN IN ZOWEL WOON- ALS WERKOMGEVING MOGELIJK WORDEN. VANUIT DIT THEMA WORDT BIJVOORBEELD ONDERZOEK GEDAAN NAAR METHODEN EN TECHNIEKEN/ARCHITECTUREN/ PROTOCOLLEN VOOR COMMUNICATIE TUSSEN SENSOREN ONDERLING EN MET DE GEBRUIKER(S).
SECURITY	ONDERZOEK NAAR METHODEN EN SYSTEMEN OM COMPUTERSYSTEMEN EN INTERNET VEILIGER/BETROUWBAARDER TE MAKEN. HIERBIJ KAN BIJVOORBEELD WORDEN GEDACHT AAN ONDERZOEK OP HET GEBIED VAN BIOMETRIE, 'TRUSTED ENVIRONMENTS' OP INTERNET E.D.
MULTIMEDIA AND INTERACTION	<u>INTERACTION:</u> ONDERZOEK RICHT ZICH BIJVOORBEELD OP ONTWIKKELING VAN METHODEN/ SOFTWARE WAARMEE NATUURLIJKE INTERACTIE MET INTELLI-

	GENTE SYSTEMEN MOGELIJK IS. MULTIMEDIA: ONDERZOEK RICHT ZICH BIJVOORBEELD OP (SOFTWARE/METHODEN VOOR) PRESENTATIE VAN - EN ZOEKMETHODEN VOOR - MULTIMEDIA DATA.
ENTERPRISE INFORMATION SYSTEMS	ONDERZOEK NAAR ONTWERPMETHODEN VOOR (VOLGENDE GENERATIE) INFORMATIESYSTEMEN VOOR ONDERSTEUNING VAN BEDRIJFSPROCESSEN. ONDERZOEK RICHT ZICH BIJVOORBEELD OP MODELLEREN EN ANALYSEREN VAN BEDRIJFSPROCESSEN EN DE 'VERTALING' DAARVAN NAAR INFORMATIESYSTEMEN.

Volgens het businessplan van NIRICT zijn er in totaal circa 1200 personen betrokken bij het CoC NIRICT. Dit betreft ruimt 800 f.t.e.'s (zie ook tabel 1). Uit recent onderzoek blijkt overigens dat de drie TU's binnen Nederland een zeer dominante positie innemen daar waar het gaat om het publiek gefinancierde ICT onderzoek. De drie TU's zijn verantwoordelijk voor ruim 60% van de betreffende onderzoekscapaciteit (Technopolis, 2008).

In tabel 1 hebben we – op basis van gegevens die we van NIRICT hebben verkregen – aangegeven hoe de personele capaciteit van NIRICT (globaal) verdeeld is over de verschillende SRA's²⁹.

Tabel 1 Verdeling personele capaciteit NIRICT over SRA's

SRA	AANTAL F.T.E.'S
BREEDBANDCOMMUNICATIE	145
COMPUTERNETWERKEN	100
AMBIENT INTELLIGENCE	210
SECURITY	65
MULTIMEDIA AND INTERACTION	160
ENTERPRISE INFORMATION SYSTEMS	135
TOTAAL	815

In de gesprekken met interne betrokkenen (van NIRICT) en externe partners hebben we ook aandacht geschonken aan de verschillende SRA's en het CoE CeDICT zoals die in het bovenstaande schema opgenomen zijn. We zullen nu de belangrijkste 'rode draden' presenteren die hieruit naar voren zijn gekomen.

Over het algemeen wordt door de gesprekspartners geconstateerd dat bovenstaande indeling in SRA's/thema's herkenbaar is en goed aansluit bij verschillende visiedocumenten of 'roadmaps' op het gebied van ICT-onderzoek. In paragraaf 5 komen we overigens nog meer in detail terug op de inbedding van deze SRA's en CeDICT in 'roadmaps' voor onderzoek op het gebied van ICT. Ook wordt vanuit deze ge-

²⁹ Aan het thema 'dependable systems' van het CoE CeDICT wordt vanuit de afzonderlijke SRA's aandacht geschonken. Een deel van de personele capaciteit binnen de afzonderlijke SRA's houdt zich dus (ook) bezig met dit thema. In totaal gaat het hiermee om circa 105 f.t.e.

sprekken onderkend dat het centrale onderwerp van het CoE – dependable systems – van grote betekenis is en alleen nog maar in betekenis zal stijgen vanwege de toenemende complexiteit van (ICT-)systemen. Voor grote bedrijven zoals Philips, ASML en Océ, maar ook het MKB, is het van groot belang dat hun apparatuur – die dikwijls honderdduizenden of zelf miljoenen ‘regels’ software bevat – adequaat functioneert. Indien er vanuit NIRICT – via CeDICT – instrumenten kunnen worden aangereikt om dit bij voorbaat te toetsen en te borgen kan dit een belangrijke economische meerwaarde genereren. Wel noemen met name enkele geraadpleegde externe partners dat zij het thema ‘embedded systems’ wat missen bij NIRICT. Hierbij kan overigens aangetekend worden dat NIRICT momenteel bezig is om in samenwerking met het Embedded Systems Institute (ESI) een zogenoemde Joint Research Unit op te zetten op het gebied van embedded systems. Later in deze rapportage komen we overigens nog terug op de relatie van NIRICT met ‘embedded systems’.

Ook in maatschappelijk opzicht kan onderzoek binnen CeDICT een belangrijke meerwaarde genereren. Hierbij wordt bijvoorbeeld verwezen naar kritische infrastructuur zoals het elektriciteits- en aardgasnetwerk, de Westerscheldekering en medische apparatuur. Deze kritische infrastructuur wordt in toenemende mate afhankelijk van ICT terwijl de gevolgen van eventueel disfunctioneren desastreus kunnen zijn.

Ook het belang van de andere thema’s (SRA’s) van NIRICT wordt vanuit de gesprekken veelal onderschreven. Wel wordt door verschillende gesprekspartners geconstateerd dat enkele thema’s wat gerelateerd lijken te zijn en dat het onderscheid voor de buitenwereld daarmee niet altijd even duidelijk kan zijn. De thema’s waarvoor dit – blijkens de resultaten van de gesprekken – het meest geldt zijn de volgende. In de eerste plaats gaat het daarbij om (het onderscheid tussen) de thema’s breedbandcommunicatie en computernetwerken. Een deel van de respondenten verwacht dat voor de buitenwereld niet altijd duidelijk zal zijn wat het onderscheid precies is tussen deze thema’s. Dit omdat een belangrijke rode draad in beide thema’s lijkt te bestaan uit onderzoek naar methoden en technieken om in de toekomst overal en altijd betrouwbare, snelle, intelligente en veilige communicatie en reken capaciteit beschikbaar te hebben. Een deel van de respondenten kan zich dan ook voorstellen dat deze thema’s samen genomen zouden worden.

In de tweede plaats signaleren enkele respondenten dat het thema ‘Ambient Intelligence’ enerzijds relaties heeft met het thema ‘Computernetwerken’ en anderzijds met het thema ‘Multimedia and Interaction’. Dit laatste geldt dan met name voor het onderdeel ‘Interaction’ binnen het thema ‘Multimedia and Interaction’. Deze respondenten kunnen zich dan ook voorstellen dat het thema Ambient Intelligence geïntegreerd wordt met deze andere thema’s. Ook in het businessplan van NIRICT worden deze relaties overigens onderkend. Daarin wordt over Natural Interaction bijvoorbeeld gesteld dat ‘This research track addresses the development of natural and intuitive interfaces for interaction processes within ambient intelligence environments and virtual worlds’ (NIRICT, 2007, pag. 25).

Naar de toekomst toe valt dan ook te overwegen dat het (bestuur van het) CoC NIRICT de verschillende thema’s wellicht nog eens tegen het licht houdt. Een vraag die daarbij aan bod kan komen is dan of het – vanuit het perspectief van communicatie naar de buitenwereld – wellicht wenselijk is om tot een zekere bundeling van thema’s te komen. Hierboven zijn daarvoor enkele eerste suggesties gedaan. Overigens is het de bedoeling van NIRICT om in het najaar van 2008 een Strategiedag te organiseren. Tijdens deze dag zal ook expliciet aandacht worden geschonken aan de vraag in hoeverre de onderscheiden thema’s eventueel bijstelling verdienen.

Samenwerking binnen NIRICT

Over de intensivering van de samenwerking van het ICT-onderzoek binnen NIRICT zijn zowel interne als externe respondenten veelal positief. Een belangrijke argumentatie daarvoor is dat door de toenemende internationalisering (van het ICT-onderzoek) de drie TU's afzonderlijk te klein zijn om adequaat te kunnen 'concurreren' met andere grote buitenlandse kennisinstellingen.

Interne betrokkenen signaleren dat zij door NIRICT meer zicht hebben gekregen – of hopen te krijgen – op de aard en inhoud van het ICT-onderzoek zoals dat aan de andere TU's wordt uitgevoerd. Deze personen hopen dat hierdoor nieuwe mogelijkheden ontstaan om samen op te trekken bij nationale en Europese onderzoeksprogramma's waardoor de slaagkans van dit soort projectvoorstellen wordt vergroot. Enkele interne vertegenwoordigers konden al concrete voorbeelden noemen waarbij een dergelijk 'NIRICT-effect' zich had voorgedaan. Daarbij was bijvoorbeeld NIRICT opgevoerd in een EU-projectvoorstel dat vervolgens gehonoreerd is. Wel zijn de geraadpleegde betrokkenen van NIRICT het er veelal over eens dat de samenwerking binnen NIRICT nog maar aan het begin staat. Daarmee wordt bedoeld dat NIRICT één van de samenwerkingsverbanden is waar men in de praktijk mee te maken heeft. NIRICT is op dit moment dus nog niet het dominante netwerk dat in alle gevallen in samenwerkingsprojecten wordt betrokken. ICT-onderzoeksgroepen binnen de drie TU's hebben ook hun eigen netwerken waarop nu nog vaak een beroep wordt gedaan voor het ontwikkelen van nieuwe projectvoorstellen.

Ook externe respondenten signaleren dat zij in de praktijk merken dat de drie TU's door NIRICT meer gezamenlijk optrekken bij ICT-onderzoek. Echter, ook de externe partners van de drie TU's constateren dat het hier om een aantal eerste stappen gaat die nog verder uitgebouwd dienen te worden. Zij merken dit bijvoorbeeld doordat nog diverse contacten op het gebied van ICT-onderzoek buiten NIRICT om plaatsvinden met afzonderlijke onderzoeksgroepen binnen de drie TU's. In dit verband brengen verschillende externe partners naar voren dat samenwerking en afstemming van het ICT-onderzoek in 3TU-verband gebaat zou zijn met een bestuurlijke fusie van de drie technische universiteiten. Daarmee zou het in de optiek van deze personen mogelijk worden om tot een (nog) betere focus, massa en taakverdeling van het ICT-onderzoek aan de drie TU's te komen. Overigens wordt er daarbij nadrukkelijk voor gepleit om bij een dergelijke fusie de drie locaties van de TU's open te houden en eventueel de eigen 'merknamen' te blijven gebruiken.

Een belangrijk argument voor het 'handhaven' van de drie locaties van de drie TU's is dat hiermee de wervingskracht van de drie technische universiteiten voor aankomende studenten behouden blijft. Dit is enerzijds van belang omdat er momenteel een tekort aan hoog opgeleid ICT-personeel bestaat terwijl anderzijds bekend is dat een deel van de aankomende studenten de voorkeur geeft aan een opleiding in de omgeving waar men het voortgezet onderwijs heeft gevolgd. De geraadpleegde externe partners zijn het er overigens over eens dat de drie TU's een zeer belangrijke rol spelen bij het opleiden van hoger opgeleiden met ICT-kennis. Deze personen signaleren dat de fricties die zich daarbij voordoen niet zozeer te maken hebben met de kwaliteit van deze afgestudeerden maar vooral met kwantitatieve tekorten. De oorzaak daarvoor wordt vooral gezocht in het feit dat meer in het algemeen beta-opleidingen in Nederland te maken hebben met een beperkte instroom van studenten.

2. Maatschappelijke relevantie ICT(-onderzoek)

In deze paragraaf beschouwen we de maatschappelijke relevantie van ICT(-onderzoek). Daarbij volgen we een tweetal sporen. In de eerste plaats zullen we in vogelvlucht ingaan op de ontwikkeling van de beleidsmatige aandacht voor ICT(-onderzoek) in de Nederlandse context. In de tweede plaats zullen we illustreren welke rol ICT kan spelen bij een aantal belangrijke maatschappelijke vraagstukken.

I. Beleidsmatige inbedding ICT(-onderzoek)

ICT wordt steeds belangrijker in onze maatschappij. Zo zijn de medische wereld, het (inter)nationale handelsverkeer en de infrastructuur – zowel transport van personen als van goederen en elektriciteit, gas en water – in toenemende mate afhankelijk van ICT. In deze zin is het dan ook niet verwonderlijk dat de Rijksoverheid in de loop der tijd meer aandacht is gaan schenken aan het stimuleren van ICT-onderzoek en -toepassing. Zo is al in 1994 door het Ministerie van Economische Zaken het **'Nationaal Actieprogramma Digitale Snelwegen'** opgesteld. Met dit actieprogramma wilde de Rijksoverheid een impuls geven aan de ontwikkeling en toepassing van ICT(-diensten).

De **'Digitale Delta, Nederland Online'** (1999) kan als opvolger van dit actieprogramma worden gezien. In de Digitale Delta werd een vijftal speerpunten onderscheiden. Eén van deze speerpunten had betrekking op kennis en innovatie. De Digitale Delta werd in 2000 opgevolgd door het actieplan **'Concurreren met ICT-Competenties (CIC)'**. Dit actieplan, dat door de ministeries van EZ en OCW is opgesteld, vormde in feite een concrete uitwerking van het speerpunt 'kennis en innovatie' zoals dat in de Digitale Delta onderscheiden werd. Via dit actieplan is in de periode 2000-2004 voor 120 miljoen euro aan ICT-onderzoek gefinancierd.

In beleidsmatige zin is verder de **Task Force 'ICT en Kennis'** relevant die in 2001 door de ministers van EZ en OCW in het leven werd geroepen. Een belangrijke reden om deze Task Force in te stellen was dat beleidsmatig steeds meer de grote economische en maatschappelijke betekenis van ICT onderkend werd. De Task Force kreeg dan ook als taak mee om aanbevelingen te doen ten aanzien van de strategische ICT-kennisopbouw en de ontsluiting van de ICT-kennismarkt. Een belangrijke conclusie van de Task Force was dat de omvang van het publiek gefinancierde ICT-onderzoek in Nederland achterbleef bij de snel groeiende betekenis van ICT. De Task Force ICT en Kennis deed dan ook de aanbeveling om tot een drastische uitbreiding van dit onderzoek te komen.

Een belangrijke beleidsmatige mijlpaal is verder de oprichting van het **ICT Regie-*orgaan*** (ICTRegie) in 2004 geweest. Dit vond plaats op initiatief van de ministeries van EZ en OCW. ICTRegie is ingesteld voor een periode van zes jaar. ICTRegie heeft als doel om meer eenheid en consistentie (focus en massa) in het ICT-onderzoek te bewerkstelligen en om de valorisatie van ICT-kennis te verbeteren. Dit laatste heeft dan te maken met de zogenoemde kennisparadox waarvan in Nederland – ook voor ICT³⁰ – sprake is. Relevant is verder dat ICTRegie als doel geformuleerd heeft om tot een uitbreiding van het publiek gefinancierde ICT-onderzoek te komen van 160 miljoen euro in 2005 tot 240 miljoen euro in 2009.

³⁰ Zie bijvoorbeeld het Strategisch Plan van ICTRegie en NOAG-ict 2005-2010.

In het bovenstaande is al aan de orde gekomen dat in de periode 2000-2004 vanuit het actieprogramma CIC 120 miljoen euro aan ICT-onderzoek is gefinancierd. Deze financiering heeft voor de periode 2004-2010 een vervolg gekregen vanuit de **Bsik-middelen**. Vanuit deze middelen is namelijk voor de zojuist genoemde periode een bedrag van 215 miljoen euro voor ICT-onderzoek gereserveerd. In de volgende paragraaf zullen we een aantal projecten die vanuit deze middelen gefinancierd zijn de revue laten passeren.

In de afgelopen periode zijn verder een aantal nationale 'roadmaps' op het gebied van ICT-onderzoek opgesteld. Voor de huidige periode is de (derde) **Nationale Onderzoeksagenda Informatie- en Communicatietechnologie (NOAG-ict) 2005-2010** relevant. In het navolgende duiden we deze agenda kortweg aan als NOAG-ict 2005-2010. In het NOAG-ict 2005-2010 wordt een aantal kansrijke ICT-thema's geïdentificeerd. Deze thema's blijken in grote lijnen te sporen met de ICT-speerpunten zoals die in het Zevende Kaderprogramma van de EU voor ICT-onderzoek worden onderscheiden³¹. Later in deze notitie zullen we overigens nog zien dat het Zevende Kaderprogramma ICT-onderzoek een belangrijk speerpunt vormt.

Een meer recente belangrijke beleidsmatige mijlpaal voor ICT(-onderzoek) kan worden gevonden in het **InnovatiePlatform (IP)**. Het IP heeft ICT namelijk als zogenoemde '**innovatie-as**' aangemerkt. Daarmee brengt het IP tot uitdrukking dat ICT de innovatie- en concurrentiekracht van alle economische sectoren – waar- onder ook de sleutelgebieden die het IP geïdentificeerd heeft – kan versterken. Zo stelt het IP dat ICT als thema dwars door alle sectoren van de maatschappij en economie heenloopt. Door benutting en inzet van ICT kan de productiviteit in sectoren fors toenemen³².

Uit het voorgaande blijkt dat in de afgelopen jaren beleidsmatig gezien het belang van ICT-onderzoek en -toepassing duidelijk onderkend is. Dat betekent overigens niet dat Nederland daarmee wat ICT(-onderzoek) betreft 'haar schapjes op het droge heeft'. In '**ICT Innovatieagenda 2006-2010. ICT in actie**' van ICTRegie (2006) wordt een drietal belangrijke conclusies getrokken over de status van het ICT-onderzoek in Nederland. Een 'positieve' conclusie is dat de wetenschappelijke kwaliteit en productiviteit van het Nederlandse ICT-onderzoek mondiaal gezien als relatief sterk te beoordelen valt. Daarentegen komen uit deze agenda ook een tweetal minder positieve boodschappen naar voren. Allereerst blijkt dat Nederland qua omvang van – zowel publiek als privaat – ICT-onderzoek internationaal gezien niet sterk scoort. Verder blijkt, zoals eerder vermeld, dat de Nederlandse kennispapadox ook relevant is voor de ICT-sector. In de zojuist genoemde ICT agenda wordt dan ook geconstateerd dat er in Nederland nog veel winst te boeken valt bij het valoriseren van ICT-kennis in producten en diensten.

II. ICT(-onderzoek) en maatschappelijke vraagstukken

Hierboven hebben we al aangegeven dat ICT een cruciale rol kan spelen bij het aanpakken van belangrijke maatschappelijke vraagstukken. In het navolgende zullen we enkele voorbeelden van deze vraagstukken de revue laten passeren. We merken overigens op dat het hierbij gaat om voorbeelden van samenhang tussen ICT en maatschappelijke vraagstukken die breed onderkend worden in zowel het Europese als in het nationale beleid en daarmee samenhangende onderzoeksagenda's.

³¹ Zie bijvoorbeeld bladzijde 30 van NOAG-ict 2005-2010.

³² Zie Innovatieplatform (2005): 'ICT als Innovatie-as. Kansen pakken met ICT', bladzijde 5.

ICT en Gezondheidszorg

In de eerste plaats kan ICT een belangrijke rol spelen in de gezondheidszorg. Ontwikkelingen in de vraagzijde hebben er aan bijgedragen dat de kosten van gezondheidszorg in de afgelopen jaren gestaag toegenomen zijn. De beheersing van deze kosten vormt dan ook een belangrijk aandachtspunt in het kabinetsbeleid. ICT kan op verschillende wijzen een rol spelen bij zowel het verbeteren van de kwaliteit van zorgverlening als bij het (kosten)efficiënter uitvoeren van zorghandelingen. Zo wordt in het Zevende Kaderprogramma van de EU uitgewerkt dat ICT in de gezondheidszorg een bijdrage kan leveren aan de verbetering van ziektepreventie, vroegtijdige diagnose en persoonlijke afstemming, zelfstandigheid, veiligheid en mobiliteit van patiënten. In de Nederlandse context heeft het ICT-Forum specifiek onderzoek gedaan naar de toepassingsmogelijkheden van ICT in de zorg (ICT-Forum, 2004). Dit vanwege de grote potenties die dit Forum voor ICT in de gezondheidszorg signaleerde.

Uit het onderzoek van het ICT-Forum komt een vijftal gebieden binnen de gezondheidszorg naar voren waarbij ICT een grote rol kan spelen, namelijk:

- 1. Smart health surroundings:** met ICT kan een gezonde leefomgeving worden gecreëerd die enerzijds voorkomt dat burgers ziek worden en waarmee anderzijds de zelfredzaamheid van patiënten bevorderd kan worden.
- 2. Zorg op maat:** met 'zorg op maat' kan de kwaliteit van zorgverlening verbeterd worden. Dit vergroot echter wel de complexiteit van de zorg omdat iedere patiënt in zijn of haar specifieke behoeften – op maat – wordt verzorgd. ICT kan een belangrijke rol spelen in het beheersen en managen van deze complexiteit.
- 3. Kennismanagement:** met ICT kan het managen van kennis van patiënten (denk aan het Elektronisch Patiënten Dossier), medicijnen, et cetera, vergemakkelijkt worden.
- 4. Automatische registratie:** ICT biedt mogelijkheden om medisch personeel werk uit handen te nemen bij het registreren van patiënten/patiëntgegevens.
- 5. Beelddiagnostiek en beeldgestuurde behandeling:** in medische apparatuur zoals MRI-scanners en medische robots speelt ICT steeds meer een cruciale rol.

Ook in recente onderzoeken van Bureau Bartels in de gezondheidszorg komt het grote belang van ICT in de zorg tot uitdrukking. Zo maakt ICT bijvoorbeeld 'tele-zorg' – zorg op afstand – mogelijk. Hierdoor kan preventie, diagnose en monitoring van herstel op diverse plaatsen plaatsvinden: thuis, in de ambulance, bij de huisarts, in mobiele units, in gespecialiseerde (diagnostische) centra, in verpleeg- en verzorgingshuizen en in zorghotels (Bureau Bartels, 2007a). Verder blijkt dat ziekenhuizen door middel van ICT steeds meer gaan samenwerken met verpleeg- en verzorgingshuizen. Laatstgenoemde instellingen intensiveren op hun beurt met ICT weer de samenwerking met huisartsenpraktijken en thuiszorgorganisaties (Bureau Bartels, 2007b). Ook bij **medisch onderzoek** neemt de rol en betekenis van ICT toe. Dit omdat met ICT bijvoorbeeld grote hoeveelheden medische data snel verwerkt en geïnterpreteerd kunnen worden. In het NOAG-ict 2005-2010 wordt dan ook gewezen op de rol die ICT kan spelen bij het 'ontrafelen' van biologische systemen.

Gezien de belangrijke rol van ICT voor de gezondheidszorg is vanuit ICTRegie een IIP – ICT Innovatieplatform – op het gebied van **'Health Support'** opgezet. Diverse kennisinstellingen, zorginstellingen en overkoepelende zorginstanties nemen hieraan deel. Daarnaast is er vanuit ICTRegie een IIP op het gebied van domotica geïnitieerd: **'ICT en wonen'**. Ook vanuit dit laatste IIP wordt aandacht aan zorg besteed. Dit heeft er bijvoorbeeld mee te maken dat met domotica bereikt kan worden dat ouderen of patiënten langer zelfstandig thuis kunnen blijven wonen.

ICT en Veiligheid

Veiligheid wordt in toenemende mate een relevant maatschappelijk vraagstuk. Het thema 'Veiligheid, stabiliteit en respect' vormt dan ook één van de zes pijlers van het Regeerakkoord. Binnen deze pijler wordt expliciet aandacht besteed aan ICT en veiligheid. Zo wordt in het regeerakkoord bijvoorbeeld gesteld dat de bestrijding van cybercrime moet worden geïntensiveerd. Daarnaast wil het kabinet komen tot een geïntegreerd politie-informatiesysteem waarmee de samenwerking en het functioneren van politiekorpsen kan worden verbeterd. Voor de regeerperiode 2007-2011 heeft het kabinet een budget van 320 miljoen euro gereserveerd voor 'effectieve veiligheidsorganisatie en veiligheidstechnologie'.

Ook in het Zevende Kaderprogramma van de EU wordt aangegeven dat veiligheid een belangrijk maatschappelijk vraagstuk is. Het Kaderprogramma noemt ook diverse voorbeelden op het gebied van veiligheid waarbij ICT een rol kan spelen. Zo kan ICT helpen bij het signaleren van bedreigingen en bij het opsporen, voorkomen en bestrijden van terreuraanslagen en misdaden. Ook wordt in het Kaderprogramma gewezen op de betekenis van ICT bij de beveiliging van infrastructuur (zowel fysieke infrastructuur voor vervoer en energie als digitale infrastructuur van data en geldstromen). Andere voorbeelden die in het Kaderprogramma worden genoemd hebben betrekking op de rol van ICT bij het beveiligen van de Europese grenzen, het coördineren van acties van hulporganisaties en het verbeteren van de bescherming van privacy en vrijheden.

Uit het voorgaande volgt dat ICT op uiteenlopende wijzen een rol kan spelen bij het vergroten van verschillende vormen van veiligheid. We zullen hiervan ter illustratie een aantal voorbeelden geven. In de eerste plaats kan worden gedacht aan de rol van ICT bij het vergroten van **verkeersveiligheid**. Zo speelt ICT (embedded software) een steeds grotere rol in de automotive sector. Daarbij valt bijvoorbeeld te denken aan de rol die ICT speelt bij ABS, ESP en airbags. In de toekomst kan ICT ook een rol gaan spelen bij het reguleren van het autovervoer (bijvoorbeeld via 'drive by wire') waarbij niet alleen de doorstroming van het autoverkeer verbeterd kan worden maar ook de veiligheid. Aan de drie TU's wordt hier overigens onderzoek naar verricht.

Een ander voorbeeld betreft de inzet van ICT bij het **bewaken van kritische infrastructuren en gebouwen**. In dit verband verrichten de drie TU's bijvoorbeeld onderzoek naar de ontwikkeling van software voor intelligente camera's. Hiermee worden beeld- en geluidssignalen simultaan geregistreerd en geïnterpreteerd. Indien deze signalen duiden op crisissituaties – bijvoorbeeld geweld – dan kan door deze camera's alarm worden geslagen. Hiermee kan ook tot een meer effectieve en efficiënte inzet van politie en beveiligingspersoneel worden gekomen.

Een derde voorbeeld heeft betrekking op **beveiliging van dienstpistolen** van onder andere agenten. In de Verenigde Staten bijvoorbeeld wordt ongeveer één op de zes agenten die bij de uitoefening van hun beroep omkomen, neergeschoten met het eigen dienstpistool (IPN, NWO-EW en STW, 2005). Ook op dit terrein verrichten de drie TU's vanuit NIRICT onderzoek. Daarbij wordt bijvoorbeeld nagegaan hoe met behulp van sensortechnologie, biometrie en security (voor de beveiligde opslag van biometrische gegevens) bereikt kan worden dat alleen de 'eigenaar' een dienstpistool daadwerkelijk kan benutten.

Een vierde voorbeeld is het volgende. ICT speelt een centrale rol bij het monitoren, interpreteren en het nemen van beslissingen bij ongelukken en andere noodsituaties. Dat geldt ook voor het faciliteren van de **communicatie** tussen **hulpverlenende diensten** (politie, brandweer, ambulance, et cetera). Op dit moment wordt in Nederland bijvoorbeeld gewerkt aan de implementatie van een digitaal communicatienetwerk (C2000) voor politie, brandweer, ambulance en marechaussee om de onderlinge afstemming en samenwerking tussen deze diensten verder te optimaliseren.

Een laatste voorbeeld dat we hier noemen – en waar de drie TU's ook actief mee zijn – heeft betrekking op onderzoek gericht op het creëren van **veiligheid op internet** (beveiligde internetomgeving). Dit is onder andere van groot belang voor de commerciële en de financiële dienstverlening (denk aan e-commerce, elektronisch betalingsverkeer) maar ook in de relatie tussen overheid en burgers (denk aan het beschermen van persoonsgegevens).

Vanuit ICTRegie is op het gebied van Security een IIP van de grond getrokken: **'Security and Privacy'**. In dit IIP participeren partijen zoals de drie TU's, andere universiteiten, het CTIT, TNO, financiële en logistieke dienstverleners en het Ministerie van Economische Zaken. Dit IIP heeft recentelijk (2008) een Research Agenda – Veilig Verbonden – opgesteld. Daarin wordt uitgewerkt welke rol ICT kan spelen bij veiligheidsvraagstukken en welk ICT-onderzoek daarvoor nog benodigd is.

ICT en Onderwijs

Onderwijs vormt het derde belangrijke maatschappelijke vraagstuk dat we hier de revue laten passeren. Het belang van onderwijs wordt zowel in Europees als in nationaal verband alom onderkend. Zo speelt onderwijs een belangrijke rol bij het realiseren van de kennis- en innovatieambities die zowel in Europees verband (de Lissabon strategie) als in nationaal verband (zie bijvoorbeeld de doelstellingen van het InnovatiePlatform) geformuleerd zijn. ICT is vanuit verschillende invalshoeken relevant voor het (versterken van het) onderwijs. De stichting 'Kennisset' is sinds 2001 dan ook actief om de integratie van ICT in het onderwijs te stimuleren. We belichten hier kort enkele pregnante voorbeelden van de relatie tussen ICT en onderwijs. We sluiten daarbij deels ook aan bij de sporen zoals die in het actieprogramma 'Maatschappelijke Sectoren & ICT' (2005) met betrekking tot het onderwijs onderscheiden zijn.

Een eerste belangrijke rol van ICT in het onderwijs is dat hiermee **'leren op afstand'** (e-learning) mogelijk wordt. Hieraan zijn diverse voordelen verbonden. Zo kan e-learning bevorderen dat meer mensen deel gaan nemen aan onderwijs en opleidingen. In deze zin kan e-learning bijvoorbeeld ook een bijdrage leveren aan een 'leven lang leren'. Verder kan e-learning ook leiden tot minder transport(kosten) en daarmee samenhangende milieulasten. In de tweede plaats biedt ICT ook mogelijkheden om de **inhoud van het onderwijs** zelf te versterken. Daarbij valt bijvoorbeeld te denken aan de toepassing van multimedia in het lesmateriaal. Een voorbeeld hiervan is de audiovisuele bronnenbank Teleblik die in 2005 door Kennisset en Teleac/NOT is opgezet. Teleblik bevat 10.000 uur gedigitaliseerd audiovisueel materiaal dat online beschikbaar is. Met multimedia kan (dus) bereikt worden dat de taken van docenten verlicht worden.

In de derde plaats biedt ICT onderwijsinstellingen zelf – die te maken hebben met schaalvergroting door fusies en overnames in het onderwijs – de mogelijkheden om de eigen **bedrijfs- en onderwijsprocessen** beter te **beheersen en te managen**. Dit dan bijvoorbeeld door gebruik te maken van 'enterprise information systems'. In de vierde plaats kan de invoering van een **elektronisch leerdossier** leiden tot een kwaliteitsimpuls in het onderwijs. Hiermee kan bijvoorbeeld bereikt worden dat leerlingen en docenten in alle fasen van het onderwijs beter inzicht hebben in de

vorderingen, beroepsinteresses, et cetera. Landelijke invoering van een elektronisch leerdoosier biedt bovendien voordelen wanneer leerlingen doorstromen naar vervolgoopleidingen. Vervolgopleidingen kunnen dan bijvoorbeeld snel inzicht krijgen in de 'historie' van een leerling en daar hun onderwijs en/of begeleiding op aanpassen.

ICT en Mobiliteit/Logistiek

Mobiliteit en logistiek zijn – zeker voor Nederland als traditioneel logistiek knooppunt – van essentieel belang. In de afgelopen jaren zien we echter steeds meer dat in Nederland de vervoersnetwerken dichtslibben. Dit leidt niet alleen tot files, maar ook tot meer verkeersonveiligheid, meer geluidsoverlast, verslechtering van de luchtkwaliteit en een slechtere bereikbaarheid van met name stedelijke gebieden. In het regeerakkoord wordt deze problematiek door het kabinet ook onderkend. Daarom besteedt het kabinet in één van haar zes pijlers – namelijk de pijler 'Een innovatieve, concurrerende en ondernemende economie' – aandacht aan het thema mobiliteit en infrastructuur. Daarbij wordt onderkend dat ICT een ondersteunende rol kan spelen bij het beter managen van het gebruik van infrastructuur.

ICT kan langs verschillende sporen behulpzaam zijn bij het reduceren van de knelpunten die samenhangen met het maatschappelijke vraagstuk van mobiliteit en logistiek. We geven hier in vogelvlucht enkele voorbeelden van. Allereerst kan ICT een rol spelen bij de **informatievoorziening** richting weggebruikers en logistieke dienstverleners. Daarbij valt bijvoorbeeld te denken aan navigatiesystemen maar ook aan (daaraan gekoppelde) informatie over files. Hiermee worden (potentiële) weggebruikers en logistieke dienstverleners in staat gesteld om hun keuze ten aanzien van de te gebruiken vervoersmodaliteiten – en daarbinnen de te volgen 'route' – te optimaliseren. Hierdoor kan efficiënter gebruik worden gemaakt van de capaciteit van de vervoersinfrastructuur.

In de tweede plaats wordt steeds meer onderkend dat oplossingen voor de congestie niet alleen gezocht moeten worden in het verbeteren van de fysieke infrastructuur zelf maar ook in zaken zoals het bevorderen van **telewerken en videoconferencing**. Hiermee kan immers het aanbod van verkeer gereduceerd worden. ICT faciliteert de implementatie van telewerken en videoconferencing. In de derde plaats speelt ICT ook een cruciale rol bij maatregelen – zoals **rekeningrijden en kilometerheffing** – die er op gericht zijn om het rijden in congestie gevoelige gebieden of in de spits te ontmoedigen. Tot slot noemen we nog dat ICT een grote rol speelt binnen de logistieke sector. Zo worden met behulp van ICT bijvoorbeeld **optimale routes en planningen** voor het vervoer van goederen opgesteld.

Dat ICT een cruciale rol speelt bij mobiliteit en logistiek blijkt ook uit het feit dat er inmiddels een IIP op dit terrein is opgezet: **'Mobiliteit als ICT-systeem (MAIS)'**. MAIS is opgericht door TNO en Connex. Naast kennisinstellingen – waaronder de drie TU's – en overheidsinstanties is een groot aantal partijen uit het bedrijfsleven bij Connex en dus indirect bij MAIS betrokken. Voorbeelden zijn KPN, Siemens, Schiphol Group, TomTom, ANWB, BOVAG, Port of Rotterdam en Imtech.

Uit het bovenstaande kan per saldo worden geconcludeerd dat ICT en (daarmee) ICT-onderzoek een hoge mate van maatschappelijke relevantie kent.

3. Marktrelevantie ICT(-onderzoek)

In deze paragraaf schenken we aandacht aan de betekenis van ICT(-onderzoek) voor de marktsector, dus voor economische ontwikkeling en innovatie. We volgen hierbij een tweetal invalshoeken. In de eerste plaats zullen we aandacht schenken aan de beleidsmatige en cijfermatige onderbouwing van het belang van de ICT-

sector voor de marktsector. In de tweede plaats zullen we ingaan op het aantal belangrijke ICT-onderzoeksprogramma's en de betrokkenheid van de drie TU's en het bedrijfsleven daarbij.

I. Marktrelevantie ICT(-onderzoek)

Zoals we in de volgende paragraaf nog zullen uitwerken, wordt in het Zevende Kaderprogramma groot belang gehecht aan ICT-onderzoek. Dit wordt mede onderbouwd vanuit het belang van ICT voor economische groei en innovativiteit. In het Kaderprogramma wordt dan ook gesteld dat de concurrentiepositie van de Europese economie in belangrijke mate bepaald wordt door nieuwe kennis en toepassingen op het gebied van ICT.

Ook in nationaal verband wordt de grote economische en innovatieve betekenis van de ICT-sector breed onderkend. Een goede illustratie hiervan is het feit dat het Innovatieplatform ICT als innovatie-as heeft benoemd. Daarmee brengt het Innovatieplatform tot uitdrukking dat de ICT-sector niet alleen zelf een belangrijke economische sector is (zie ook hierna) maar tevens een belangrijke 'enabler' is van economische groei en innovativiteit in andere sectoren: 'ICT levert immers op verschillende manieren een belangrijke bijdrage aan de kennissamenleving: het zorgt voor productiviteitsgroei, het is een belangrijke factor bij economische groei en het levert bijdragen aan het oplossen van maatschappelijke problemen. ICT is een echte katalysator voor innovatie' (Innovatieplatform, 2005, pag. 4).

Wel signaleert het Innovatieplatform dat de kansen van ICT in Nederland nog onvoldoende worden benut. Ondanks dat het ICT-onderzoek van excellente kwaliteit is, valt er op het gebied van valorisatie van deze kennis nog het nodige te winnen. Het Innovatieplatform wil hier ook zelf een bijdrage aan leveren door ieder advies van het Innovatieplatform vergezeld te doen gaan van een zogenoemde ICT-toets. Via deze toets zal dan nagegaan worden of via de inzet van ICT bepaalde zaken 'in een hogere versnelling' aangepakt kunnen worden. Verder pleit het Innovatieplatform ook voor een bundeling van het ICT-onderzoek. In deze zin juicht zij het NIRICT-initiatief van de drie TU's dan ook toe. Zij pleit voor navolging vanuit andere kennisinstituten.

In tabel 2 hebben we een aantal kerncijfers opgenomen over de economische betekenis van de ICT sector zelf in Nederland. We merken daarbij op dat deze cijfers maar een partieel inzicht geven in de werkelijke economische betekenis van de ICT sector. Dit vanwege het feit dat ICT – zie hierboven – een katalysator van economische groei en innovativiteit in andere sectoren vormt.

Tabel 2 Kerncijfers ICT-sector

	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Aantal bedrijven	23.845	23.920	25.220	24.235	27.825	Nb
Aantal vacatures in ICT sector	2.200	2.400	6.000	8.900	12.500	12.400
ICT bestedingen in Nederland (in miljoenen euro's)	53.259	52.945	53.899	55.230	Nb	Nb

Nb = Niet bekend

Bron: CBS, *De Digitale Economie 2007* (2007)

Uit tabel 2 blijkt dat de ICT sector – na een aanvankelijke stagnatie aan het begin van het millennium – de laatste jaren weer in de lift zit. Zo zien we dat het aantal

ICT-bedrijven, het aantal ICT-vacatures en de ICT-bestedingen meer recentelijk een stijgende lijn vertonen. Een onderdeel van de ICT-bestedingen bestaat uit investeringen in ICT-kapitaal (investeringen in hardware, software en netwerken). Volgens gegevens van het CBS (De Digitale Economie 2007) bedroegen de investeringen in ICT-kapitaal in Nederland in 2005 ongeveer 13,5 miljard euro. Dat kwam neer op circa 14% van het totaal volume aan investeringen in Nederland in 2005. Verder blijkt uit De Digitale Economie 2007 de belangrijke rol van de ICT-sector in de R&D-uitgaven. Uit de meest recente cijfers (voor 2004) blijkt uit deze CBS-rapportage namelijk dat de ICT sector goed is voor ongeveer een derde deel van de totale R&D-uitgaven van het Nederlandse bedrijfsleven.

Tabel 3 geeft inzicht in de in- en uitvoer van ICT-goederen en -diensten van Nederland. Daaruit komt naar voren dat Nederland in de periode 1996 tot 2006 de vruchten heeft geplukt van een groeiende handel van ICT-goederen en -diensten. Uit met name de expansieve ontwikkeling van de wederuitvoer van ICT-goederen en diensten blijkt dat Nederland (ook) op ICT-gebied steeds meer een logistieke rol gaat vervullen.

Tabel 3 In- en uitvoer ICT-goederen en -diensten in Nederland, 1996-2006

	1996	2002	2003	2004	2005	2006
Invoer	26.516	48.268	48.460	53.210	56.722	59.536
Uitvoer	7.644	9.597	9.463	9.919	10.195	10.830
Wederuitvoer	17.460	41.312	40.421	45.297	50.011	52.484
Totale uitvoer	25.104	50.909	49.884	55.216	60.206	63.314

Bron: CBS, *De Digitale Economie 2007* (2007)

Consumenten en ICT

In 2007 beschikte driekwart van de Nederlandse huishoudens over breedbandinternet (zie tabel 4). Vanaf 2002 is de beschikbaarheid van breedbandinternet in Nederland fors toegenomen. Wat de penetratie van breedbandinternet betreft, behoort Nederland in Europa dan ook tot de koplopers. Steeds meer huishoudens gebruiken internet ook om aankopen te doen (zie tabel 4). In 2007 heeft ongeveer tweederde deel van de huishoudens internet gebruikt om elektronisch te winkelen. Daarnaast maakte in 2007 72% van de internetgebruikers gebruik van telebankieren. Bovenstaande cijfers illustreren dat ook Nederlandse consumenten steeds meer gebruik gaan maken van verschillende typen ICT-diensten.

Tabel 4 ICT-gebruik van huishoudens en personen (%)

	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Breedbandtoegang	15%	22%	34%	54%	66%	74%
Elektronisch winkelen	40%	45%	52%	55%	61%	66%

Bron: CBS, *De Digitale Economie 2007* (2007)

Toekomstige ontwikkelingen ICT

Hierboven hebben we aandacht besteed aan de recente economische en innovatieve betekenis van de ICT-sector. De verwachting is – zie ook het Zevende Kaderprogramma en het Innovatieplatform (2005) – dat deze sector ook in de komende jaren deze rol zal kunnen blijven vervullen. De inschatting is zelfs dat deze rol nog

verder kan worden uitgebouwd. In het Zevende Kaderprogramma wordt namelijk aangegeven dat Europa in de afgelopen periode achtergebleven is bij de VS bij het verzilveren van de economische kansen die ICT biedt. In deze zin zal binnen Europa dan ook een inhaalslag gemaakt moeten worden. Het Innovatieplatform trekt min of meer eenzelfde conclusie voor de Nederlandse situatie. Doordat ook de ICT-sector in Nederland te maken heeft met de zogenoemde kennisparadox – wel veel hoogwaardige ICT-kennis maar betrekkelijk weinig valorisatie van deze kennis – heeft Nederland in de afgelopen jaren de economische en innovatieve potenties van ICT onvoldoende benut. Daarom concludeert het Innovatieplatform dan ook: 'Het is in Nederland noodzakelijk om ICT als innovatie-as en –versneller in de kennis-economie beter te benutten' (Innovatieplatform, 2005, p. 4).

II. Betrokkenheid bedrijfsleven bij ICT-onderzoeksprogramma's

Hierboven hebben we al gezien dat er zowel vanuit de EU als de nationale overheid veel belang wordt gehecht aan de ICT-sector en -onderzoek. In de navolgende paragraaf zullen we daar nog op terugkomen. We zullen echter eerst aandacht schenken aan een aantal belangrijke ICT-onderzoeksprogramma's in Nederland. Daarbij zullen we ook ingaan op de betrokkenheid van de drie TU's en van het bedrijfsleven. Dit laatste vormt immers een belangrijke indicatie voor de marktrelevantie van dit ICT-onderzoek.

Onderstaande tabel bevat een overzicht van diverse lopende en net afgeronde ICT-onderzoeksprogramma's in Nederland. Dit overzicht is ontleend aan de ICT Agenda 2006-2010 van ICTRegie (2006). In het betreffende overzicht zijn niet alleen de subsidiebedragen opgenomen maar ook de (begrote) bijdragen vanuit het bedrijfsleven. Uit dit overzicht blijkt dat met name vanuit de 'instrumenten' KennisImpuls, Bsik en STW een aanzienlijke cofinanciering vanuit het bedrijfsleven voorzien is. In het navolgende zullen we kort ingaan op een aantal ICT-onderzoeksprogramma's die in onderstaande tabel opgenomen zijn. We zullen daarbij met name inzoomen op programma's waarbij ook het bedrijfsleven in financiële zin betrokken is.

Tabel 5 Programmatisch ICT onderzoek en cofinanciering vanuit het bedrijfsleven (in miljoenen euro's)

Instrument	Programma/ Project	Toegekend subsidiebedrag	Cofinanciering bedrijfsleven
KennisImpuls	ESI	5	5
	Freeband	12,65	12,65
Bsik	BRICKS	15	15
	ESI	25	25
	Freeband	30	30
	ICIS	13,7	13,7
	MultimediaN	16	16
	Smart Surroundings	6,5	6,5
	VL-e	20	20
IOP	GenCom (fase 1)	7	0,05
	MMI (fase 1)	6,2	0
NWO EW	CATCH (fase 1)	6	0
	GLANCE	4	0
	JACQUARD	8,2	0
	ToKeN	6,9	0
	VIEW	4,5	0
	IMIX	2	0
	STEVIN	11,4	0
STW	PROGRESS 1	5,8	5,6
	PROGRESS 2	5,5	3,1
	Sentinels	7,5	2,1
CIC	Doorbraakprojecten	43	
Totaal		261,85	213,2

Bron: ICTRegie (2006)

Vanuit **Bsik** zijn vijf thema's geselecteerd waarvan het ook economisch van groot belang wordt geacht om de Nederlandse kennis- en onderzoekscapaciteit uit te bouwen. Eén van deze thema's is ICT. In totaal wordt er vanuit Bsik voor de periode 2004-2010 ruim 200 miljoen euro ter beschikking gesteld voor ICT-onderzoek. De zwaartepunten van het ICT-onderzoek die vanuit Bsik worden ondersteund, liggen op het gebied van breedbandtechnologie, informatica en software, distributed and embedded systems, Multimedia, ICT-netwerken en 'grids'. Momenteel worden vanuit het Bsik negen projecten ondersteund. Zeven van deze projecten hebben betrekking op ICT-onderzoek terwijl een tweetal projecten – Lofar en GigaPort Next Generation – vooral bedoeld zijn om de ICT-infrastructuur uit te bouwen. Met deze laatste twee projecten is respectievelijk 52 miljoen euro en 40 miljoen euro subsidie vanuit Bsik gemoeid. Van de zeven onderzoeksprojecten zijn twee projecten – namelijk ESI en Freeband – ook vanuit KennisImpuls ondersteund. KennisImpuls vormt overigens de voorloper van Bsik.

We zullen nu, zoals gezegd, enkele programma's of projecten met financiële betrokkenheid van het bedrijfsleven de revue laten passeren. Uit tabel 5 blijkt overigens dat bij de ICT-onderzoeksprogramma's voorzien is dat het bedrijfsleven ruim 200 miljoen euro zal bijdragen. Dit duidt op een duidelijke marktrelevantie van het betreffende programmatische ICT-onderzoek.

Het eerste programma dat we hier aan de orde stellen is **BRICKS**. BRICKS staat voor Basic Research in Informatics for Creating the Knowledge Society. Binnen

BRICKS wordt fundamenteel onderzoek op het gebied van wiskunde en informatie-technologie verricht. Het project heeft een looptijd van 2004 tot 2009. Voorzien is dat zowel vanuit Bsik als het bedrijfsleven 15 miljoen euro zal worden bijgedragen. De drie TU's zijn – naast de Universiteit Utrecht en het CWI – bij dit project als kennisinstellingen betrokken.

Het **Embedded Systems Institute** (ESI) is vanaf 2002 actief. ESI is een publiek-private stichting waarin bedrijven en kennisinstellingen samenwerken op het gebied van onderzoek naar embedded systems. Het initiatief tot de oprichting van het ESI is destijds genomen door de drie TU's, enkele grote hightech bedrijven (Philips, Océ en ASML) en TNO. Vanuit het ESI worden gezamenlijke onderzoeksprojecten met academische en industriële partners uitgevoerd. Hierbij wordt het zogenoemde 'industry-as-laboratory' model gehanteerd. Dit houdt in dat onderzoeksprojecten worden uitgevoerd op basis van cases uit de industriële praktijk. Het ESI heeft zowel vanuit KennisImpuls als vanuit Bsik subsidiemiddelen verkregen ter grootte van in totaal 30 miljoen euro voor onderzoeksprojecten zoals hierboven genoemd. De bedoeling is dat er vanuit het bedrijfsleven een evenredig bedrag zal worden ingebracht.

Het nationale onderzoeksprogramma **Freeband** heeft eveneens financiële ondersteuning vanuit zowel Bsik als KennisImpuls verkregen. In totaal gaat het daarbij om ruim 40 miljoen euro. Freeband zal in 2008 afgerond worden. Net als bij het ESI is het de bedoeling dat het bedrijfsleven (minimaal) een vergelijkbare bijdrage zal leveren. Met Freeband wordt met name onderzoek op het gebied van telecommunicatietechnologie uitgevoerd. Het programma is gericht op vierde generatie (4G) telecommunicatie. De drie TU's zijn nadrukkelijk betrokken bij Freeband. Daarnaast participeren ook kennisinstellingen zoals de Vrije Universiteit, de Erasmus Universiteit, TNO en het CTIT. Voorbeelden van bedrijven die deelnemen aan Freeband zijn Thales, Philips, Logica CMG en KPN.

ICIS staat voor Interactive Collaborative Information Systems. Dit programma – dat voor bijna 14 miljoen euro vanuit Bsik wordt ondersteund – is gericht op onderzoek naar het 'intelligenter' en (daarmee) effectiever maken van complexe informatiesystemen. Ook voor dit project is voorzien dat het bedrijfsleven een evenredige bijdrage zal leveren. De achtergrond van dit project is dat er door de groeiende hoeveelheid informatie een toenemende behoefte gaat ontstaan aan 'instrumenten' die behulpzaam kunnen zijn bij het achterhalen en presenteren van informatie waaraan gebruikers behoefte hebben. ICIS is in 2004 van start gegaan en zal in 2009 worden afgerond. Het consortium van ICIS bestaat uit een vijftal universiteiten – waaronder de TU Delft en de Universiteit Twente – TNO, een aantal bedrijven (zoals Thales, LogicaCMG, Almende BV, Technolution en 4TEC) en de Stichting Neurale Netwerken.

De stichting **MultimediaN** is een publiek-private samenwerking tussen het bedrijfsleven, maatschappelijke instellingen en de wetenschap. De stichting heeft een groot aantal participanten uit wetenschap, bedrijfsleven en maatschappelijke instellingen. Voorbeelden van betrokken partners zijn het Telematica Instituut, TNO, het CWI, Stichting Nederlands Instituut voor Beeld en Geluid, het Nederlands Forensisch Instituut, het Rijksmuseum, Philips, Ilse Media en IBM. Naast de drie TU's nemen de Vrije Universiteit, de Universiteit van Amsterdam, de Universiteit Utrecht deel aan MultimediaN. Vanuit het project van de stichting MultimediaN wordt onderzoek verricht naar nieuwe toepassingen van multimedia die relevant kunnen zijn voor bedrijven die actief zijn op het gebied van multimedia en/of voor maatschappelijke instellingen op het gebied van veiligheid en cultuur. Het project heeft een looptijd van 2004 tot 2008. Qua financiering is voorzien dat zowel Bsik als de participanten in het project van MultimediaN ieder 16 miljoen euro bij zullen dragen.

Uit verschillende verkenningen en roadmaps op het gebied van ICT komt naar voren dat in de toekomst mensen in hun woon- en werkomgeving omringd zullen worden door intelligente (embedded) systemen en flexibele netwerken. Hiermee kan de kwaliteit van de woonomgeving verbeterd worden (denk bijvoorbeeld aan domotica) terwijl deze systemen en netwerken ook kunnen bijdragen aan het verhogen van de productiviteit in de werkomgeving. Binnen het programma **Smart Surroundings** wordt onderzoek gedaan naar dergelijke systemen en netwerken. Naast Bsik zal ook door het bedrijfsleven een bedrag van 6,5 miljoen euro geleverd moeten worden. Het programma is in 2004 van start gegaan en zal in 2009 worden afgerond. Het consortium rondom Smart Surroundings bestaat uit zestien partijen. Vanuit de drie TU's participeren de Universiteit Twente en de TU Delft. Daarnaast doen de buitenlandse universiteiten Lancaster University en University of Karlsruhe mee met Smart Surroundings. Voorbeelden van andere consortiumleden zijn TNO, Philips, Nedap, Roessingh en Océ.

Het **Virtual Laboratory for e-Science** (VL-e) is er op gericht om software (een virtueel laboratorium) te ontwikkelen waarmee onderzoekers snel en eenvoudig hun experimenten in combinatie met computersimulaties kunnen uitvoeren en informatie en kennis kunnen uitwisselen. In feite vormt het VL-e daarmee een virtueel laboratorium voor onderzoekers. Het project richt zich op toepassingsmogelijkheden (virtuele laboratoria) voor de voedingssector, de medische sector, milieu (biodiversiteit), bio-informatica, astronomie en fysica. Het project loopt van 2004 tot 2009. Naast Bsik zal ook het betrokken bedrijfsleven 20 miljoen euro bij moeten dragen. Namens de drie TU's participeert de TU Delft in VL-e. Vanuit het bedrijfsleven zijn bedrijven betrokken zoals Philips, DSM, Unilever, IBM en Logica CMG.

Naast Bsik en Kennisimpuls zijn in de afgelopen jaren ook via **STW** enkele programma's op het gebied van ICT-onderzoek ondersteund. In de eerste plaats kan hier het **PROGRESS-programma** worden genoemd. De term PROGRESS staat daarbij voor PROGRAM for Research on Embedded Systems and Software. PROGRESS is gericht op de bevordering van technisch wetenschappelijk onderzoek op het gebied van embedded software en systemen en de toepassing daarvan door derden. Er zijn 25 onderzoeksprojecten vanuit PROGRESS geïnitieerd (Bureau Bartels, 2007). Bij deze projecten zijn (waren) diverse Nederlandse universiteiten – waaronder met name de drie TU's – betrokken. Het bedrijfsleven heeft niet alleen financieel maar ook inhoudelijk – via participatie in gebruikerscommissies – een bijdrage geleverd. Onder de betrokken bedrijven bevinden (bevonden) zich onder meer Philips, IBM, Océ, Nedap, NXP, Thales, Emdes, Chess, Stork en LogicaCMG. PROGRESS is in 1999 van start gegaan en zal in 2008 worden afgerond. In totaal is er voor ruim 11 miljoen euro aan subsidies verstrekt via PROGRESS. De verwachting is dat de bijdrage vanuit het bedrijfsleven uit zal komen op circa 9 miljoen euro.

Sentinels is een ICT-onderzoeksprogramma op het gebied van veiligheid en privacy. In deze zin hangt dit programma dan ook nauw samen met het thema Security van NIRICT. Met het Sentinels programma wordt beoogd om de expertise van Nederland op het gebied van ICT-veiligheid uit te bouwen. Vanuit Sentinels worden daarom onderzoeksprojecten ondersteund die zich richten op het verbeteren van de veiligheid en de bescherming van allerlei typen ICT-gegevens. Het kan hierbij gaan om gegevens op desktopcomputers, laptops, telefoons, embedded systemen en draadloze netwerken. Sentinels is in 2004 van start gegaan en heeft een looptijd van zeven jaar. Er is 7,5 miljoen euro subsidie gereserveerd voor Sentinels terwijl voorzien is dat het bedrijfsleven zorg zal dragen voor een cofinanciering van minimaal 2 miljoen euro. In de projecten van Sentinels participeren dan ook diverse bedrijven zoals Philips, ATOS Origin, Getronics PinkRoccade, Akzo Nobel, Corus, DSM en de Rabobank. De TU Eindhoven en de Universiteit Twente zijn betrokken bij verschillende onderzoeksprojecten van Sentinels. Daarnaast nemen ook andere kennisinstellingen deel zoals de Vrije Universiteit, het CWI en TNO.

Relevant is verder dat rondom het thema ICT ook enkele aan universiteiten gelieerde kennisnetwerken en onderzoeksscholen opgezet zijn. De drie TU's nemen daarbij een belangrijke plaats in. We zullen dit met een aantal voorbeelden illustreren. In de eerste plaats dient hier dan het **CTIT** (Centre for Telematics and Information Technology) te worden genoemd. Het CTIT is verbonden aan de Universiteit Twente. Het CTIT is het grootste ICT-onderzoeksinstituut van Nederland. In totaal zijn 475 onderzoekers betrokken bij het CTIT. Liaisons van het CTIT zijn onder meer Philips, ASML, Siemens, Shell, KPN, IBM, Nokia en het Telematica Instituut.

De **TU Eindhoven** is de penvoerder van de in 1997 opgerichte onderzoeksschool **IPA**: Instituut voor Programmatuurkunde en Algoritmiek (**IPA**). Naast de TU Eindhoven participeren de **Universiteit Twente**, de Vrije Universiteit, de Universiteit Leiden, de Radboud Universiteit, de Universiteit Utrecht, de Rijksuniversiteit Groningen en de Universiteit van Amsterdam in IPA. Samen met de Vrije Universiteit heeft de **TU Eindhoven** de onderzoeksschool **COBRA** opgezet (Inter-University Research Institute on Communication Technology Basic Research en Applications). COBRA richt zich qua onderzoek onder andere op breedbandcommunicatietechnologie. De **TU Delft** is de penvoerder van de onderzoeksschool Advanced School for Computing and Imaging (**ASCI**). Andere participanten zijn de **Universiteit Twente**, de **TU Eindhoven**, de Universiteit van Amsterdam, de Vrije Universiteit, de Universiteit Leiden, de Rijksuniversiteit Groningen, de Radboud Universiteit en de Universiteit Utrecht. ASCI is in 1995 van start gegaan en verricht onderzoek op het gebied van computersystemen en beeldinformatica.

Het **Telematica Instituut** – dat in 1997 is opgericht – is een vorm van publiek-private samenwerking. Het Telematica Instituut is erkend als Technologisch Topinstituut en wordt dan ook deels gefinancierd vanuit het Ministerie van Economische Zaken. Daarnaast draagt ook het bedrijfsleven bij in de financiering. Het doel van het Telematica Instituut is om fundamenteel onderzoek op het gebied van telematica te vertalen naar marktgerichte toepassingen. De drie TU's participeren in het consortium van het Telematica Instituut. Daarnaast nemen ook andere kennisinstellingen deel zoals de Universiteit Tilburg, de Universiteit Leiden, de Universiteit van Amsterdam, de Radboud Universiteit, TNO en het CWI. Participanten vanuit het bedrijfsleven zijn onder andere Philips, Océ, Vodafone, Corus, DSM, Ericsson en IBM.

Marktrelevantie NIRICT(-thema's)

In de gesprekken met interne betrokkenen bij en externe partners van NIRICT hebben we ook aandacht geschonken aan de marktrelevantie van NIRICT(-thema's). Daarbij zijn we in de eerste plaats nagegaan in hoeverre de directe onderzoekscontacten van (onderzoeksgroepen behorend tot) NIRICT een nationaal dan wel internationaal karakter dragen. Daaruit is naar voren gekomen dat de directe onderzoekscontacten – zoals het uitbesteden van een onderzoeksopdracht en/of het sponsoren van aio's – vooral met het nationale bedrijfsleven verlopen. Voor zover er sprake is van onderzoekscontacten met buitenlandse bedrijven verloopt dit vooral indirect via EU-programma's. Verschillende ICT-onderzoeksgroepen van de drie TU's participeren in dergelijke programma's terwijl daaraan ook buitenlandse bedrijven meedoen.

In de tweede plaats hebben we de geraadpleegde respondenten gevraagd om een inschatting te maken van de relatieve belangstelling en betrokkenheid van het bedrijfsleven voor de afzonderlijke NIRICT-thema's. Daarbij dient opgemerkt te worden dat het gaat om inschattingen van zowel interne als externe respondenten. Geen van de respondenten kon namelijk beschikken over nauwkeurig cijfermateriaal over bijvoorbeeld de omvang van de contractactiviteiten voor de afzonderlijke thema's. We zullen nu de rode draden bespreken die hieruit naar voren zijn geko-

men. Gelet op het voorgaande dient het een en ander als **indicatief** te worden beschouwd.

Over het algemeen verwachten de respondenten dat relatief gezien het bedrijfsleven de meeste interesse heeft voor de NIRICT-thema's 'dependable systems (Ce-DICT)', 'security', 'multimedia and interaction' en 'enterprise information systems'. Ten aanzien van 'dependable systems' en 'enterprise information systems' wordt dit bijvoorbeeld verklaard uit het feit dat informatiesystemen en embedded systems steeds complexer en belangrijker worden. In deze zin worden de gevolgen (en kosten) van het niet adequaat functioneren van dergelijke systemen voor bedrijven dan ook navenant groter. Wat het thema 'multimedia and interaction' betreft wordt naar voren gebracht dat Nederland qua bedrijfsleven beschikt over een sterke multimediasector. Rondom het thema security wordt door diverse respondenten geconstateerd dat het bedrijfsleven – door schade en schande wijs geworden – steeds meer het belang van dit thema gaat onderkennen. Zo staat of valt de verdere ontwikkeling van veel financiële diensten zoals internetbankieren en e-commerce met de veiligheid die aan consumenten kan worden aangeboden.

Relatief gezien plaatsen diverse respondenten wat meer vraagtekens bij de betrokkenheid van het bedrijfsleven bij de NIRICT-thema's 'Ambient Intelligence', 'computernetwerken' en 'breedbandcommunicatie'. Voor ambient intelligence heeft dit voor deze respondenten in de eerste plaats te maken met de relatieve 'nieuwheid' van dit thema waarbij vooralsnog geen baanbrekende doorbraken zijn gerealiseerd. In de optiek van deze respondenten nemen veel bedrijven daardoor nog een afwachtede houding aan. In de tweede plaats speelt mee dat respondenten de term 'ambient intelligence' niet altijd relateren aan sensornetwerken (waar het onderzoek van NIRICT binnen dit thema betrekking op heeft: zie ook schema 1). Ten aanzien van de thema's computernetwerken en breedbandcommunicatie signaleren diverse respondenten dat Nederland in de afgelopen jaren te maken heeft gehad met een 'uitholling' van het daarvoor relevante bedrijfsleven. Daarbij wordt dan met name gewezen op het verdwijnen van (de onderzoeksafdelingen van) Ericsson, Lucent en KPN Research.

Resumé

Uit de voorgaande paragraaf is gebleken dat ICT(-onderzoek) een hoge mate van maatschappelijke relevantie heeft. Een zelfde conclusie kan worden getrokken voor de economische relevantie van ICT(-onderzoek). Zo hebben we gezien dat de ICT sector niet alleen zelf een belangrijke economische sector vormt maar (vooral) ook een cruciale rol speelt bij de economische ontwikkeling en innovatiekracht van andere sectoren. Vanuit het economisch en innovatiebeleid wordt – zowel in Europees als in nationaal verband – dan ook grote betekenis toegekend aan ICT-onderzoek. Het draagvlak voor ICT-onderzoek vanuit de marktsector komt verder ook tot uitdrukking door ICT-onderzoeksprogramma's die in de afgelopen jaren geïnitieerd zijn. Bij diverse van deze programma's is het bedrijfsleven (ook in financiële zin) betrokken. Daarbij hebben we bovendien kunnen constateren dat de drie TU's een prominente rol spelen bij diverse van deze programma's. In de navolgende paragraaf zullen we ingaan op de vraag hoe het ICT-onderzoek van NIRICT ingebed is in Europese en nationale onderzoeksagenda's.

4. Inbedding NIRICT in Europese en nationale onderzoeksagenda's

In de voorgaande paragrafen hebben we respectievelijk de maatschappelijke en marktrelevantie van ICT(-onderzoek) vastgesteld. In deze paragraaf zullen we nagaan in hoeverre er sprake is van aansluiting van NIRICT bij Europese en nationale ICT-onderzoeksagenda's. Het gaat hierbij om onderzoeksagenda's die als doel hebben om de maatschappelijke en economische potenties van ICT naar de toekomst

zo goed mogelijk te benutten. We beginnen met een aantal belangrijke Europese onderzoeksagenda's.

I. Europese dimensie

In het **Zevende Kaderprogramma** (Commissie van Europese Gemeenschappen, 2005) heeft de Europese Unie haar beleid op het gebied van onderzoek, technologische ontwikkeling en demonstratie voor de periode 2007-2013 vastgesteld. In het Kaderprogramma wordt een viertal programma's onderscheiden: Samenwerking, Ideeën, Mensen en Capaciteiten. Qua financieel volume is het programma Samenwerking verreweg het meest omvangrijk, namelijk circa 44 miljard euro. Binnen dit programma zijn vervolgens weer negen thema's gedefinieerd waarvan 'Informatie – en communicatietechnologieën' één van deze thema's vormt. Uit de (indicatieve) begroting blijkt dat de EU van de negen thema's binnen het programma Samenwerking verreweg de meeste onderzoeksmiddelen gereserveerd heeft voor ICT-onderzoek. Dit onderbouwd nog eens het belang dat de EU hecht aan ICT(-onderzoek).

In het Zevende Kaderprogramma wordt de prioritaire positie van ICT-onderzoek ook expliciet onderbouwd. Zo wordt in het Kaderprogramma aangegeven dat onderzoek uitgewezen heeft dat productiviteitsstijgingen in de economie voor de helft gerelateerd zijn aan de effecten van ICT op producten, diensten en bedrijfsprocessen. Het rendement van ICT-onderzoek strekt zich daarmee dan ook breder uit dan alleen de ICT sector zelf. In het Zevende Kaderprogramma wordt daarmee onderkend dat de concurrentiepositie van de Europese – en daarmee ook Nederlandse – economie in belangrijke mate wordt bepaald door (nieuwe kennis en toepassingen op het gebied van) ICT: 'De ICT is de belangrijkste factor voor de vergroting van het innovatievermogen en de creativiteit en voor de beheersing van veranderingen in de waardeketens in de industrie en de dienstensector' (Commissie van Europese Gemeenschappen, 2005, pag. 21). Verder wordt in het Kaderprogramma ook gewezen op het grote belang van ICT voor maatschappelijke vraagstukken (zoals veiligheid, milieu, onderwijs, vervoer, energie) en het katalyserende effect van ICT (onderzoek) op de voortgang in andere wetenschaps- en technologiegebieden. Ondanks het grote belang van ICT-onderzoek constateert de EU dat de inspanningen op dit terrein in Europees verband achterblijven. Daardoor is een 'hernieuwde en intensievere gezamenlijke inspanning op Europees niveau' noodzakelijk.

In het Zevende Kaderprogramma worden rondom het thema ICT een viertal verschillende typen prioriteiten voorzien. Drie van deze prioriteiten zijn wetenschappelijk/technologisch van aard³³. Eén van deze drie prioriteiten – 'technologieën van de toekomst of in opkomst' – wordt in het Kaderprogramma slechts summier beschreven³⁴. De twee andere wetenschappelijke/technologische ICT-prioriteiten worden in het Zevende Kaderprogramma meer uitgewerkt en zijn in schema 2 opgenomen. In dat schema hebben we tevens aangegeven hoe de thema's van het CoC NIRICT

³³ De vierde prioriteit betreft 'Toepassingsonderzoek' en heeft, zoals de naam al aangeeft, vooral betrekking op het toepassen van ICT in industriële processen, bij maatschappelijke vraagstukken en voor persoonlijke ontplooiing. Overigens wordt er vanuit het NIRICT ook voorzien in valorisatie en toepassing van ICT. Zo is bijvoorbeeld het LaQuSo (Laboratory for Quality Software) opgezet. Bedrijven kunnen de kwaliteit en betrouwbaarheid van de door hen ontwikkelde software laten testen bij LaQuSo. Verder is het de bedoeling dat er vanuit NIRICT een Design Lab en een Smart Environment Lab opgezet gaan worden. Met het Design Lab wordt beoogd om een design platform op te richten met bijbehorende 'good practices' van design en methoden/technieken voor design zodat ook het (MKB-)bedrijfsleven hiermee in staat wordt gesteld om een ontwerp voor heterogene systemen te ontwikkelen. Het Smart Environment Lab heeft als ambitie om nieuwe technieken op het gebied van ambient intelligence en Multi-modale interactie in een realistische omgeving te testen.

³⁴ In het Zevende Kaderprogramma wordt namelijk als toelichting bij deze prioriteit gegeven: 'ondersteuning van grensverleggend onderzoek naar belangrijke ICT en de combinatie ervan met andere relevante terreinen en disciplines; het koesteren van innovatieve ideeën en radicaal nieuwe gebruiksvormen, en het verkennen van nieuwe mogelijkheden voor routekaarten voor het ICT-onderzoek'.

gerelateerd zijn aan deze EU-prioriteiten. We hebben dat afgeleid aan de hand van onder andere analyses van schriftelijke documenten over de inhoud van het onderzoek binnen NIRICT en de resultaten van de door ons gevoerde gesprekken met vertegenwoordigers van NIRICT. Een vergelijkbare aanpak hebben we overigens ook gevolgd in de andere schema's over de samenhang tussen NIRICT en ICT-onderzoeksagenda's die hieronder nog aan bod zullen komen.

Schema 2 Relatie ICT prioriteiten zevende Kaderprogramma en NIRICT-thema's

EU PRIORITEITEN EN AANDACHTSGEBIEDEN	NIRICT-THEMA'S
I. TECHNOLOGISCHE PIJLERS VAN DE ICT	
NANO-ELEKTRONICA, FOTONICA EN GE-INTEGREERDE MICRO/NANO-SYSTEMEN	- BREEDBANDCOMMUNICATIE
ALOM TOEGANKELIJKE COMMUNICATIE-NETWERKEN MET ONBEGRENSDE CAPACITEIT	- COMPUTERNETWERKEN - BREEDBANDCOMMUNICATIE
INGEBEDDE SYSTEMEN, COMPUTERS EN BESTURING	- DEPENDABLE SYSTEMS (CEDICT) - AMBIENT INTELLIGENCE
SOFTWARE, GRIDS, VEILIGHEID EN BETROUWBAARHEID	- DEPENDABLE SYSTEMS (CEDICT) - SECURITY - ENTERPRISE INFORMATION SYSTEMS
KENNISSYSTEMEN, COGNITIEVE SYSTEMEN EN LEERSYSTEMEN	- AMBIENT INTELLIGENCE - MULTIMEDIA AND INTERACTION - ENTERPRISE INFORMATION SYSTEMS
SIMULATIE, VISUALISERING, INTERACTIE EN GEMENGDE REALITEIT	- MULTIMEDIA AND INTERACTION
II. INTEGRATIE VAN TECHNOLOGIEËN	
PERSOONLIJKE OMGEVINGEN	- COMPUTERNETWERKEN - SECURITY - AMBIENT INTELLIGENCE
THUISOMGEVINGEN	- COMPUTERNETWERKEN - AMBIENT INTELLIGENCE - MULTIMEDIA AND INTERACTION - SECURITY
ROBOTSYSTEMEN	- DEPENDABLE SYSTEMS (CEDICT) - AMBIENT INTELLIGENCE - MULTIMEDIA AND INTERACTION
INTELLIGENTE INFRASTRUCTUREN	- DEPENDABLE SYSTEMS (CEDICT) - ENTERPRISE INFORMATION SYSTEMS

Er kan uit het bovenstaande schema een aantal conclusies worden getrokken. De eerste – en meest belangrijke – conclusie is dat de thema's van het CoC NIRICT goed aansluiten bij de prioriteiten en aandachtsgebieden zoals die vanuit het Zevende Kaderprogramma voor ICT geformuleerd zijn. Verder zien we dat alle thema's van het CoC NIRICT relevant zijn vanuit het perspectief van het Zevende Kaderprogramma. Er zijn wat dit betreft dan ook geen NIRICT-thema's die 'buiten de Zevende Kader boot vallen'. In de derde plaats kan worden geconcludeerd dat alle NIRICT-thema's relevant zijn voor meerdere prioriteiten en aandachtsgebieden zoals die vanuit het zevende Kaderprogramma voor ICT-onderzoek onderscheiden worden. Ook dit duidt in feite nog eens op de nauwe samenhang tussen het Kaderprogramma en de thema's van het CoC NIRICT.

In Europees verband zijn in de afgelopen jaren verschillende zogenoemde TechnologiePlatforms van de grond gekomen. Enkele platforms hebben betrekking op – of zijn vrij sterk gerelateerd aan – ICT. We zullen deze platforms nu successievelijk de revue laten passeren. Daarbij zullen we ook aandacht schenken aan de vraag hoe de roadmaps die vanuit de TechnologiePlatforms opgezet zijn zich verhouden tot NIRICT. Schema 3 geeft een overzicht van de Europese TechnologiePlatforms die op het gebied van ICT met name relevant zijn voor NIRICT.

Schema 3 Relevante TechnologiePlatforms voor NIRICT

EUROPEES TECHNOLOGIEPLATFORM	CENTRAAL ONDERWERP
EMOBILITY	MOBIELE COMMUNICATIE
ARTEMIS	EMBEDDED SYSTEMS
NEM	GENETWERKTE EN ELEKTRONISCHE MEDIA
NESSI	SOFTWARE & SERVICES

In de eerste plaats kan hier het TechnologiePlatform **eMobility** worden genoemd. Vanuit eMobility is eind 2007 een Strategic Research Agenda – Staying ahead with SET (Simplicity, Efficiency and Trust) – opgesteld. Daaruit blijkt dat het belang van mobiele en draadloze communicatie fors toeneemt en naar verwachting in 2020 een centrale rol zal spelen voor alle Europese burgers. Uit informatie op de website van dit platform (www.emobility.eu.org) blijkt dat er op dit moment al meer mobiele apparaten aangesloten zijn op internet dan vaste computers. In de periode 2003 tot 2007 is het aantal draadloze aansluitingen op internet (laptops, telefoons, et cetera) gegroeid van 1,3 miljard naar 1,8 miljard. De verwachting is dat deze groei zich ook in de komende periode versterkt zal voortzetten. Daarbij wordt geraamd dat de werkgelegenheid in de mobiele en draadloze sector wereldwijd zal groeien van 4 miljoen personen nu naar 10 miljoen personen in 2010.

In de SRA van e-Mobility wordt een vijftal majeure onderzoeksuitdagingen met bijbehorende onderzoeksgebieden geïdentificeerd. We zijn nagegaan in hoeverre deze uitdagingen en onderzoeksgebieden raakvlakken hebben met het type onderzoek zoals dat binnen NIRICT plaatsvindt en voorzien is. Daarbij hebben we enerzijds de resultaten van de deskresearch benut terwijl we anderzijds ook gebruik hebben gemaakt van de uitkomsten van de gesprekken met vertegenwoordigers van NIRICT.

In schema 4 hebben we de vijf majeure onderzoeksuitdagingen opgenomen zoals die in de SRA van eMobility onderscheiden worden. Verder hebben we in dit schema

weergegeven welke NIRICT-thema's een relatief sterke inhoudelijke samenhang hebben met deze onderzoeksuitdagingen. Daaruit komt de sterke inhoudelijke samenhang tussen NIRICT en eMobility duidelijk naar voren. Zo blijkt dat alle onderzoeksthema's van NIRICT een plaats hebben in dit SRA.

Schema 4 Inhoudelijke samenhang SRA eMobility en NIRICT

ONDERZOEKSUITDAGING EMOBILITY	INHOUDELIJKE SAMENHANG NIRICT-THEMA'S
SEAMLESS USER EXPERIENCE FOR ALL AGES	- AMBIENT INTELLIGENCE - COMPUTERNETWERKEN - MULTIMEDIA AND INTERACTION
TRUST, SECURITY AND DEPENDABILITY	- CELECT (DEPENDABLE SYSTEMS) - SECURITY
UBIQUITOUS SERVICES	- AMBIENT INTELLIGENCE - MULTIMEDIA AND INTERACTION - COMPUTERNETWERKEN - SECURITY
UBIQUITOUS CONNECTIVITY	- BREEDBANDCOMMUNICATIE - COMPUTERNETWERKEN
NEW AND FLEXIBLE BUSINESS MODELS	- ENTERPRISE INFORMATION SYSTEMS

Een tweede TechnologiePlatform dat duidelijke raakvlakken heeft met NIRICT is **ARTEMIS**: Advanced Research & Technology for Embedded Intelligence and Systems. Zoals uit de naamgeving al blijkt, is dit platform gericht op Embedded Systems. In de SRA van ARTEMIS (2006) wordt gewezen op de groeiende betekenis van Embedded Systems. Zo wordt bijvoorbeeld aangegeven dat 90% van de 'computing devices' zich niet in pc's bevinden maar in Embedded Systems (in auto's, vliegtuigen, medische apparatuur, enzovoort). Ook is de verwachting dat het aantal Embedded Systems mondiaal sterk zal groeien tot 16 miljard in 2010 en 40 miljard in 2020. Hiermee samenhangend wordt de toegevoegde waarde van apparatuur in steeds sterkere mate bepaald door Embedded Systems. In de SRA wordt verder aangegeven dat Europa wat Embedded Systems betreft over een sterke concurrentiepositie beschikt. Om deze positie te handhaven en zo mogelijk verder uit te bouwen is intensivering van het fundamenteel en toegepast onderzoek op het terrein van Embedded Systems echter noodzakelijk.

Uit de onderzoeksuitdagingen die in de SRA van ARTEMIS worden geïdentificeerd blijkt er op diverse punten sprake te zijn van een nauwe relatie met NIRICT(-thema's). Zo wordt in de SRA gesignaleerd dat – vanwege het toenemende belang en de complexiteit van Embedded Systems – intensivering van de onderzoeksinspanningen op het gebied van '**Dependability**' en '**Security**' wenselijk zijn. 'Increased public awareness about their dependence on Embedded Systems will raise expectations, but will also raise concerns about potential failures and about safety, privacy and security. This places a high value on the dependability of Embedded Systems, on their quality, and on privacy issues related to their use' (ARTEMIS, 2006, pag. 7).

Verder wordt in de SRA van ARTEMIS gesignaleerd dat er naar de toekomst steeds meer de situatie zal ontstaan waarbij verschillende typen ('heterogene') Embedded Systems met elkaar – en met mensen – zullen moeten communiceren. De onderzoeksuitdagingen die hieruit voortvloeien hangen nauw samen met de NIRICT-thema's '**computernetwerken**', '**Ambient Intelligence**' en '**Multimedia and Interaction**'. Zo wordt in de SRA gesteld dat 'To support this capability, Embedded Systems will have to be 'network enabled' and incorporate capabilities of self-management and self-supervision as well as mechanisms to auto-recover from failures'. (ARTEMIS, 2006, pag. 13). Deze aspecten staan ook centraal in het onderzoek zoals dat binnen NIRICT met name vanuit het thema computernetwerken plaatsvindt. Verder heeft ARTEMIS als ambitie voor 2016: 'ARTEMIS will have achieved the cross-domain connectivity and communication capabilities necessary to realise the seamless interoperability between the 'Ambient Intelligent Environments' envisaged for the European citizen' (ARTEMIS, 2006, pag. 17). Deze ambitie is nauw gerelateerd aan de NIRICT-thema's 'Ambient Intelligence' en 'computernetwerken'. De relatie met het NIRICT-thema 'Multimedia and Interaction' blijkt bijvoorbeeld uit de volgende onderzoeksuitdaging die in ARTEMIS wordt geformuleerd: 'New ways of interfacing with the natural and the man-made environment, and in particular more intuitive ways for humans to interact with both technical systems and each other' (ARTEMIS, 2006, pag. 21).

Een derde – voor NIRICT relevant – TechnologiePlatform is '**Networked & Electronic Media (NEM)**'. Ook vanuit dit platform is – in 2007 – een SRA opgesteld. NEM is gericht op elektronische media in brede zin. Daarbij kan worden gedacht aan audiovisuele diensten zoals telefonie en televisie, maar ook aan nieuwe interactieve media die ingezet kunnen worden in het onderwijs, entertainment of voor informatievoorziening. In de Vision en de SRA van NEM wordt onderbouwd dat de NEM sector grote economische perspectieven biedt. De onderzoeksuitdagingen die in NEM worden geïdentificeerd sluiten in de eerste plaats zeer nauw aan bij het thema **Multimedia and Interaction** van NIRICT. Immers, binnen dit thema van NIRICT (zie bijvoorbeeld schema 1) wordt eveneens onderzoek verricht naar nieuwe methoden voor de generatie, gebruik en presentatie van – en zoekmethoden voor – multimedia alsmede onderzoek naar (intelligente) interactie met gebruikers. In de tweede plaats is er sprake van een duidelijke relatie met de thema's '**breedbandcommunicatie**', '**computernetwerken**' en '**Ambient Intelligence**' van NIRICT. Zo wordt in de SRA van NEM bijvoorbeeld gesignaleerd dat breed beschikbare en goed toegankelijke computernetwerken en breedbandcommunicatie essentieel zijn om de gebruiker altijd en overal toegang te bieden tot verschillende typen multimedia diensten. De verwachting van het NEM SRA is overigens dat deze situatie in 2015 in Europa gerealiseerd zal zijn ('electronic media as a ubiquitous service'). Ambient Intelligence is van belang om het aanbod van deze diensten zo veel mogelijk te doen aansluiten bij de wensen en behoeften die een gebruiker op een bepaald moment en op een bepaalde plaats heeft. In de derde plaats komt uit de NEM SRA ook het belang van het (NIRICT-)thema **security** naar voren. Gebruikers moeten er op kunnen rekenen dat bij het gebruik van multimediadiensten de vertrouwelijkheid gewaarborgd wordt. Ditzelfde geldt voor de eigendomsrechten van aanbieders van deze diensten. In feite zijn (NIRICT-)thema's als breedbandcommunicatie, computernetwerken, Ambient Intelligence en Security daarmee bepalende factoren voor het succes van verschillende typen multimediadiensten.

Een vierde relevant TechnologiePlatform is **NESSI (Networked European Software & Services Initiative)**. NESSI is – zoals uit de naam al blijkt – vooral gericht op software-ontwikkeling en (ICT-)dienstverlening. Vanuit NESSI is een Vision (2005) opgesteld en is de SRA in ontwikkeling (2007). In de Vision van NESSI wordt allereerst het belang van de sector 'software and IT-services' onderbouwd. Daarbij wordt bijvoorbeeld aangegeven dat in directe zin binnen Europa momenteel meer dan een miljoen mensen werkzaam zijn binnen deze sector. Daarnaast draagt

deze sector bij aan een aanzienlijke economische spin-off richting andere sectoren zoals aan het realiseren van productiviteitsstijgingen in andere sectoren (zie ook paragraaf 3).

In de Vision van NESSI worden ook richtingen van onderzoeksuitdagingen voor de sector software en IT-services uitgewerkt. Uit een nadere analyse daarvan blijkt dat er inhoudelijke raakvlakken zijn met onderzoek zoals dat ook vanuit NIRICT plaatsvindt. Dit geldt dan in de eerste plaats voor de NIRICT-thema's '**Dependable Systems (CeDICT)**' en '**Enterprise Information Systems**'. In de Vision en SRA van NESSI wordt namelijk geconstateerd dat 'software quality and reliability' belangrijke onderzoeksuitdagingen vormen voor de sector software en IT-services. Dit zijn onderzoeksuitdagingen die ook in de zojuist genoemde NIRICT-thema's een centrale plaats innemen. Bovendien richt ook het **LaQuSo** van NIRICT (zie hiervoor) zich specifiek op het toetsen van de kwaliteit en betrouwbaarheid van software. Verder ziet NESSI 'trust and security' – het NIRICT-thema '**Security**' – als een belangrijke onderzoeksuitdaging'. Zo wordt in de NESSI Vision bijvoorbeeld signaleerd dat 'Concern over security is possibly the most significant barrier to acceptance of IT-services and digital services' (NESSI, 2005, pag. 16).

NIRICT en EU-programma's

In de gesprekken met interne en externe betrokkenen hebben we ook aandacht geschonken aan de vraag in hoeverre deze personen kansen voor NIRICT zien om (nog) meer dan nu het geval is te participeren in EU-programma's. Op zich zien verschillende respondenten daartoe wel mogelijkheden. Daarbij worden echter wel enkele randvoorwaarden benoemd waaraan NIRICT zal moeten voldoen. In de eerste plaats wordt daarbij gewezen op het feit dat de samenwerking binnen NIRICT nog verder uitgebouwd zal moeten worden zodat NIRICT vaker als samenwerkingsverband opgevoerd gaat worden. Op de achtergrond daarvan zijn we in paragraaf 2 al ingegaan. In de tweede plaats constateren diverse respondenten dat het van belang is om vooral ook bedrijven een actieve rol te laten vervullen als 'pleitbezorgers' van het belang van projectvoorstellen voor EU-programma's. Om dit te realiseren zouden de drie TU's enerzijds natuurlijk hun eigen contacten met bedrijven kunnen mobiliseren. Anderzijds liggen hier wellicht nog kansen door het intensiveren van de samenwerking met partijen zoals het Telematica Instituut en TNO. In de derde plaats achten een aantal respondenten het zinvol dat NIRICT samenwerking met NIRICT-achtige netwerken in andere Europese landen versterkt. Dit om dan vervolgens gezamenlijk op te trekken bij het indienen van projectvoorstellen voor Europese programma's.

II. Nationale dimensie

Ook in Nederland wordt, zoals in paragraaf 3 naar voren is gekomen, groot belang gehecht aan ICT(-onderzoek). Zo heeft het InnovatiePlatform ICT als innovatie-as gedefinieerd. Het InnovatiePlatform zit daarmee in feite op hetzelfde spoor als het Zevende Kaderprogramma. Enerzijds onderkent het InnovatiePlatform hiermee namelijk de belangrijke economische rol van de ICT-sector zelf. Anderzijds onderschrijft het InnovatiePlatform het belang van (toepassing van) ICT voor de versterking van de concurrentiepositie van andere economische sectoren en voor de aanpak van belangrijke maatschappelijke vraagstukken.

Wat deze maatschappelijke vraagstukken betreft is vanuit het vorige kabinet het Actieprogramma '**Maatschappelijke Sectoren & ICT**' (2005) voor de periode 2005-2009 opgesteld. Met dit actieprogramma wordt enerzijds beoogd om de economische potenties van de ICT-sector verder uit te bouwen. Anderzijds is de ambitie van dit programma om ICT beter te benutten voor het aanpakken van belangrijke maatschappelijke vraagstukken. Daarbij gaat het met name om maatschappelij-

ke vraagstukken op het gebied van mobiliteit, onderwijs, zorg en veiligheid. In het actieprogramma worden daartoe verschillende actielijnen onderscheiden die we in het navolgende schema opgenomen hebben. Daarbij hebben we ook aangegeven hoe de thema's van NIRICT gerelateerd zijn aan deze actielijnen. We hebben daarbij gebruik gemaakt van de resultaten van de deskresearch en de door ons gevoerde gesprekken met betrokkenen bij NIRICT.

Schema 5 Samenhang NIRICT-thema's en actieprogramma 'Maatschappelijke Sectoren & ICT'

MAATSCHAPPELIJKE VRAAGSTUKKEN MET ACTIELIJNEN	RELATIE MET NIRICT-THEMA'S
I. MOBILITEIT	
- EEN BETERE BEREIKBAARHEID VAN STEDELIJKE GEBIEDEN - VERBETERING GEGEVENSSTROMEN VOOR DISTRIBUTIE OVER WATER - VERHOOGING VAN DE VERKEERSVEILIGHEID	- DEPENDABLE SYSTEMS (CEDICT) - COMPUTERNETWERKEN
II. ONDERWIJS	
- VERGROTEN EXPERTISE EN EFFECTIEF GEBRUIK VAN BREEDBAND DOOR SCHOLEN - STIMULEREN VAN INNOVATIEVE CONTENT EN DIENSTEN - PRIKKELLEN TOT EEN LEVEN LANG LEREN - RENDEMENTSVERHOOGING VAN HET ONDERWIJS DOOR VERBETERING INFORMATIEHUISHOUDING	- BREEDBANDCOMMUNICATIE - MULTIMEDIA & INTERACTION - ENTERPRISE INFORMATION SYSTEMS
III. VEILIGHEID	
- EFFICIËNTER GEBRUIK VAN SENSOREN VOOR VEILIGHEID EN OPSPORING - INFORMATIE-UITWISSELING IN VEILIGHEIDSKETENS - VERHOGEN VAN VEILIGHEID DOOR INNOVERENDE TECHNOLOGIEËN	- DEPENDABLE SYSTEMS (CEDICT) - SECURITY - COMPUTERNETWERKEN
IV. ZORG	
- KETENZORG ONLINE GEDEMONSTREERD - INNOVATIEF FINANCIEREN - ONTSLUITEN EN UITWISSELEN VAN GEGEVENS VOOR EEN BETERE ZORG - DREMPELVREES WEGNEMEN BIJ ZORGVRAGERS EN ZORGVERLENERS	- DEPENDABLE SYSTEMS (CEDICT) - ENTERPRISE INFORMATION SYSTEM - AMBIENT INTELLIGENCE - COMPUTERNETWERKEN

Uit de resultaten van schema 5 blijkt dat de thema's van NIRICT goed aansluiten bij het Actieprogramma 'Maatschappelijke sectoren & ICT'. De onderzoeksthema's die

door NIRICT worden onderscheiden, zijn relevant voor de verschillende actielijnen en (daarmee) voor belangrijke maatschappelijke vraagstukken zoals die in dit actieprogramma worden onderscheiden. Overigens zijn deze nationale maatschappelijke vraagstukken goed vergelijkbaar met de maatschappelijke thema's die in Europees verband in het Zevende Kaderprogramma worden onderscheiden (zie hierboven).

Hiervoor hebben we al aandacht geschonken aan de inbedding van NIRICT in Europese onderzoeksagenda's zoals die in het Zevende Kaderprogramma en een aantal ICT-gerelateerde TechnologiePlatforms uitgezet zijn. Wat de nationale inbedding betreft hebben de belangrijkste partijen die betrokken zijn bij het ICT-onderzoek³⁵ in 2005 een gezamenlijke ICT-onderzoeksagenda opgesteld: 'Met Vaste Hand. Nationale Onderzoeksagenda Informatie- en Communicatietechnologie (NOAG-ict) 2005-2010'. In deze zin is dus sprake van een breed gedragen ICT-onderzoeksstrategie. Het belang en de relevantie van **NOAG-ict 2005-2010** wordt overigens ook vanuit ICTRegie onderschreven. Om invulling te geven aan haar ambities heeft ICTRegie het 'Strategisch Plan ICT Regie 2005-2010' opgesteld. In dit Strategisch Plan geeft ICTRegie aan dat zij ten aanzien van het wenselijke ICT-onderzoek (kennisaanbod) aansluit bij NOAG-ict 2005-2010.

In het NOAG-ict 2005-2010 zijn negen kansrijke onderzoeksthema's op het gebied van ICT geïdentificeerd. Kansrijk heeft dan betrekking op 'veelbelovende onderzoeksrichtingen voor innovatie'. In het navolgende schema hebben we deze thema's samengevat. Daarbij zijn we nagegaan hoe de kansrijke onderzoeksthema's van NOAG-ict zich verhouden tot de thema's van NIRICT. Net als in het voorgaande hebben we daarbij gebruik gemaakt van de resultaten van de deskresearch en de door ons gevoerde gesprekken met betrokkenen bij NIRICT.

Schema 6 Samenhang NOAG-ict 2005-2010 en het CoC NIRICT

ONDERZOEKSTHEMA'S NOAG-ICT	RELATIE MET THEMA'S COC NIRICT
1. DE COMPUTER VAN DE TOEKOMST	
2. DE DATA-EXPLOSIË	- MULTIMEDIA AND INTERACTION - ENTERPRISE INFORMATION SYSTEMS
3. DIGITALE BELEVING	- MULTIMEDIA AND INTERACTION
4. DIGITALE VEILIGHEID	- DEPENDABLE SYSTEMS (CEDICT) - SECURITY
5. DE GENETWERKTE WERELD	- COMPUTERNETWERKEN - BREEDBANDCOMMUNICATIE
6. INTELLIGENTE SYSTEMEN	- AMBIENT INTELLIGENCE - MULTIMEDIA AND INTERACTION
7. METHODEN VOOR ONTWERPEN EN BOUWEN	- DEPENDABLE SYSTEMS (CEDICT) - ENTERPRISE INFORMATION SYSTEMS
8. DE ONZICHTBARE COMPUTER	- COMPUTERNETWERKEN

³⁵ Het gaat hierbij om het ICT-onderzoek Platform Nederland (IPN), de adviescommissie Informatica van het NWO-gebied Exacte Wetenschappen en de technologiestichting STW.

9. HET VIRTUELE LABORATORIUM

Aan de hand van de resultaten van schema 6 kan worden geconcludeerd dat (de thema's van) het CoC NIRICT eveneens goed 'ingebed' is (zijn) in de nationale onderzoeksagenda op het gebied van ICT: NOAG-ict 2005-2010. Overigens is dit ook niet echt verwonderlijk vanwege het feit dat het NOAG-ict op zichzelf sterk gerelateerd blijkt te zijn aan het Zevende Kaderprogramma (IPN, NWO-EW en STW, 2005, pag. 30). En hierboven hebben we al gezien dat het CoC NIRICT ook goed ingebed is in dit Kaderprogramma.

Vanuit ICTRegie wordt overigens ook expliciet gewezen op het belang van NIRICT voor het realiseren van de nationale ambities op het gebied van ICT-onderzoek. 'ICTRegie is verheugd over de beoogde samenwerking tussen de drie Technische Universiteiten op het gebied van ICT. Het zal hen ondersteunen bij het verkrijgen van financiering voor het samenwerkingsverband dat de naam NIRICT draagt. Dit initiatief past in de door ICTRegie voorgestane vergroting van focus en massa in het onderzoek. Het NIRICT kan een belangrijke plaats innemen in het onderzoeks- en innovatielandschap, met het accent op strategisch, door thema's gedreven onderzoek' (ICTRegie, 2005, pag. 24).

In het **Strategisch Plan van ICTRegie** (2005) wordt naast het kennisaanbod ook aandacht geschonken aan de vraagzijde van ICT. Daarbij worden twaalf toepassingsgebieden onderscheiden. Vier gebieden hebben betrekking op de sleutelgebieden zoals die door het InnovatiePlatform geïdentificeerd zijn. Eveneens vier toepassingsgebieden zijn ontleend aan het actieprogramma 'Maatschappelijke Sectoren & ICT' dat we hierboven besproken hebben. Nog eens vier toepassingsgebieden zijn door ICTRegie gekozen vanwege het feit dat het hier gaat om snel groeiende ICT-markten. Per saldo levert dit het beeld van toepassingsgebieden op zoals die in schema 7 vervat zijn. We hebben ook voor de toepassingsgebieden van ICTRegie in kaart gebracht wat belangrijke relaties met de onderzoeksthema's van NIRICT zijn. Of, anders geformuleerd, hoe onderzoek vanuit de verschillende onderzoeksthema's van NIRICT bij kan dragen aan de betreffende toepassingsgebieden. We hebben daarvoor – net als bij de bovenstaande exercities – zowel gebruik gemaakt van de resultaten van de deskresearch als van de uitkomsten van de door ons gevoerde gesprekken met vertegenwoordigers van NIRICT.

Schema 7 Relevantie NIRICT-thema's voor toepassingsgebieden ICTRegie

TOEPASSINGSGEBIED ICTREGIE	RELEVANTE NIRICT-THEMA'S
HIGH TECH SYSTEMEN EN MATERIALEN	DEPENDABLE SYSTEMS (CEDICT)³⁶
CREATIEVE INDUSTRIE	MULTIMEDIA AND INTERACTION
FOOD & FLOWERS	MULTIMEDIA AND INTERACTION COMPUTERNETWERKEN³⁷
WATER	DEPENDABLE SYSTEMS (CEDICT) COMPUTERNETWERKEN³⁸
GEZONDHEIDSZORG (SMART HEALTH SURROUNDINGS, KENNISMANAGEMENT EN BEELDDIAGNOSTIEK EN BEELDGE-STUURDE BEHANDELING, ZORG OP MAAT)	AMBIENT INTELLIGENCE MULTIMEDIA AND INTERACTION ENTERPRISE INFORMATION SYSTEMS COMPUTERNETWERKEN
VEILIGHEID	DEPENDABLE SYSTEMS (CEDICT) SECURITY COMPUTERNETWERKEN
ONDERWIJS	BREEDBANDCOMMUNICATIE MULTIMEDIA AND INTERACTION
MOBILITEIT	DEPENDABLE SYSTEMS COMPUTERNETWERKEN
AMBIENT INTELLIGENCE	AMBIENT INTELLIGENCE
PRODUCTSOFTWARE	DEPENDABLE SYSTEMS (CEDICT) ENTERPRISE INFORMATION SYSTEMS³⁹
ENTERPRISE INFORMATION SYSTEMS	ENTERPRISE INFORMATION SYSTEMS
SERVICES SCIENCE	BREEDBANDCOMMUNICATIE COMPUTERNETWERKEN SECURITY ENTERPRISE INFORMATION SYSTEMS⁴⁰

Aan de hand van de resultaten zoals die in schema 7 opgenomen zijn kunnen we concluderen dat de NIRICT-onderzoeksthema's relevant zijn voor de kansrijke toepassingsgebieden voor ICT zoals die door ICTRegie geïdentificeerd zijn. We zien bovendien dat (ook hier) elk van de NIRICT-thema's relevant is voor meerdere toepassingsgebieden.

³⁶ Betrouwbaarheid van embedded software in high tech systemen is een belangrijk aandachtspunt.

³⁷ Met multimediatechnologie kan b.v. de waarde van een partij bloemen worden vastgesteld. Sensor-technologie (computernetwerken) kan een rol spelen bij logistieke processen.

³⁸ Sensortechnologie kan een rol spelen bij waterbeheersing.

³⁹ De onderzoeksthema's Dependable Systems en EIS kunnen een rol spelen bij het ontwerpen en het verbeteren van de kwaliteit van productsoftware.

⁴⁰ Breedbandcommunicatie, computernetwerken en security faciliteren het toepassingsgebied services science. EIS speelt een rol bij het optimaliseren van bedrijfsprocessen bij dit toepassingsgebied.

Resumé

Uit het bovenstaande is gebleken dat NIRICT (qua onderzoeksthema's) goed ingebed is in verschillende Europese en nationale ICT-onderzoeksagenda's. Deze agenda's hebben als ambitie om het ICT-onderzoek zodanig in te richten en te 'sturen' dat daarmee de maatschappelijke en economische potenties van ICT zo goed mogelijk worden benut. Per saldo kan dan ook worden geconcludeerd dat (de onderzoeksthema's van) NIRICT maatschappelijk en economisch relevant zijn.

BIJLAGE 1 GERAADPLEEGDE RESPONDENTEN

Prof. dr. E.H.L. Aarts (Philips)

Prof. dr. P.M.G. Apers (UT, CTIT)

Prof. dr. H. Brinksma (Embedded Systems Institute)

Prof. dr. P.H. Hartel (UT)

Prof. dr.ir. B.R.H.M. Haverkort (UT)

Prof. dr. K.M. van Hee (TU/e)

Ir. P.P. 't Hoen (ICTRegie)

Dr. M.W. de Jong (Telematica Instituut)

Prof. dr.ir. R.L. Lagendijk (TUD)

Dr. H. van der Lugt (Telematica Instituut)

Prof. dr.ir. I.G.M.M. Niemegeers (TUD)

Prof. dr.ir. A. Nijholt (UT)

Prof. dr.ir. G. van Oortmerssen (TNO, ICTRegie)

Ir. J. de Waal (Twente Institute for Wireless and Mobile Communications B.V.)

BIJLAGE 2 LITERATUUR

- ARTEMIS, 2006
Strategic Research Agenda
- Bureau Bartels, 2007a
Stimulering zorgeconomie in de regio Gooi- en Eemland
- Bureau Bartels, 2007b
Actieprogramma 'Kansen voor Noord-Nederland op het gebied van de zorgeconomie
- CBS, 2007
De Digitale Economie 2007
- Commissie van Europese Gemeenschappen, 2005
Besluit van het Europese Parlement en de Raad betreffende het Zevende Kaderprogramma van de Europese Gemeenschap voor activiteiten op het gebied van onderzoek, technologische ontwikkeling en demonstratie (2007 tot 2013)
- eMobility, Mobile and Wireless Communications Technology Platform, 2007
Strategic Research Agenda, Staying ahead with SET
- ICT Forum, 2004
Nu zorgen voor morgen, ICT-onderzoek en gezondheidszorg
- ICTRegie, 2005
Strategisch Plan, ICTRegie 2005-2010, Het veld aan zet
- ICTRegie, 2006
ICT Innovatieagenda 2006-2010, ICT in actie
- Informaticaonderzoek Platform Nederland (IPN), NWO Exacte Wetenschappen, Technologiestichting STW, 2005
Met vaste hand, Nationale Onderzoeksagenda Informatie- en Communicatie-technologie (NOAG-ict) 2005-2010
- InnovatiePlatform, 2005
ICT als innovatie-as, Kansen pakken met ICT
- Ministerie van EZ, 1994
Nationaal Actieprogramma Digitale Snelwegen
- Ministerie van EZ, 1999
De Digitale Delta, Nederland Online
- Ministerie van EZ, Ministerie van OCW, 2000
Concurreren met ICT Competenties
- Ministerie van EZ, 2005
Actieprogramma Maatschappelijke Sectoren & ICT, Beter benutten, meer kwaliteit
- Networked & Electronic Media, 2007
Strategic Research Agenda, Networked and Electronic Media European

Technology Platform

Networked European Software & Services Initiative, 2005
Vision Document NESSI

Networked European Software & Services Initiative, 2007
NESSI Strategic Research Agenda, Strategy to build NESSI (in ontwikkeling)

NIRICT, 2007
ICT at 3TU, NIRICT Research Plan 2007

Technopolis/ Dialogic, 2008
Achter het scherm. Omvang van het ICT-onderzoek in Nederland. ICT-Scan 2008

5**Applications of nanotechnology**

1. Inhoud van het Centre for Nanotechnology Applications
2. Beoordeling externe partijen
3. Beleidsmatige inbedding nanotechnologie
4. Rol nanotechnologie bij maatschappelijke vraagstukken
5. Marktrelevantie
6. Inbedding in Europese onderzoeksagenda's

Bijlage 1 Geraadpleegde personen

Bijlage 2 Literatuur

1. Inhoud van het CfNA

Afbakening van het CfNA

Het CfNA omvat al het onderzoek aan de drie TU's op het gebied van nanoscience en nanotechnologie. De kern van dit CoC wordt gevormd door een drietal onderzoeksconcentraties, namelijk:

- het Kavli Institute of NanoScience aan de TU Delft;
- het MESA+ Institute of Nanotechnology aan de UT;
- en het centre of NanoMaterial (cNM) aan de TU/e.

Deze instituten⁴¹ vormen de 'founding fathers' van het CfNA. Vanuit de TU Delft zijn nog enkele leerstoelen van andere instituten 'ondergebracht' binnen het CfNA, namelijk vanuit de afdelingen/instituten Imaging Science & Technology, Nanochemical Engineering en DIMES. Deze laatste onderdelen kunnen in zekere zin als 'faciliterend' aan het overige nanogerelateerde onderzoek worden gezien. Om fenomenen in de nanodimensie te kunnen bestuderen, zijn innovatieve imagingtechnieken en nieuwe generatie micro-elektronicasystemen nodig. Deze zaken worden 'ingebracht' vanuit de faciliterende onderzoeksgroepen.

Volgens het businessplan van december 2005 kunnen circa 50 leerstoelen tot het domein van het CfNA worden gerekend. De UT neemt hiervan bijna de helft van de leerstoelen voor haar rekening, de andere twee universiteiten beide ongeveer een kwart. Inclusief assistent/associate professors, promovendi, post-docs en ondersteunend personeel beslaat het gehele nano-onderzoeksccluster aan de drie TU's ongeveer 550 personen.

Bezien we de missie van het CfNA dan zal de invloedssfeer verder reiken dan alleen het onderzoek en onderwijs op het gebied van nano aan de drie TU's. Het CfNA wil een leidende rol spelen in de coördinatie van onderzoek- en onderwijsprogramma's in ons land en tevens een internationale 'portal' vormen voor nanotechnologie. In dit opzicht is relevant dat direct betrokkenen bij het CfNA een leidende rol hebben bij de totstandkoming van het Netherlands Nanotechnology Initiatief (NNI). Op dit NNI komen we verderop in deze omgevingsanalyse terug. De gezamenlijke onderzoeksconcentraties aan de drie TU's willen hun rol verstevigen als één van de leidende centra in de wereld op het gebied van een aantal hoogwaardige toepassingsgebieden in de nanoscience en nanotechnologie⁴².

Inhoud van het onderzoek

Vanuit het CfNA wordt academisch onderzoek verricht op het gebied van de nanowetenschappen⁴³ en de nanotechnologie⁴⁴. In tegenstelling tot de andere CoC's heeft dit CoC in haar lange termijn onderzoeksagenda geen onderzoeksthema's geformuleerd. Uit deze agenda en de gevoerde interne gesprekken blijkt dat het CfNA de strategie heeft om in eerste instantie vooral in te gaan zetten op de uitbouw en de versterking van het (eerste) CoE. We komen hierop in het onderstaande terug. Daarnaast wordt de komst van het voornoemde NNI-initiatief afgewacht. De verwachting is dat in de loop van het jaar of volgend jaar duidelijkheid zal bestaan of dit grootschalige doorgang zal vinden.

Om inzicht te krijgen welke deelterreinen van het nano-onderzoek aandacht krijgen binnen (de founding fathers van) het CfNA, nemen we de thema's van het BSIK-

⁴¹ Hoewel formeel gezien niet in elk van de drie onderzoeksconcentratie gesproken kan worden van 'instituten' hanteeren we in het navolgende gemakshalve deze term.

⁴² Long-term plan for 3TU Centre for Nanotechnology Applications, 2007

⁴³ Fundamenteel wetenschappelijk onderzoek naar verschijnselen op nanoschaal.

⁴⁴ Onderzoek naar/manipuleren van individuele structuren van minder dan 100 nanometer tot moleculair niveau, met de bedoeling om complexe moleculaire structuren te bouwen met geheel nieuwe fysische, chemische en biologische eigenschappen.

programma NanoNed als vertrekpunt. Ook in het lange termijn plan van het CfNA wordt de verbinding gelegd met de NanoNed-thema's, de zogenaamde 'flagships'. In het NanoNed-programma is al het baanbrekend nano-onderzoek in ons land gebundeld. De flagships van NanoNed geven een overzicht van de verschillende deel-terreinen van het nano-onderzoek die kunnen worden onderscheiden. In het onderstaande hebben we weergegeven aan welke van deze terreinen vanuit de drie TU's wordt geparticipeerd en hoeveel projecten elk van de CfNA-onderdelen gesubsidiëerd hebben gekregen vanuit NanoNed⁴⁵. Daarin is tevens aangegeven welke flagships onder aanvoering staan van een 3TU-vertegenwoordiger. Voor een verdere toelichting van de inhoud van de thema's (de flagships) verwijzen we naar schema 2.

Schema 1 Participatie vanuit de drie TU's aan NanoNed-flagships, in het aantal gehonoreerde projecten en captains van flagships

NanoNed flagship	Kavli (TUD)	MESA+ (UT)	cNM (TU/e)	Flagship captain
Nanofabricage	-	4	2,5	UT
Nanospintronics	3	4,5	5,5	TU/e
Nanofluidics	6	11	-	UT
NanoPhotonics	1	7	4	-
NanoInstrumentation	12	-	1	-
Advanced Nanoprobng	1	4,5	2	-
NanoElectronic Materials	3	8	5	UT
Bottom up Nano Electronics	2	2	2	-
BioNanoSystems	-	-	-	-
Chemistry & Physics of Individual Molecules	1,5	2	-	-
Quantum Computation	4	2	-	TUD
Technology Assessment	0,5	3		UT
Totaal	34	48	22	

Bron: Opgave Technologiestichting STW, 2008

Uit schema 1 kan een aantal conclusies worden getrokken. In de eerste plaats blijkt dat nagenoeg alle NanoNed onderwerpen worden 'afgedekt' vanuit de 3TU-onderdelen. Alleen voor het flagship BioNanoSystems geldt dat de drie TU's niet participeren in onderzoeksprojecten. Uit de spreiding van de projecten over de verschillende flagships van NanoNed kan impliciet afgeleid worden dat het geheel aan onderzoek binnen het CfNA breed van opzet is.

Een tweede conclusie is dat er in de mate van participatie in NanoNed wel de nodige verschillen tussen de drie CfNA-onderdelen kunnen worden geconstateerd. MESA+ neemt het grootste aandeel NanoNed-projecten voor haar rekening, gevolgd door Kavli en cNM. Ook gemeten in het aantal promotieplaatsen – zie volgende paragraaf – is MESA+ in 'omvang' van de participatie het grootst.

In de derde plaats kan uit bovenstaand schema ook informatie worden afgeleid over 'specialisaties' van (of zwaartepunten aan) de drie onderdelen die gezamenlijk het CfNA vormen. Zo valt bij het **Kavli-instituut** het grote aantal projecten bij het

⁴⁵ Daar waar een half project in het schema staat, is sprake van een gezamenlijk project waarvan de helft van het project voor rekening komt van het betreffende 3TU-onderdeel.

flagship 'NanoInstrumentation' op. Dit instituut kan op het gebied van de ontwikkeling van instrumenten waarmee nano-onderzoek wordt verricht, als belangrijke ontwikkelaar en leverancier worden beschouwd. Dit verklaart bijvoorbeeld waarom FEI Company – die eind jaren negentig als spin-off van Philips is ontstaan en zich heeft toegelegd op de ontwikkeling en productie van instrumenten voor nanotechnologie – van de drie instituten binnen het CfNA het meest intensief samenwerkt met Kavli. **MESA+** kent relatief veel onderzoeksprojecten binnen een drietal NanoNed-flagships, namelijk Nanofluidics, NanoElectronic Materials en NanoPhotonics. NanoSpintronics en eveneens NanoElectronic Materials vormen de deel terreinen binnen NanoNed waarin relatief veel projecten vanuit het **cNM** vallen.

Ook uit de documenten van het CfNA en de instituten zelf alsmede de gesprekken met de interne gesprekspartners blijkt dat er inhoudelijke verschillen in onderzoek aan de 3TU-onderdelen kunnen worden aangewezen. Het onderzoek aan de TU Delft kan gekenschetst worden als overwegend nanoscience, dus de bestudering van de fundamentele nano verschijnselen. Belangrijke kernen van wetenschappelijk toponderzoek binnen het **Kavli-instituut** worden gevormd door de nanofysica, nanoscopie, quantumfysica en de moleculaire biofysica. Dit laatste gebied bestaat uit de onderzoeksgroep van Spinoza-premie laureaat prof. Cees Dekker. Recentelijk is vanuit deze onderzoeksgroep een nieuwe afdeling opgericht voor bionanotechnologie. Verder valt op dat de nanoscience (Kavli) en de microscience/-systemen (Dimes) in Delft weliswaar in afzonderlijke organisaties zijn ondergebracht, maar binnen het CfNA weer min of meer bijeen komen.

Aan de UT is het nanotechnologie en microsysteemtechnologie ondergebracht in één instituut. Het wetenschappelijk onderzoek aan **MESA+** heeft betrekking op nanotechnologie met een sterke focus op de applicaties. Onderzoeksgebieden op nanogebied die min of meer kenmerkend zijn voor MESA+ hebben vooral betrekking op anorganische nanomaterialen en polymeren, biosensoren op nanoschaal, supramoleculaire chemie en de nanofluidics. Opvallend is ook het grote aantal spin-off ondernemingen op nanogebied dat inmiddels vanuit dit instituut is voortgebracht (zie verderop).

De derde 'founding father' wordt gevormd door het **cNM** aan de TU/e. Het cNM is – meer dan de instituten aan de andere twee TU's – een informeel platform waarin nanogelateerd onderzoek aan de TU/e is ondergebracht. De centrale noemer van het cNM-onderzoek zijn de functionele nanogestructureerde materialen en systemen. Belangrijke onderzoeksgroepen binnen dit cNM houden zich bezig met nanophotonics, nanofabricage, nanospintronics en nanovraagstukken binnen de organische chemie. Kenmerkend voor deze groepen is de sterke relatie met relevante actoren/instituten die in de nabijheid gevestigd zijn, zoals de high-tech elektronica industrie (Philips), DPI, Holst Centrum en Point One.

Invulling CoE

Het bestuur van het CfNA heeft besloten om de uitbouw en versterking van excellente nano-onderzoeksgroepen aan de drie TU's centraal te stellen. Ingezet wordt om fasegewijs twee Centres of Excellences (CoE's) gerealiseerd te krijgen. Het eerste CoE wordt aangeduid met de term **BNA Centre of Excellence**. BNA staat hierbij voor Bio-NanoApplications. Uit de gesprekken maken we op dat de keuze enerzijds gebaseerd is de evolutie van de bionanotechnologie als een opkomend applicatiegebied van nanotechnologie. Zoals ook verderop blijkt, wordt naar de toekomst toe een grote (maatschappelijke) impact van nanotechnologie voorzien in de 'life sciences', zowel in de biologische als de farmaceutische/biomedische sfeer (nanomedicine).

Bij dit thema gaat het om de toepassing van nanotechnologie in de celstructuur van levende materie. Ook verschillende externe gesprekspartners herkennen zich in de

ontwikkeling dat 'bionano' steeds meer als kansrijk applicatiegebied in de belangstelling komt te staan (zie volgende paragraaf). Daarbij kan overigens worden opgemerkt dat bionanotechnologie binnen het NanoNed-programma relatief beperkte aandacht heeft gekregen. Verwacht wordt dat bij het mogelijke vervolg op dit programma in het NNI dit alsnog intensief 'opgepakt' gaat worden. De drie TU's neemt hierop dus als het ware een voorschot. Anderzijds is er naast de te verwachten maatschappelijke relevantie ook sprake van een wetenschappelijke drive. Op dit thema (of technologiegebied) kunnen naar de toekomst toe nog belangrijke wetenschappelijke doorbraken worden verwacht. Verschillende excellente onderzoeksgroepen kunnen hieraan een belangrijke bijdrage leveren.

Met de financiële ondersteuning van het (eerste) CoE worden vier leerstoelen en vier onderzoeksplaatsen voor excellente jonge onderzoekers (zogenaamde 'potentials'). Deze worden aangesteld op een drietal thema's, namelijk

- Single molecule studies (TUD);
- Single cell studies ('lab-in-a-cell') (UT);
- Biosensing en nanosensing (aan de TU/e en UT).

In het lange termijn onderzoeksplan van het CfNA wordt ook een voorschot genomen op een tweede CoE. Dit CoE zal dan met name vanuit de invalshoek van materialen worden ingesteld en aansluiten bij een aantal belangrijke nanogelateerde onderzoeksthema's binnen de drie TU's (en NanoNed). Voor dit CoE wordt (voorlopig) de naam **CoE of Nano-Electronics, Photonics en Spintronics (EPS)** gehanteerd. De financiering van dit tweede CoE is op het moment van schrijven nog niet geregeld.

Faciliteiten

Belangrijk voor het vernieuwend wetenschappelijk onderzoek op het gebied van nanoscience en nanotechnologie is de voortdurende noodzaak om te investeren in '**state-of-the-art**' **experimentele onderzoeksinfrastructuur**. Het gaat daarbij dan voornamelijk om faciliteiten als cleanrooms, lasersystemen en verschillende typen microscopische instrumenten. Dit soort onderzoeksfaciliteiten vergen grote investeringen. In de afgelopen jaren is vanuit de overheid krachtig geïnvesteerd in dit type kapitaalsintensieve onderzoeksfaciliteiten, onder andere aan het CfNA.

Een onderdeel van het NanoNed-programma heeft specifiek betrekking op het realiseren van nieuwe onderzoeksfaciliteiten op het gebied van nanotechnologie (het gemeenschappelijke **NanoLab Nederland**). Op drie plaatsen in ons land worden grootschalige investeringen in nieuwe nanofaciliteiten gedaan, waaronder aan twee van de drie onderdelen van het CfNA. Zo komt binnenkort in Delft een nieuw, gezamenlijke onderzoeksfaciliteit van de TU Delft (Kavli) en TNO Industrie & Techniek beschikbaar. In dit nieuwe Nanocentre zullen meerdere cleanrooms worden gerealiseerd. Met de bouw en de inrichting van deze onderzoeksfaciliteit is een bedrag van circa 30 miljoen euro gemoeid. Bij MESA+ zal in de loop van volgend jaar een nieuwe onderwijs- en onderzoeksfaciliteit op het gebied van nanotechnologie worden gerealiseerd. Deze Carré/NanoLab-faciliteit vergt een investering van in totaal 40 miljoen euro. De oude cleanroom van MESA+ zal overigens worden getransformeerd tot 'factory', waarvan bestaande en startende bedrijven gebruik kunnen maken.

Meerdimensionale krachtenbundeling

Uit de gesprekken komt naar voren dat de 3TU-onderdelen die samen het CfNA vormen elkaar goed aanvullen. Er is wat dit aangaat sprake van een krachtenbundeling op 3TU-niveau die meerdere dimensies in zich heeft. De eerste dimensie heeft betrekking op het (virtueel) **bundelen** van zowel **top-nanoscience en top-nanotechnologie**. De TUD kan in deze samenwerking vooral de positie als top-nanoscience in, terwijl de UT en TU/e zich vooral op de nanotechnologie richten. Zo is met de vorming van het CfNA een entiteit ontstaan die het hele traject van fundamentele wetenschap naar maatschappelijke en industriële toepassing van nanotechnologie beslaat.

De tweede dimensie is de **inhoudelijke aanvulling** zoals die hiervoor al kernachtig is omschreven. Doordat de drie onderzoeksconcentraties verschillende zwaartepunten van onderzoeksactiviteiten hebben, is er sprake van relatief weinig overlap in onderzoeksthema's. Hoewel in schema 1 bij de verschillende flagships telkens meerdere kruisjes staan aangegeven, hoeft dit niet te betekenen dat de betreffende instituten binnen een dergelijk thema op vergelijkbare deelonderwerpen 'acteren'.

Tenslotte kan nog een derde dimensie worden onderscheiden. De drie instituten leiden (al dan niet via NanoNed-projecten) goede onderzoekers op het gebied van nanoscience en nanotechnologie op. Vanuit deze **opleidingsfunctie** komen kwalitatief hoogwaardige onderzoekers beschikbaar voor de wetenschap zelf, kennisinstituten en het bedrijfsleven. Er lijkt zich een soort natuurlijke taakverdeling voor te doen, waarbij de TUD opgeleide onderzoekers levert aan andere universiteiten en kennisinstituten als TNO, de TU/e aan het grotere high-tech bedrijfsleven en de UT aan zowel grotere, industriële bedrijven als de kleinere, gespecialiseerde spin-off bedrijvigheid. Het karakter van de **valorisatie via 'embedded knowledge'** verschilt dus per onderdeel van het CfNA.

2. Beoordeling externe partijen

Zoals gezegd, hebben we voor de omgevingsanalyse van het CfNA ook enkele gesprekken gevoerd met relevante externe partners van de drie TU's. In de gesprekken met deze **externe partners** hebben we ook aandacht geschonken aan hun oordeel over de samenwerking van de drie TU's op het gebied van de nanoscience en nanotechnologie (zoals dat gestalte krijgt binnen het CfNA en daarbinnen het BNA Centre of Excellence). Uit de oordelen van deze gesprekspartners kan een aantal **'rode draden'** worden gedestilleerd, die we hieronder kort de revue laten passeren.

De eerste constatering is dat de geraadpleegde externe partners de **samenwerking** van de drie TU's op het gebied van nanotechnologie in principe **toejuichen**. Een argument dat hiervoor dan wordt gegeven, is dat ons land op wetenschappelijk gebied een belangrijke positie inneemt daar waar het om nano-gerelateerd wetenschappelijk onderzoek gaat en dat de drie TU's daarbinnen een belangrijke positie innemen. Binnen elk van de drie TU's zijn er namelijk excellente onderzoeksgroepen op het gebied van nanoscience en nanotechnologie actief, die elkaar inhoudelijk ook nog eens goed aanvullen.

Wanneer tot meer onderlinge afstemming, meer uitwisseling met het bedrijfsleven en een verdere versterking van de 3TU-positie binnen het nationale en internationale speelveld kan worden gekomen, dan is er volgens deze gesprekspartners concrete meerwaarde te behalen. Tezamen vormen de drie TU's de belangrijkste 'actor' op nanogebied in Nederland. Vanuit de externe partners is overigens wel de kanttekening geplaatst dat deze 3TU-samenwerking nog vrij aan het begin staat: tot dusver heeft men nog weinig gemerkt van de krachtenbundeling op 3TU-niveau op het

gebied van nanoscience en nanotechnologie. De 'buitenwacht' kan zich bovendien nog maar weinig voorstelling maken van de status en functie van het CfNA in dit opzicht.

Hoewel de meerwaarde van de krachtenbundeling wel wordt onderschreven, wordt daarbij wel een belangrijke randvoorwaarde gesteld. Deze randvoorwaarde heeft betrekking op de **positionering** van het CfNA **ten opzichte van nationale programma's** op het gebied van nanotechnologie (zoals NanoNed in de afgelopen periode en naar de toekomst toe het komende Netherlands Nano Initiative (NNI)). Enerzijds is opgemerkt dat het onderzoek aan het CfNA afgestemd dient te worden op de keuzes die op nationaal niveau worden gemaakt. Volgens de gesprekspartners zijn namelijk niet de drie TU's maar wel deze nationale programma's sturend voor al het nano-onderzoek in ons land. Vanuit die optiek is het onwenselijk dat de drie TU's met de vorming van het CfNA een geheel eigen, onafhankelijke koers zouden gaan varen ten opzichte van de nationale keuzes in de programmering van het nano-onderzoek. Hiervoor hebben we gezien dat de komst van het NNI ook één van de redenen is geweest waarom in het onderzoeksplan van dit CoC (nog) geen thema's zijn benoemd (met uitzondering van de centrale thema's voor de CoE's). Anderzijds is door een enkele gesprekspartner opgemerkt dat de drie TU's er goed aan doen om binnen de thema's die op nationaal niveau bepaald worden, voor het eigen onderzoek duidelijke prioriteiten te stellen en hierop verder te investeren. In de visie van deze gesprekspartners zijn programma's als NanoNed te veel omvattend en inhoudelijk veel te breed. Binnen de nationale kaders zouden de samenwerkende drie TU's tot meer focus dienen te komen volgens deze gesprekspartners.

De **keuze voor BioNanotechnologie** als centrale thema voor het eerste CoE wordt **breed gedragen**. Op dit vrij nieuwe deelterrein van de nanotechnologie gebeuren momenteel in wetenschappelijk opzicht veel interessante en uitdagende dingen. Bovendien wordt dit ook gezien als een kansrijk gebied voor commerciële toepassingen. Zelfs op korte termijn mogen al applicaties op dit terrein worden verwacht (zie kader). Een ander argument dat wordt aangevoerd is dat de bionanotechnologie binnen NanoNed nauwelijks aandacht heeft gehad. Verwacht wordt dat deze 'omissie' binnen het komende NNI zal worden weggenomen: verderop zal blijken dat bionanotechnologie één van de prioriteiten binnen het NNI zal gaan worden. Met het BNA Centre of Excellence wordt hierop als het ware al een voorschot genomen.

Philips brengt volgend jaar een nieuw apparaat op de markt waarbij tijdens verkeerscontroles het gebruik van XTC en andere drugs die de rijvaardigheid beïnvloeden, kan worden gemeten. Bij deze snelle diagnostiek wordt gebruik gemaakt van biosensoren die metingen verrichten aan de hand van speeksel. Deze zogenoemde 'road side drug screening' zal bijdragen aan een betere verkeersveiligheid in ons land.

(Bron: Philips)

Een volgende constatering die op grond van de gesprekken met externe gesprekspartners kan worden gedaan, is dat naar de toekomst toe (nog) meer ingezet zal moeten worden op het **intensiveren van de kennisrelaties met het bedrijfsleven**. De relaties die tot dusver door de bedrijven worden onderhouden, lijken zich veelal te beperken tot één of enkele individuele onderzoeksgroepen binnen de instituten die het CfNA vormen. De drie TU's als geheel – feitelijk dus het CfNA – zouden volgens deze gesprekspartners meer moeten laten zien wat hun betekenis op nanogebied kan zijn voor het bedrijfsleven. Dit om excellente wetenschappers te kunnen verbinden met toepassingsmogelijkheden in het bedrijfsleven. In het verlengde hiervan is opgemerkt dat bij het ontwikkelen van nieuwe initiatieven een vroegtijdige betrokkenheid van het bedrijfsleven wenselijk is (zoals dat nu ook in de voorbereidende fase van het NNI is gebeurd).

Naar de toekomst toe zou het CfNA ook een belangrijke meerwaarde kunnen krijgen in de **opleidingsfunctie**: het 'afleveren' aan de arbeidsmarkt van academisch

gevormde onderzoekers op het gebied van nanotechnologie aan dat deel van het bedrijfsleven dat zich (nog meer) wil toeleggen op het ontwikkelen en in de markt zetten van applicaties op dit gebied. Dit zal een stimulerende werking hebben op de samenwerking met de industrie en – in het verlengde hiervan – de valorisatie van kennis dat in het onderzoek aan het CfNA wordt gegenereerd. De opleidingsfunctie komt tot dusver vooral tot uitdrukking bij de spin-offs die (met name bij de UT) voortkomen uit het nano-onderzoek: mensen die in de nanowetenschap zijn opgeleid gaan in dat geval hun kennis vercommercialiseren in een spin-off onderneming. Een enkele gesprekspartner heeft overigens opgemerkt dat de drie TU's ook gezamenlijke activiteiten zouden moeten ontplooiën om **studenten** te **werven** voor opleidingen waarin men nano-kennis krijgt aangereikt⁴⁶. Dit als een soort 'hypotheek' voor de toekomst dat voldoende 'kennisdragers' beschikbaar komen voor de wetenschap en het bedrijfsleven als de (kennis)markt voor nanotechnologie sterk gaat uitdijen. Mogelijk dat het CfNA hierin een rol kan spelen.

3. Beleidsmatige inbedding nanotechnologie(-onderzoek)

In deze paragraaf gaan we in op de maatschappelijke relevantie van nanotechnologie(-onderzoek). Daarbij volgen we een tweetal sporen. In de eerste plaats zullen we in vogelvlucht ingaan op de ontwikkeling van de beleidsmatige aandacht voor nano-technologie in de Nederlandse context. Dit behandelen we in deze paragraaf. In de tweede plaats zullen we illustreren welke rol nanotechnologie kan spelen voor een aantal belangrijke maatschappelijke vraagstukken. Dit komt in de volgende paragraaf aan de orde.

Beleidsmatige inbedding nanotechnologie(-onderzoek)

Door verdere miniaturisering schuift het wetenschappelijk onderzoek in toenemende mate op naar het nanobereik. De gemeenschappelijke noemer van dit onderzoek is niet een eigenschap, maar de afmeting of de schaalgrootte van de studieobjecten. Deze ontwikkeling naar de nanoschaal geldt voor een groot aantal terreinen. Dit maakt dat de scope van het onderzoek op het gebied van nanotechnologie per definitie breed is. Het werken met deeltjes in de orde van grootte van een aantal nanometers biedt niet alleen volop mogelijkheden voor uitdagend en baanbrekend wetenschappelijk onderzoek, maar ook een scala aan nieuwe technologische mogelijkheden. Nanotechnologie dient hierbij als een 'enabling technology' worden beschouwd. Door toepassing van nanotechnologie mag immers een grote diversiteit aan mogelijke applicaties worden verwacht (waarvan de eerste generatie inmiddels de markt heeft bereikt, zie de volgende paragraaf). In het verlengde hiervan mag verwacht worden dat nanotechnologie invloed zal hebben op meerdere maatschappelijke vraagstukken.

Het onderzoek in de nanoscience en de nanotechnologie is in de laatste jaren in een enorme stroomversnelling geraakt. Het nano-onderzoeksveld is veelomvattend en breidt zich nog steeds verder uit. Deze ontwikkeling is mede het gevolg van een **sterk toegenomen beleidsmatige aandacht** voor nano-onderzoek. Sinds het begin van deze eeuw heeft de overheid via een aantal nationale programma's een krachtig signaal afgegeven dat zij zich bewust is van het grote maatschappelijke belang van nanotechnologie en de economische kansen die van het onderzoek op dit terrein mogen worden verwacht. Dit heeft zich geuit in krachtige overheidsinvesteringen in het onderzoek en de benodigde onderzoeksfaciliteiten.

Nationale onderzoeksprogramma's

Zo ging in 2003 het eerste nationale onderzoeksprogramma voor nanotechnologie van start, namelijk het **NanoImpuls** programma. Dit strategische programma van

⁴⁶ De Hogeschool Zuyd kan in dit opzicht als voorbeeld worden genoemd.

het ministerie van Economische Zaken had tot doel om de kennispositie van ons land op het gebied van de nanotechnologie te versterken bij bedrijven, universiteiten en kennisinstituten. Het ministerie stelde vanuit haar KennisImpulsgelden een subsidie van 22,7 miljoen euro voor dit programma ter beschikking. Eenzelfde bedrag moest bijgedragen door de deelnemende partners (zeven universiteiten – waaronder MESA+, TU/e en Dimes – en TNO). Ook bedrijven als DSM, Philips, Unilever, ASM International, ASML en Avantium werden bij dit programma betrokken.

Voor NanoImpuls werden een aantal onderzoeksthema's gekozen die de grootste meerwaarde voor de Nederlandse positie op het gebied van nanotechnologie zouden hebben en die tevens als meest kansrijk voor applicaties werden gezien (zie schema 2). 60% van het beschikbare budget werd gereserveerd voor onderzoek aan Nederlandse universiteiten en kennisinstellingen. Hiermee konden ongeveer 40 AIO-plaatsen worden gefinancierd. De overige 40% van de middelen kwam ten goede aan investeringen in nieuwe infrastructuur die nodig is om nanotechnologie-onderzoek te kunnen doen. In het kader van het gemeenschappelijke NanoLab Nederland werd besloten om de investeringen in nieuwe infrastructuur te concentreren op drie plaatsen, namelijk in Delft, Enschede en Groningen (zie hiervoor). Een belangrijke randvoorwaarde is dat deze nieuwe faciliteiten ook beschikbaar worden gesteld aan onderzoeksgroepen uit ander universiteiten en kennisinstituten. Tegelijk met de uitvoering van NanoImpuls is ook een Technology Assessment Traject van start gegaan. In dit kader wordt kennis vergaard over verschillende maatschappelijke gevolgen van de toepassing van nieuwe nanotechnologie (zoals risico's voor gezondheid en milieu, verantwoordelijkheden, imago en dergelijke).

Schema 2 Inhoud van NanoImpuls en NanoNed

Flags- hips/onderdelen	Inhoud programma	Nano- Impuls	Nano- Ned
1. Nanofabricage ⁴⁷	Ontwikkelen van fabricagetechnieken om steeds kleinere structuren te maken (voor bijvoorbeeld dataopslag, biofilters of fotonische structuren)		
2. Nanospintronics	Ontwikkelen van nieuwe concepten voor manipulatie, transport en opslag van spins, magnetische eigenschappen van elektronen		
3. Nanofluidics	Onderzoeken, controleren en ontwikkelen van nieuwe fysisch-chemische processen in nanostructuren, waarbij zeer kleine vloeistofstromen beheerst moeten worden		
4. NanoPhotonics	Onderzoek ten behoeve van de miniaturisatie van optische devices, zoals geheugens, sensoren en optische schakelaars		
5. Nano-Instrumentation	Oplossen van instrumentatieproblemen die de productie van apparatuur op nanoschaal – voor lithografie en inspectie/reparatie – beperken		
6. Advanced Nano-probing	Ontwikkelen van een nieuwe generatie camera's om structuren op nanometerschaal te bestuderen en manipuleren		
7. NanoElectronic Materials	Ontwikkelen van nieuwe materialen voor de toekomstige generatie nano-elektronische devices		
8. Bottom up Nano Electronics	Door chemische synthese fabriceren van elektrische componenten (zoals transistors, geheugenelementen, LEDs, lasers en sensoren) en dit samenvoegen in elektrische circuits		
9. BioNanoSystems	Ontwikkelen van nanosystemen die reageren op macroscopische signalen, met speciale focus op het gericht af kunnen geven van medicijnen en functionele oppervlakken		
10. Chemistry &	Bestuderen van individuele (semi-)synthetische en biologische		

⁴⁷ In NanoImpuls werd NanoInstrumentation & Fabrication als één programma beschouwd. Onder NanoNed zijn deze twee onderwerpen in separate flagships ondergebracht.

Physics of Individual Molecules	moleculen om op moleculair niveau functies te ontwerpen en te controleren (zoals mini-motors)		
11. Quantum Computation	Ontwikkeling van elektronische circuits gebaseerd op nanodevices, als bouwsteen voor quantumcomputers		
Technology Assessment	Onderzoeken en in kaart brengen van maatschappelijke gevolgen van de nieuwe nanotechnologie		
NanoLab NL	Creëren van een afgewogen onderzoeksinfrastructuur voor nanotechnologie in Nederland, door investeringen in faciliteiten		

Bron: *Technologiestichting STW, 2008*

Het NanoImpuls programma liep van 2003 tot en met 2007. Dit programma vormde de opmaat naar een nog veel omvangrijker nationaal programma voor nanotechnologie, namelijk **NanoNed**. Binnen een jaar na de start van NanoImpuls werd bekend dat de Nederlandse overheid nog eens 95 miljoen euro aan Bsik-gelden reserveerde voor het overkoepelende NanoNed-programma. In de loop van 2005 kon het NanoNed-programma definitief van start gaan. Het NanoImpuls-programma is onder de vlag van NanoNed gebracht. Inclusief de NanoImpuls-gelden en de eigen bijdragen van de universiteiten en deelnemende bedrijven is het totale budget voor NanoNed uitgekomen op 235 miljoen euro.

NanoNed bundelt in feite de sterktes van ons land op het gebied van nanowetenschappen en nanotechnologie in een nationaal netwerk. Zoals uit bovenstaand schema blijkt, is NanoNed inhoudelijk breder dan zijn voorganger. Ten opzichte van NanoImpuls is een aantal nieuwe programma's (flagships) toegevoegd. Een andere wijziging ten opzichte van het voorlopende programma is de **sterkere betrokkenheid** van de **intermediaire kennisinstituten en industrie** bij NanoNed. Zo zijn TNO en Philips als projectpartners toegetreden. Dit betekent dat deze partijen researchcapaciteit 'inbrengen' en dus onderzoeksprojecten in het kader van NanoNed uitvoeren (zie verder paragraaf 6).

NanoNed heeft een belangrijke impuls gegeven aan het 3TU-onderzoek op het gebied van de nanowetenschappen en nanotechnologie⁴⁸. Uit informatie die vanuit STW is aangereikt, blijkt namelijk dat de drie TU's een belangrijke positie in NanoNed inneemt. Hiervoor hebben we al gezien dat de CfNA-onderdelen in bijna alle flagships van NanoNed participeren en voor verschillende deelprogramma's de 'trekker' leveren. Van de ongeveer 300 promotieplaatsen die vanuit NanoNed (en haar voorganger) zijn medegefinancierd, neemt de drie TU's ruim de helft voor haar rekening. Binnen het CfNA neemt MESA+ het grootste aandeel van de promotieplaatsen voor haar rekening. De 'marktaandelen' van de afzonderlijke CfNA-onderdelen in alle promotieplaatsen die vanuit NanoNed zijn ingesteld, bedragen respectievelijk 25% voor MESA+, 18% voor Kavli en 10% voor cNM⁴⁹.

Overigens hebben enkele onderzoeken aan het CfNA inmiddels ook geleid tot octrooiaanvragen. Een drietal octrooien komt voor rekening van het Kavli (twee op het gebied van nano-instrumentatie en een binnen nanofluids). Twee octrooien zijn aangevraagd vanuit onderzoekers die vanuit MESA+ participeren binnen NanoNed (een op het gebied van nano-electronica en een op het gebied van nano-fabricage).

Nieuw kabinetsbeleid

De voornoemde nationale onderzoeksprogramma's passen binnen de sleutelgebiedenaanpak zoals die enkele jaren geleden is geïntroduceerd door het InnovatiePlatform (IP). Dit IP heeft '**High-tech systemen en materialen**' als één van de **sleu-**

⁴⁸ Vanaf 2004 wordt de TU Delft in NanoImpuls – en later NanoNed – vertegenwoordigd door het Kavli Institute of Nanoscience.

⁴⁹ Bron: opgave Technologie Stichting STW (mei 2008).

telgebieden geselecteerd⁵⁰. Een belangrijk criterium voor selectie als sleutelgebied is dat het moet gaan om combinaties van bedrijvigheid en kennis waarin Nederland 'excelleert'. De achterliggende gedachte van het IP is dat zich juist op deze gebieden kansen voordoen voor innovatie en (daarmee) voor versterking van de Nederlandse concurrentiepositie. Per saldo heeft het IP vijf sleutelgebieden vastgesteld⁵¹. Het onderscheidende vermogen van Nederland op het gebied High-tech systemen en materialen bestaat volgens het IP uit het samenbrengen van verschillende disciplines. Eén van de kennisdisciplines die hierbij genoemd wordt, is nanotechnologie. Als actiepunten voor 'High-tech systemen en materialen' noemt het IP onder andere het uitbouwen van verschillende toepassingsgerichte instituten (zoals ESI en het Holst Centrum) en langdurige financiering van een programma voor micro- en nanotechnologie (heeft feitelijk vorm gekregen in respectievelijk MicroNed en NanoNed). Bij dit laatste is expliciet vermeld dat meer uitgegaan dient te worden van sterke marktsegmenten en dat de prioriteit gelegd dient te worden bij toepassing en verspreiding van ontwikkelde kennis.

Dat nanotechnologie in de afgelopen jaren bij de politiek en beleidsmakers steeds meer in de belangstelling is komen te staan, blijkt ook uit de **Kabinetsvisie Nanotechnologieën** die eind 2006 over dit thema is verschenen⁵². In deze visie stelt het kabinet vast dat nanotechnologie zich in het afgelopen decennium snel heeft ontwikkeld en inmiddels de potentie heeft om effect uit te oefenen op vrijwel ieder toepassingsgebied. Belangrijke 'groeimarkten' voor het Nederlandse nano-onderzoek zijn volgens het Kabinet precisiefabricage, instrumentatie, nanomaterialen, devices & systems integration en bionano-technologie. In de notitie wordt een aantal maatschappelijke gebieden gepresenteerd waarop in ons land goede kansen voor applicaties bestaan. Deze kansen moeten worden gezocht in de gezondheidszorg, in de landbouw en voedselproductie, in de energievoorziening en waterzuivering, recht en veiligheid en defensie. We komen hier later op terug.

Vanuit het gegeven dat nanotechnologieën een belangrijke pijler kunnen vormen van de kenniseconomie en de kennissamenleving van ons land, is in de Kabinetsvisie ook aandacht besteed aan de kansen voor wetenschappelijk onderzoek. In de visie staan **vijf hoofdlijnen voor onderzoek** geformuleerd, waarop in de nabije toekomst verder ingezet zal gaan worden (zie schema).

⁵⁰ Voorstel sleutelgebieden-aanpak, Innovatieplatform, 2004.

⁵¹ In eerste instantie zijn vier sleutelgebieden geselecteerd. Hieraan is Chemie later toegevoegd. Daarnaast heeft ICT een bijzonder positie als innovatie-as omdat het door alle vijf gebieden heenloopt. Verder spreekt het IP ook van twee 'opkomende' sleutelgebieden: 'Pensioenen en Sociale Verzekeringen' en 'The Hague, Residence of Peace and Justice'.

⁵² Kabinetsvisie: Van klein naar groots, november 2006.

Schema 3 Gepresenteerde hoofdlijnen van nano-onderzoek in de Kabinetsvisie

Hoofdlijnen onderzoek	Kansen/richtingen
Nanomedicine	De toepassing van nanotechnologie in de moleculaire biologie en geneeskunde. Door middel van nanotechnologie kan er onderzoek worden gedaan naar basale biochemische en biofysische processen in gezonde en ontregelde cellen. Door op nanoschaal biomoleculaire, anorganische en hybride structuren en biologische systemen met nieuwe eigenschappen te ontwikkelen, kunnen nieuwe toepassingen ontstaan in de preventie, diagnose, behandeling van ziektes en monitoring van ziekte-/behandelprocessen.
Beyond Moore ⁵³	De toepassing van fundamenteel nieuwe nanofysica om de grenzen van de voortschrijdende miniaturisatie volgens de Wet van Moore (verdubbeling van het aantal transistoren op een siliciumchippoppervlak per twee jaar) te doorbreken door de implementatie van nieuwe optische, elektrische en magnetische verschijnselen en engineering van structuren op atomaire en moleculaire schaal. Dit zal volledig nieuwe toepassingsconcepten in een groot aantal domeinen teweeg brengen.
Functionele nanodeeltjes oppervlakken met patronen op nanoschaal	Gaat om het gecontroleerd toepassen van grote hoeveelheden nanodeeltjes met specifieke functionele eigenschappen tot grotere systemen. Dit soort nanodeeltjes worden al toegepast in bijv. composieten, katalyse, kleurstof markers, vliegtuigindustrie en cosmetica.
Waterzuivering en energievoorziening ⁵⁴	Bijdrage aan het verkrijgen van schoner water door nanofilters en een schonere en meer efficiënte energievoorziening door middel van katalysatoren met nanotechnologie en efficiëntere brandstofcellen.
Voedsel en gezondheid	Nanotechnologie kan een bijdrage leveren aan duurzame productie en productverbetering in de landbouw en voedselproductie. De kansen liggen vooral in de duurzame landbouw (minder gewasbeschermingsmiddelen), precisielandbouw, voedselveiligheid, voedselkwaliteit en de veterinaire gezondheidszorg. Verder kan nanotechnologie aan levensmiddelen eigenschappen toevoegen die de smaak of gezondheid van een product verbeteren.

Bron: Kabinetsvisie (2006) en Strategiepamflet FOM/STW (2005)

Voor een deel vloeien deze onderzoekslijnen voort uit de voornoemde kansrijke applicatiegebieden. De eerste drie hoofdlijnen zijn 'ingebracht' vanuit FOM/STW. In hun gezamenlijke *Strategiepamflet Towards a multidisciplinary national nanoscience programme* (2005) is onderbouwd dat deze drie thema's kansrijk zijn, maar ook nog het nodige toepassingsgericht, fundamenteel onderzoek zal vergen om deze kansen te benutten. Bovendien sluiten deze thema's aan bij de huidige sterktes in het Nederlandse nano-onderzoeksveld (waaronder dus aan de drie TU's). De hoofdlijn 'waterzuivering en energievoorziening' komt voort uit een enquête van het Rathenau Instituut. Vanuit NanoNed is de hoofdlijn 'voedsel en gezondheid' aangedragen.

In Kabinetsnota wordt uitvoerig stilgestaan bij de **risico's** die verbonden zijn aan de toepassing van nanotechnologie⁵⁵. Dit heeft te maken met onzekerheden over de toxiciteit die nanodeeltjes kunnen veroorzaken. Inzicht hierin lijkt een belangrijke randvoorwaarde te vormen voor de verdere maatschappelijke acceptatie van de toepassing van nanotechnologieën (en indirect dus ook van het nano-onderzoek). Dit is de reden waarom risico-onderzoek van nanodeeltjes en de ontwikkeling van nanotoxicologie als belangrijke prioriteiten zijn aangeduid in de kabinetsvisie. Het

⁵³ Deze onderzoekslijn kan in verband worden gebracht met een aantal meer fundamenteel georiënteerde NanoNed-thema's, namelijk nanofotonica, nano-electronica, spintronica, individuele moleculen en quantum-computation

⁵⁴ In de Kabinetsvisie werden deze twee onderwerpen als één onderzoekslijn gepresenteerd. In het NNI-plan zullen deze thema's afzonderlijke worden uitgewerkt.

⁵⁵ Mede op basis van het rapport 'Betekenis van nanotechnologieën voor de gezondheidszorg' van de Gezondheidsraad.

RIVM zal als nationaal focuspunt gaan dienen voor alle kennis die over nanotoxicologie wordt gegenereerd/verzameld.

Uit de gevoerde gesprekken is overigens gebleken dat vanuit het bedrijfsleven verschillend gekeken wordt naar dit vraagstuk. Sommige representanten van het bedrijfsleven hebben op dit punt juist een belangrijke kennisbehoefte: zij willen gecombineerde kennis aangeleverd krijgen over de toe te passen nanotechnologie en de risico's ervan. Andere respondenten vinden deze aandacht voor risico's overtrokken, omdat bijvoorbeeld bij medische toepassingen de reguliere, klinische methoden zouden volstaan om inzicht te krijgen in de mate van toxiciteit.

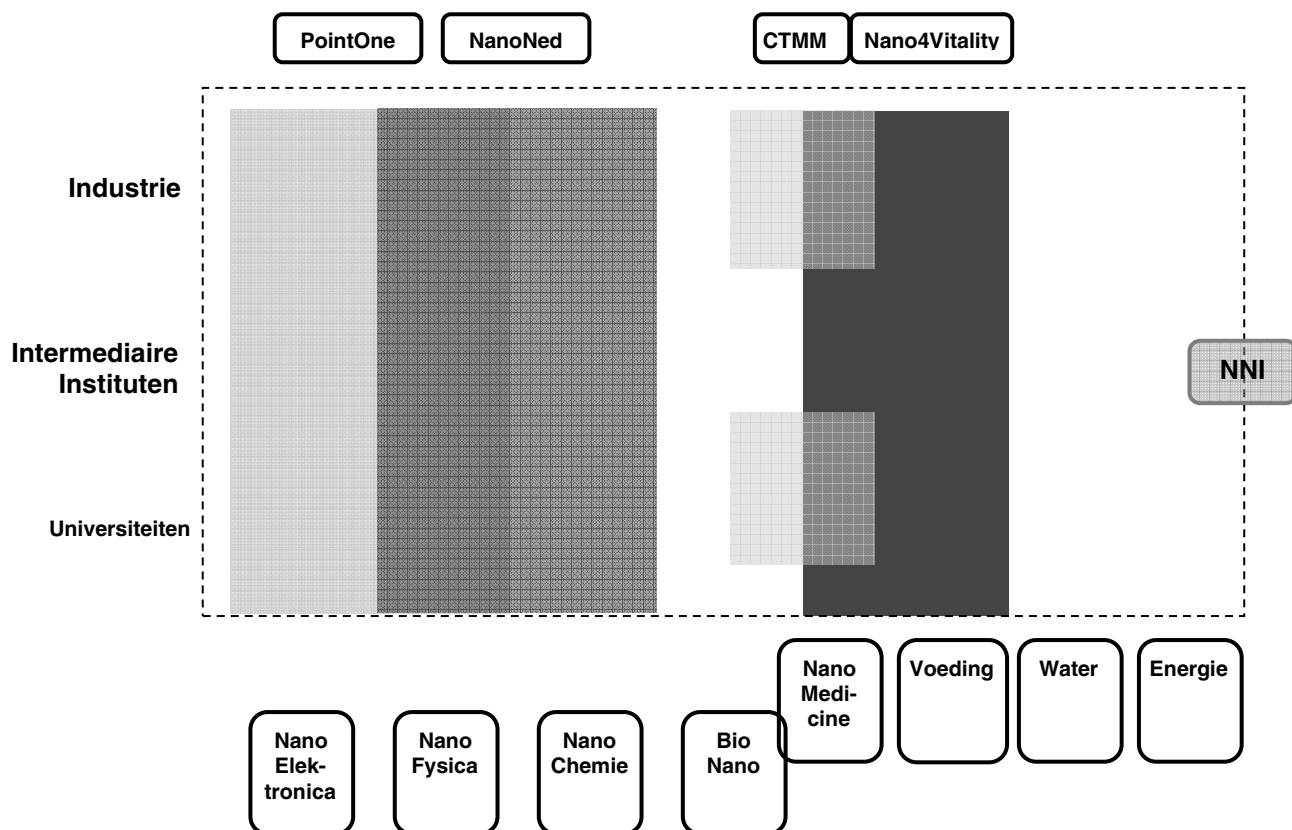
NNI-initiatief

Op dit moment wordt de kabinetsvisie door een interdepartementale werkgroep vertaald naar een actieplan voor de komende jaren. Met dit actieplan wordt beoogd om de kansen op de verschillende terreinen te benutten, maar dan in evenwicht met de andere aspecten van nanotechnologie (zoals de risico's, ethische aspecten en juridische aspecten). Als onderdeel van het op te stellen actieplan wordt op dit moment de laatste hand gelegd aan een brede strategische onderzoeksagenda voor het nano-onderzoek in de komende periode⁵⁶. Het kabinet heeft NanoNed, STW en FOM gevraagd om deze agenda – die de naam **Netherlands Nano Initiative (NNI)** heeft meegekregen – op te stellen.

In deze agenda zal tot een verdere uitwerking en invulling worden gekomen voor voornoemde hoofdlijnen van onderzoek waarop de komende jaren ingezet zal gaan worden. Uit de gevoerde gesprekken blijkt dat in de conceptversie van het NNI-document een **zevental thema's** zijn uitgewerkt, namelijk de vijf hoofdlijnen uit schema 3 – waarbij 'waterzuivering' en 'energievoorziening' als afzonderlijke thema's worden behandeld – en 'impact op de samenleving en risicoanalyse'. Deze uitwerking is gebaseerd op een aantal workshops waaraan enkele honderden personen uit de wetenschap, kennisinstituten, bedrijven, overheden en maatschappelijke organisaties hebben deelgenomen. In de loop van het jaar wordt verdere besluitvorming verwacht over financiering van het NNI. In het NNI zal ook aandacht worden gevraagd voor de verdere versterking van de onderzoeksinfrastructuur en opleidingen rondom nanotechnologie.

Brengen we de beoogde inhoud van het NNI in verband met lopende initiatieven, dan kan dit schematisch als volgt worden gevisualiseerd (zie schema 4). Naast Point One (zie paragraaf 6) en NanoNed (zie hiervoor) hebben we in dit schema een tweetal initiatieven gepositioneerd, namelijk het Center for Transnational Molecular Medicine (CTMM) en Nano4Vitality. Beide initiatieven zullen we in paragraaf 5 kort toelichten.

⁵⁶ Dit Netherlands Nano Initiative (NNI) kan min of meer als opvolger van het NanoNed-programma worden gezien. NanoNed zal namelijk ultimo 2010 afgerond worden.

Schema 4 Verband tussen toekomstig NNI-programma en huidige programma's

Bron: Gesprek met prof. R. Coehoorn (bewerkt)

Uit het bovenstaande schema blijkt dat de belangrijkste thema's van huidige programma's ook een plaats zullen krijgen in het beoogde NNI. Daarnaast zal het NNI een aantal 'witte vlekken' opvullen: thema's waaraan op dit moment geen programmatische aandacht wordt besteed (zoals water en energie), zullen alsnog opgepakt worden binnen de kaders van het NNI.

Toekomstige versterking nano-faciliteiten

Ook voor de verdere versterking van de onderzoeksinfrastructuur voor nanotechnologie – zoals dat vanuit NanoLab NL is gestimuleerd – wordt gewerkt aan een vervolg. Vanuit de nano-onderzoeksgemeenschap is een plan ingediend bij de Commissie Nationale Roadmap Grootschalige Onderzoeksfaciliteiten (de zogenaamde 'Commissie Van Velzen'). Deze commissie zal de minister van OCW adviseren over de belangrijkste richtingen voor investeringen in grootschalige onderzoeksfaciliteiten voor grensverleggend onderzoek in de komende vijf tot tien jaar. Het advies zal aansluiten bij de in Nederland aanwezige wetenschappelijke sterktes en bij het advies van de European Strategy Forum for Research Infrastructures (ESFRI), die in kaart heeft gebracht welke faciliteiten voor Europa van belang zijn.

4. Rol van nanotechnologie bij maatschappelijke vraagstukken

Lange tijd werd nanotechnologie als de technologie van de grote beloften beschouwd. De stand van de technologie is op dit moment dat de omslag wordt gemaakt waarbij belangrijke doorbraken naar applicaties worden gerealiseerd en concrete toepassingen op de markt verschijnen. Nanotechnologie is dan ook een min of meer gangbaar middel geworden om materialen, producten en systemen te verbeteren in bijna alle denkbare sectoren van de economie. In het verlengde hiervan begint de invloed op **maatschappelijke vraagstukken** zich dan ook steeds duidelijker te manifesteren. Wat dit aangaat kan dan ook geconcludeerd worden dat het onderzoek aan het CfNA in hoge mate maatschappelijk relevant is. Er zijn namelijk enkele maatschappelijk zeer relevante vraagstukken te benoemen die direct gerelateerd kunnen worden aan onderzoek dat wordt verricht vanuit het CfNA. In het onderstaande geven we ter illustratie een aantal voorbeelden. Daarbij gaan we achtereenvolgens in op:

- A. Gezondheid
- B. Voeding
- C. Water
- D. Energie

Bij de navolgende beschrijving hebben we ons vooral gebaseerd op bestaande schriftelijke bronnen en een deel van de gevoerde gesprekken. We merken hierbij op dat we niet de intentie hebben gehad om een allesomvattend en uitputtend overzicht te geven.

A. Gezondheid

De vraag naar gezondheidszorg en gezondheidsgerelateerde producten neemt sterk toe. De maatschappelijke relevantie van dit thema zal in de komende jaren alleen nog maar toenemen als gevolg van onder meer demografische ontwikkelingen⁵⁷, de economische groei en ontwikkelingen op medisch-technologisch gebied. Mede door de toename van het aantal ouderdomsgebreken, een grotere behoefte aan een betere kwaliteit van leven van de (steeds ouder wordende) bevolking en een meer toegankelijke zorg, doen burgers een intensiever beroep op zorgvoorzieningen. Dit heeft een sterke stijging van de zorguitgaven tot gevolg. Om dit in de hand te houden, neemt de beleidsmatige aandacht voor efficiency- en kwaliteitsverbeteringen toe. De groeiende zorgvraag heeft ook tot gevolg dat er een sterk uitdijende markt voor biomedische toepassingen is ontstaan. Het gaat daarbij dan om medische producten en systemen voor zowel de institutionele gezondheidszorg als individuele consumenten. In korte tijd is 'health' een interessante markt geworden voor bedrijven als bijvoorbeeld Philips.

Met de toepassing van nanotechnologie in de medische sfeer – ook wel aangeduid met de term **Nanomedicine** – ontstaan nieuwe en sterk verbeterde mogelijkheden voor preventie, diagnose, behandeling en monitoring van ziektes. Bij Nanomedicine gaat het om de toepassing van kunstmatige nanostructuren (zoals nanodeeltjes en nanodevices) op dezelfde schaalgrootte als biologische entiteiten, die in interactie staan met biomoleculen op de celwand of binnen in de cel. Nanomedicine leidt tot nieuwe natuurkundige, chemische en biologische materiaaleigenschappen op nanoschaal die doorbraken in de gezondheidszorg tot gevolg zullen hebben. Naar verwachting staan we aan de vooravond van een groot aantal veelbelovende applicaties op dit terrein. Inmiddels zijn de eerste antitumor- en antischimmelmiddelen al op de markt gebracht⁵⁸. Door strenge veiligheidseisen zijn klinische toepassingen vooralsnog schaars. Net als bij andere toepassingsgebieden wordt ook bij het on-

⁵⁷ Mede door de vergrijzing wordt verwacht dat de prevalentie van een aantal chronische aandoeningen tussen 2003 en 2025 sterk toenemen, bijvoorbeeld op het gebied van hartfalen (+47%), dementie (+45%), beroerte (+44%), gezichtsstoornissen (+43%), coronaire hartziekten (+42%), etc. (STG/Health Management Forum, 2008).

⁵⁸ Gezondheidsraad, *Betekenis van nanotechnologieën voor de gezondheid* (2006)

derzoek op het gebied van Nanomedicine aandacht besteed aan de risico's van het toepassen van nanotechnologie voor de gezondheid.

In het visiedocument⁵⁹ en de SRA⁶⁰ van het European Technology Platform on NanoMedicine – waarin de belangrijkste industrieën in de medische technologie in Europa zijn vertegenwoordigd – is een aantal ziektes geïdentificeerd die in de komende tien jaar (en de decennia daarna) het meest zullen gaan profiteren van nanotechnologie, namelijk kanker, hart- vaatvaten, longziekten, spierziekten, neurologische aandoeningen, diabetes en bacteriële en virale infectieziekten. Van de doorbraken die bij deze ziektes worden voorzien, mogen grote maatschappelijke effecten worden verwacht.

Als een 'rode draad' komt in verschillende nationale en internationale visiedocumenten en strategische research agenda's⁶¹ telkens een aantal veelbelovende toepassingsgebieden naar voren, waarop verdere onderzoeksinspanningen gericht dienen te worden. Deze onderzoeksgebieden hebben betrekking op:

- *in-vitro diagnostiek*: enkelvoudige biosensor of geïntegreerde biosensingsystemen waarmee de aanwezigheid, activiteit en concentratie van specifieke biologische moleculen in vloeistoffen kunnen worden gemeten. Met nano-tools – zoals lab-on-a chip – kunnen met kleinere samples veel sneller en met een veel grotere nauwkeurigheid biologische data worden verkregen. De mogelijkheden voor een vroege diagnose en monitoring van het ziekte-/behandelproces worden hiermee verruimd. Dit geldt overigens ook voor zelfdiagnostiek in de thuisomgeving, een applicatiegebied dat aansluit bij belangrijke trend binnen de gezondheidszorg, namelijk de 'ontzorging' of decentrale zorg;
- *nano-imaging (voor in-vivo diagnostiek)*⁶²: door het gebruik van nanodeeltjes driedimensionaal imageren van ziektes – op het niveau van een enkelvoudige molecuul of cel – om ziektes zo vroeg mogelijk te detecteren en de effectiviteit van de behandeling te monitoren. Dit vraagt om geavanceerde, steeds meer verfijnde imaging technieken, de ontwikkeling van contrastmiddelen en agents die ziektespecifieke informatie bevatten;
- *gerichte afgifte van medicijnen*: het gericht bezorgen van medicatie op die plekken in het lichaam waar deze het meest werkzaam moet en zal zijn. Bij deze 'drug delivery systems' worden nanostructuren enerzijds gebruikt als 'voertuig' om het medicijn naar de juiste plek in het lichaam te brengen en daar de cel of celkern binnen te laten dringen en anderzijds als verpakking of omhulsel rond de moleculen van een medicijn om het op het juiste moment op een gecontroleerde manier af te geven. Dit zal resulteren in een hogere effectiviteit van de behandeling en reductie van ongewenste bijeffecten;
- *reconstructieve medicijnen*: door intelligente biomaterialen, smart implantaten en cell-based behandelingen het afweermechanisme van het menselijk lichaam succesvol stimuleren om zieke en beschadigde weefsels te herstellen.

Verschillende gesprekspartners hebben aangegeven dat het terrein van de Nanomedicine een kansrijk gebied is voor het CfNA-onderzoek met – op termijn – veel toepassingsmogelijkheden. Aan elk van de 3TU-instituten die het CfNA vormen, wordt onderzoek verricht dat betrekking heeft op – of ten dienste staat aan – Nanomedicine. Binnen MESA+ heeft een belangrijk deel van het nano-onderzoek raakvlakken met het gezondheidsvraagstuk (onder andere op het gebied van diagnostiek, lab-on-a chip, drug delivery systemen). Daartoe wordt overigens intensief samengewerkt met het Institute for Biomedical Technology (BMTI), een interdisci-

⁵⁹ European Technology Platform on NanoMedicine. *Nanotechnology for Health. Vision Paper and Basis for a Strategic Research Agenda for NanoMedicine*, september 2005

⁶⁰ European Technology Platform on NanoMedicine. *Strategic Research Agenda for Nanomedicine*, November 2006

⁶¹ Naast de voornoemde documenten van het ETP on NanoMedicine komt dit bijvoorbeeld ook naar voren in The Royal Society & The Royal Academy of Engineering (2004), het conceptplan voor het NNI, etc.

⁶² In sommige visiedocumenten en SRA's wordt imaging als deelgebied binnen de diagnostiek beschouwd.

plinair onderzoeksinstituut van de UT waarin kennis uit de biomedische technologie/engineering, life sciences, nanotechnologie en ICT samengebracht wordt. Vanuit dit instituut wordt samengewerkt met academische ziekenhuizen, andere zorginstellingen en het bedrijfsleven (zowel het grotere bedrijfsleven, het regionale MKB als spin-off bedrijven). Het cNM heeft enkele onderzoeksgroepen die onder meer met moleculaire biosensoren, imaging en lab-on-a-chip bezig houden. Het Kavli-instituut ontwikkelt onder meer nano-instrumenten waarmee onderzoek en de vertaling naar toepassingen op dit gebied mogelijk wordt gemaakt. De invloed van het CfNA-onderzoek op dit maatschappelijk vraagstuk komt overigens ook tot uitdrukking in het voornoemde BNA Centre of Excellence.

B. Voeding⁶³

Een maatschappelijk thema dat min of meer in het verlengde ligt van gezondheid, heeft betrekking op voeding. Een belangrijke uitdaging waar de voedingsmiddelenindustrie nu voor staat – en wat ook grote marktkansen biedt – is het produceren van een nieuwe generatie **voeding** dat bijdraagt aan een **gezonde leefstijl**. Met name de relatie tussen ongezonde voeding en overgewicht staat momenteel volop in de publieke belangstelling. Het aantal mensen met overgewicht of obesitas stijgt namelijk snel. In toenemende mate wordt binnen de voedingsmiddelenindustrie gezocht naar geschikte vervangers van vet en suiker. Gezondheid is op dit moment al de belangrijkste 'driver' voor innovaties in de voedingsmiddelenindustrie⁶⁴.

In de *Stakeholders' Proposal for a Strategic Research Agenda 2006-2020* van het European Technology Platform Food for Life wordt ook de verbinding gemaakt tussen **voeding en gezondheid**. Daarbij wordt niet alleen de link gelegd naar obesitas, maar ook met ziektes als diabetes, hart- en vaatziekten en kanker. Eén van de (wetenschappelijke) uitdagingen die in dit visiedocument worden gepresenteerd is om de impact van voeding op de gezondheid op verschillende schaalniveaus – zowel op individueel celniveau als het gehele lichaam – te ontrafelen. Inzicht hierin biedt namelijk mogelijkheden om aan voedingsmiddelen eigenschappen toe te voegen die een positieve invloed hebben op de gezondheid van de mens. Met name door de ontwikkeling op het gebied van DNA-onderzoek binnen de life sciences en de beschikbaarheid van nieuwe technologieën zoals als imaging en nanotechnologie, zal een enorme 'boost' geven aan de kennisontwikkeling op dit terrein.

Consumenten en food experts kunnen niet meer om nanotechnologie heen. In supermarkten zijn 'nano-foods' al volop verkrijgbaar. Om bier te filteren worden nano-zeven gebruikt en nanochips geven sneller en gedetailleerder de microbiologische veiligheid weer. ... Met nanotechnologie kun je bijvoorbeeld functionele stoffen als vitaminen en mineralen 'inpakken', waardoor ze beter oplosbaar zijn. Dit kan de geleidelijke afgifte na consumptie bevorderen.

(Bron: NVVL/Food Valley)

Ook op het gebied van **voedselkwaliteit** worden innovaties verwacht als gevolg van ontwikkelingen in de micro- en nanotechnologie. Nieuwe typen voedingsmiddelen – met nieuwe ingrediënten, (smaak)eigenschappen en/of structuren – zullen ontwikkeld worden die veel meer aansluiten bij wensen en behoeften van consumenten. Bij het ontwikkelen van deze innovatieve 'tailor-made food products' (en de vertaling ervan naar productieprocessen) zal nanotechnologie een belangrijke rol vervullen. Hierbij worden biotechnologie en nanotechnologie steeds meer met elkaar vervlochten.

⁶³ In de voornoemde kabinetsvisie werd gesproken van 'voeding en landbouw'. In deze omgevingsanalyse beperken we ons tot voedsel in relatie tot gezondheid en kwaliteit. De meer landboungerelateerde deelonderwerpen – duurzame landbouw, precisielandbouw en veterinaire gezondheid – laten we buiten beschouwing. In de verschillende EU-documenten – zoals het visiedocument en de SRA van het European Technology Platform for Global Animal Health – wordt ook nauwelijks expliciet aandacht besteed aan de mogelijkheden en de meerwaarde van nanotechnologie.

⁶⁴ Norton, I., P. Fryer en S. Moore, 2006.

Uit schema 4 blijkt al dat het Nano4Vitality-programma zich toelegt op het toepassen van nanotechnologie in de sfeer van voeding en gezondheid. Vanuit dit programma in Oost-Nederland worden innovaties op het gebied van food & health producten gestimuleerd. Daartoe worden industrie-gedreven waardeketens gecreëerd: centraal daarin staat de valorisatie van nanotechnologie door de keten van wetenschap naar marktintroductie integraal te benaderen. Binnen dit programma wordt ook subsidie verstrekt voor onderzoeks- en ontwikkelingsprojecten op een viertal thema's, namelijk:

- Sensors & Analysis systems
- Active packaging
- Processing technology
- Encapsulation & Delivery

Deze thema's passen bij de kansen en uitdagingen op de maatschappelijke thema's 'gezondheid' en 'voeding'.

(Bron: Nano4Vitality)

Op initiatief van MinacNed⁶⁵ – een netwerk van partijen in de kennisketen dat tot doel heeft om de economische activiteit in Nederland op het gebied van de micro- en nanotechnologie te stimuleren – is in 2006 een roadmap verschenen over de kansen en mogelijkheden van deze technologieën voor de voedingsmiddelensector en haar toeleveranciers. Uit deze roadmap komen vier thema's naar boven die als kansrijk worden aangemerkt, namelijk:

- *Filteren en fractioneren*: het zuiveren en filteren van grondstoffen en halffabricaten en het vervangen van ongezonde bestanddelen van voedingsmiddelen door gezonde bestanddelen;
- *Sensor-/detectiesystemen en processing*: voor het meten van de kwaliteit van voedsel (of bestanddelen) en het monitoren van het productieproces alsmede het op kleinere lengteschaal inrichten van voedselproductieprocessen (waardoor nieuwe typen voedingsmiddelen kunnen worden vervaardigd);
- *Emulsies, textuur en afgiftesystemen*: het ontwikkelen van nieuwe combinaties van ingrediënten die tot dusver nog niet (in een industriële situatie) verwerkt kunnen worden en het ontwikkelen van delivery-

systemen waarmee (combinaties van) functionele ingrediënten gedoseerd en pas op een vooraf bepaald moment vrijkomen (bijvoorbeeld tijdens de bereiding of spijsvertering);

- *Verpakking en logistiek*: innovaties in verpakkingen om het voedsel veilig en vers

te houden, de houdbaarheid te verlengen en de negatieve invloeden van buitenaf te verkleinen. Ook het integreren van sensoren of radio frequency identification (RFID's) in verpakkingen (om de samenstelling, herkomst en actuele status te meten) wordt als kansrijk applicatiegebied op dit terrein gezien⁶⁶.

Op dit vraagstuk wordt vanuit het CfNA onderzoek verricht door onderzoeksgroepen die zich toegelegd hebben op het deelterrein 'nanofluidics'. Dit is vooral geconcentreerd bij MESA+ en in mindere mate Kavli.

C. Water

In het visiedocument⁶⁷ en de SRA⁶⁸ van het Water Supply and Sanitation Technology Platform is een groot aantal ambities geformuleerd om tot een veilige, duurzame en efficiënte watervoorziening in Europa te komen. Het gaat daarbij zowel om de drinkwatervoorziening als het gebruik van water in industriële processen. Hiervoor zullen in de komende decennia nieuwe, kostenefficiënte watertechnologieën beschikbaar moeten komen, zoals bijvoorbeeld sensortechnologieën voor de online

⁶⁵ Dit netwerk is gelieerd aan de FHI Federatie Het Instrument. Tot de 'founding fathers' van dit MinacNed behoren onder meer MESA+, DIMES en de 3ME-faculteit van de TU Delft.

⁶⁶ Prisma en partners, *Roadmap Microsystem- & Nanotechnology in Food & Nutrition*, 2006

⁶⁷ Water Supply and Sanitation Technology Platform (2005), *Water safe, strong and sustainable. European vision for water supply and sanitation in 2030*.

⁶⁸ Water Supply and Sanitation Technology Platform (2006), *Strategic Research Agenda. Water Research. A necessary investment in our common future*.

monitoring van de waterkwaliteit (bijvoorbeeld het meten van de aanwezigheid van mineralen, pH en contaminanten), waterbehandelingssystemen (filtratietechnieken om bijvoorbeeld waardevolle stoffen uit water halen en vervuild water te kunnen hergebruiken) en technologieën om energie uit afvalwater te verkrijgen.

Nanotechnologie is één van de 'enabling technologies' waarmee dit soort ambities kunnen worden gerealiseerd. Voor de filtering van verschillende stoffen uit water zijn ultrafijne membranen – zeven met poriën variërend van enkele tot enkele honderden nanometers – nodig. In de sfeer van materiaaltechnologie zijn inmiddels (prototype) filtersystemen van koolstofvezels ontwikkeld waarbij zonder chemicaliën te gebruiken water gezuiverd kan worden. Een andere applicatiemogelijkheid van nanotechnologie in de sfeer van de waterzuivering is het toepassen van nanodeeltjes, die zich binden aan ongewenste componenten van grond- of oppervlaktewater en zich transformeren tot onschadelijke verbindingen⁶⁹. Tot slot biedt nanotechnologie mogelijkheden om met zeer kleine 'lab-on-a-chip' meetinstrumenten de waterkwaliteit te monitoren. Door kleine hoeveelheden water door nanokanaaltjes te laten stromen kan ter plekke snelle en accurate diagnoses van de waterkwaliteit te maken.

Bij het onderzoek op het gebied van waterzuivering komen verschillende technologieën bij elkaar, zoals biotechnologie, scheidingstechnologie, materiaaltechnologie en nano-technologie. Vanuit elk van de drie TU's wordt geparticipeerd in onderzoeksprogramma's op dit terrein.

D. Energie

Dit maatschappelijke thema is verbonden aan het vraagstuk van de eindigheid van de voorraden aan fossiele brandstoffen, in combinatie met de verdubbeling van de mondiale energiebehoefte als gevolg van de bevolkingsgroei en de economische expansie van landen als India en China. Om aan deze groeiende energievraag te kunnen voldoen zal de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen moeten worden verminderd en een transitie moeten worden gemaakt naar andere, duurzame vormen van energie (zoals verbranding van biomassa, zonne-energie, windenergie, kernenergie, de omzetting van zonne-energie in waterstof, etc.). Zowel in het EU-beleid als in het nationale beleid vormt de transitie naar duurzame, niet-fossiele energiebronnen een belangrijk speerpunt van beleid.

Omdat deze transitie nog enkele decennia in beslag zal nemen wordt in beleidsmatig opzicht ook aandacht besteed aan energiebesparing, meer efficiency in de energie-opwekking en het beperken van de negatieve milieugevolgen van verbranding van fossiele brandstoffen ('clean fossil energy'). Uit de Technology Map van het vorig jaar gepresenteerde EU-rapport 'A European Strategic Energy Technology Plan' blijkt dat er belangrijke onderzoeksuitdagingen bestaan in de verbetering van conversietechnieken, (verbeterde) afvangst van CO₂, de toepassing van nieuwe materialen (zoals membranen) en (veiligheid van) opslag van CO₂.

Zowel in het transitieproces als de energiebesparing/efficiency in de energieopwekking kan nanotechnologie een belangrijke toegevoegde waarde hebben. Op verschillende deelterreinen van het energievraagstuk doen zich applicatiemogelijkheden voor die vooral materiaalkundig van aard zijn. Voorbeelden hiervan zijn:

- materialen voor de opslag van energie in batterijen (nanostructuren voor lithium-ion batterijen), waterstof (nanogestructureerde membranen waarmee de chemische energie van waterstof omgezet kan worden in elektriciteit) en brandstofcellen (nano-membranen voor betere katalyseprocessen, zodat met een kleinere brandstofcel een groter rendement kan worden gerealiseerd);

⁶⁹ Zie ook: The Royal Society & The Royal Academy of Engineering, 2004

- de toepassing nanogestructureerde materialen voor de scheiding en afvangst van CO₂ in het kader van clean fossil energy (waardoor bij het gebruik van fossiele brandstof minder CO₂-afstoot ontstaat);
- verbetering van de conversie-efficiency van zonnecellen, door de toepassing van quantum dot-structuren, de ontwikkeling van een zonnecel gebaseerd op nano-deeltjes en de ontwikkeling van organische zonnecellen;
- zuiniger omgaan met energie door het ontwikkelen van high-performance materialen (die lichter en tegelijkertijd sterker zijn) en Light Emitting Diodes (LED's).

Energiegerelateerd onderzoek binnen het nanobereik vindt aan elk van de drie CfNA-onderdelen plaats. Binnen MESA+ wordt onder meer onderzoek gedaan naar nieuwe materialen voor zonne-energie, biomassa, membraantechnologie en brandstofcellen. Zonne-energie en brandstofcellen krijgen aandacht vanuit de TUD. Het cNM doet onder meer onderzoek naar zonnecellen, energiebesparing (LED's) en energieopslag in een nieuwe generatie, geïntegreerde batterijen. Nanotechnologie kan dus een bijdrage leveren aan de een duurzame en meer efficiënte energievoorziening door onder meer betere filters, katalysatoren en efficiëntere brandstofcellen te realiseren. Op dit terrein doen zich overigens de nodige raakvlakken voor met het CoC SET (zie Bijlage 1).

5. Marktrelevantie van nanotechnologie(-onderzoek)

In deze paragraaf gaan we in op de **economische relevantie** van het CfNA. Daarbij zullen we een aantal verschillende sporen bewandelen die we hieronder verder uitwerken. Allereerst zullen we een beeld schetsen van de nanotechnologie markt in algemene zin. Vervolgens gaan we in op de valorisatie van kennis via spin-off ondernemingen. Ook uit de participatie van het bedrijfsleven en de intermediaire kennisinstituten kan een indicatie worden verkregen van de marktrelevantie van nano-onderzoek. We zullen dit laatste illustreren aan de hand van een aantal belangrijke programma's op het gebied van nanotechnologie.

De markt voor nanotechnologie

Een eerste constatering is dat nanotechnologie een 'enabling technology' is om materialen, systemen en producten te verbeteren in bijna alle denkbare sectoren van de economie. Er kan dan ook niet van 'één markt' worden gesproken. Bij de bespreking van de maatschappelijke relevantie in de voorgaande paragraaf zijn al enkele voorbeelden gegeven van sectoren die door nanotechnologie zullen worden beïnvloed, namelijk de zorg/farmacie, de voedingsmiddelenindustrie, de watersector, de energiesector en branches die aan deze sectoren leveren. In The Royal Society & The Royal Academy of Engineering (2004) wordt het volgende over de economische (markt)kansen van nanotechnologie opgemerkt: *"Overall, it seems that effects will be incremental in the short time but, given the fact that nanotechnologies are likely to enable a great many products and processes, they may well have significant economic impact in the long term. Much will depend upon which particular applications eventually come to market, and the order in which they are developed."*

De 'time-to-market' van mogelijke applicaties van nanotechnologie loopt sterk uiteen. Inmiddels is echter de eerste generatie producten binnen het nanobereik op de markt gebracht. Uit de verschillende gesprekken en documenten is naar voren gekomen dat er een drietal markten zijn, die inmiddels al tot ontwikkeling zijn gekomen, namelijk:

- a. *de semiconductormarkt*, dus de toepassing van optische lithografische bij de productie van chips. Een belangrijke ontwikkeling in de semiconductor industrie is de Wet van Moore, waarbij de lijnbreedte een keer per jaar met een factor wordt verkleind. Feitelijk gaat de ontwikkeling in de praktijk sneller dan de Wet

van Moore. Bij ASML is door de introductie van immersie technologie een ontwikkeling in gang gezet waarbij elk half jaar nieuwe machines op de markt verschijnen⁷⁰. Tot 2014 zal de lijnbreedte verkleind worden van 45 nanometer naar uiteindelijk 22 nanometer; de foutmarges veranderen mee van 3 nanometer naar 1 nanometer⁷¹;

- b. *de markt van de nanoparticles*: het gebruik van nanodeeltjes in verschillende typen producten, zoals verven/coatings, inkt, snij- en boorwerktuigen, voedingsmiddelen en farmaceutische producten. Onder meer bedrijven als AKZONobel en DSM zijn actief op dit soort terreinen;
- c. *de markt van equipment en instrumenten* voor nano-toepassingen en nano-onderzoek. Een belangrijke speler op dit terrein is FEI Company, de producent van elektronenmicroscopen. Deze spin-off van Philips heeft haar technologieontwikkeling voor een belangrijk deel in Eindhoven geconcentreerd.

Door de voortschrijdende trend van miniaturising, sociaal-economische ontwikkelingen (zie voorgaande paragraaf) en de marktperspectieven die worden herkend, gaan steeds meer bedrijven investeren in onderzoek naar nano-applicaties en de ontwikkeling van producten binnen het nanobereik waarmee men zich van de concurrent kan onderscheiden. Volgens een studie van SenterNovem⁷² waren er in ons land in 2005 ongeveer 200 bedrijven actief op het gebied van nanotechnologieën. In 2002 bedroeg dit aantal bedrijven namelijk nog maar 80. Dit is een indicatie dat bedrijven goede marktperspectieven voor nanotechnologie zien. Over de omzet die deze bedrijven genereren met nanoprodukten zijn – voor zover ons bekend – geen gegevens beschikbaar.

Over het algemeen zijn de bedrijven die zich op de nanomarkt begeven R&D-intensieve bedrijven. Ten tijde van het SenterNovem-onderzoek deden maar liefst 13 van de top 20 R&D-bedrijven in ons land aan onderzoek op het gebied van nanotechnologieën. Bij deze R&D-activiteiten wordt overigens volop samengewerkt in publiek-private verbanden, waaronder met de onderzoeksgroepen aan het CfNA. We komen hier verderop in deze paragraaf nog op terug.

Spin-off ondernemingen

In de voornoemde SenterNovem-studie werd opgemerkt dat er inmiddels ook enkele tientallen startende ondernemingen actief zijn op het gebied van nanotechnologie. Een belangrijk deel van deze starters bestaat uit spin-off ondernemingen van kennisinstellingen. Het vertalen van wetenschappelijke kennis naar economische waarde in de vorm van een spin-off onderneming is één van de belangrijkste vormen van kennisvalorisatie. In het geval van het nano-onderzoek aan het CfNA vormt MESA+ veruit de meest belangrijke bron voor spin-off ondernemingen. Van de tientallen spin-off ondernemingen die inmiddels vanuit MESA+ zijn ontstaan, houdt een groot aantal zich (onder andere) bezig met nanotechnologie. In het onderstaande schema staan hiervan enkele voorbeelden genoemd. Kenmerkend van deze spin-off ondernemingen is overigens dat het assortiment van producten en diensten veelal bestaat uit applicaties van zowel micro(systeem)technologie als nanotechnologie.

⁷⁰ Bureau Bartels, *Maatschappelijke omgevingsanalyse CoC Fluid & Solid Mechanics*, 2008, zie hoofdstuk 2 van deze bundel

⁷¹ Verschillende externe gesprekspartners hebben aangegeven dat de Nederland wetenschappelijke kennispositie op het gebied van de Wet van Moore en More than Moore niet sterk is en dat het Belgische instituut IMEC hierin absoluut leidend is. Voor 'Beyond Moore' – waarbij bionanotechnologie wordt geïntegreerd in chips – bestaan er voor de Nederlandse wetenschap volgens deze gesprekspartners wel goede kansen.

⁷² SenterNovem, *Zicht op nanotechnologie in Nederland 2002-2004. Beleidsinteractierapport 2005-2008*, 2005

Schema 5 Voorbeelden van nano spin-off ondernemingen die voortgekomen zijn vanuit ME-SA+

Naam spin-off onderneming	Toepassingsgebied/markt
Aquamarijn	Ontwikkelaar van microsysteem- en nanotoepassingen op het terrein van filtratie, analysesystemen, celdetectie, nanopatterning en micro moulding. Activiteiten in de nanosensortechnologie en de nanowires zijn ondergebracht in een aparte onderneming Nanosens.
LioniX	Ontwikkelaar en producent van micro(systeem)- en nanotechnologie op het gebied van geïntegreerde optica en microfluids voor toepassingen in de optische signaalprocessing (telecom, space), lab-on-a-chip systemen en bio-analyse apparatuur (life sciences, industriële procescontrole en space)
Immunicom	Ontwikkelaar en producent van medische diagnose- en onderzoeksproducten. Het assortiment bestaat uit verschillende producten en systemen voor celanalyse en moleculair onderzoek, met name gericht op tumorcellen.
Medimate	Spin-off van de BIOS Lab-on-a-Chip onderzoeksgroep binnen MESA+, die onder meer een op een lab-on-a-chip gebaseerde toepassing voor zelftesten op de markt brengt. Manisch-depressieve patiënten kunnen daarmee zelf het lithium-gehalte in het bloed testen. Deze onderneming is het resultaat van een Valorisation Grant vanuit NanoNed/STW.
Medspray	Ontwikkelaar van inhalatie- en spraytoepassingen voor patiënten met longziektes. De producten zitten nu in de klinische testfase.
PhoeniX	Ontwikkelaar van verschillende typen software voor micro- en nanotechnologie.
SoMateS	Onderzoeks- en adviesbureau op het gebied van functionele dunne lagen en coatings voor toepassingen in de nano-electronica. Dit is volgens opgave van STW een spin-off die voortkomt vanuit een NanoNed-project.

Overigens wordt in een aantal programma's ook expliciet aandacht besteed aan de commercialisatie van gegenereerde kennis in de vorm van spin-offs. Dit geldt bijvoorbeeld voor PointOne en het Nano4Vitality-programma.

Participatie bedrijfsleven in onderzoeksprogramma's

In het onderstaande zullen we ingaan op een aantal toepassingsgerichte nano-onderzoeksprogramma's waarin samengewerkt wordt door kennisinstellingen en bedrijven. Kenmerkend voor deze programma's is dat niet alleen kennisinstellingen maar ook het relevante bedrijfsleven actief – inhoudelijk en/of financieel – participeert. Dit is in feite al een belangrijke indicatie voor de marktrelevantie van deze programma's. Uit de gevoerde gesprekken komt overigens naar voren dat de financiële deelname van het bedrijfsleven aan dit soort programma's tot op heden nog beperkt is. Dit heeft te maken met de 'ontwikkelingsfase' waarin nanotechnologie zich op dit moment bevindt. In vergelijking tot de microsysteemtechnologie – waar wel sprake is van een omvangrijke financiële participatie door het bedrijfsleven – heeft nanotechnologie te maken met een faseachterstand. De verwachting van externe gesprekspartners is dat het bedrijfsleven naar de toekomst toe meer intensief zal participeren in het nano-onderzoek, waaronder dus ook in het 3TU-onderzoek op dit terrein aan het CfNA.

We merken overigens op dat we met het presenteren van onderstaande voorbeelden zeker geen volledigheid nagestreefd hebben. We zullen met name enkele voorbeelden bespreken van (grotere) onderzoeksprogramma's – die gerelateerd kunnen worden aan het onderzoek aan het CfNA – en waaraan ook bedrijven deelnemen.

In paragraaf 4 is al een toelichting gegeven op de inhoud van het **NanoNed-programma**. Daaruit kwam naar voren dat Philips en TNO belangrijke partijen zijn die actief participeren in het onderzoek dat het in het kader van NanoNed wordt uitgevoerd. Volgens opgave van de Technologiestichting STW – die het programamanagement van NanoNed voert – is TNO actief op de flagships NanoInstrumentation en NanoFluidics. Philips participeert in maar liefst acht flagships, namelijk NanoFabrication, NanoElectronic Materials, NanoFluidics, NanoPhotonics, NanoInstrumentation, Advanced NanoProbing, BioNanoSystems en Bottom Up Electronics. Van de 117,5 miljoen bijdragen vanuit de wetenschap en het bedrijfsleven (op het totale budget van 235 miljoen euro) komt dus een deel voor rekening van Philips en TNO, namelijk de eigen bijdragen aan hun onderzoeksprojecten.

In aanvulling op de deelname van TNO en Philips zijn ook andere bedrijven betrokken bij NanoNed. Zij participeren in zogenaamde 'gebruikerscommissies' van de gehonoreerde projecten. Leden van gebruikerscommissies worden vroegtijdig geïnformeerd over de voortgang en resultaten van het onderzoek en komen het eerst in aanmerking voor verder ontwikkelingswerk, exploitatie en toepassing van de verworven kennis⁷³. In schema 6 hebben we weergegeven welke bedrijven participeren in de gebruikerscommissies voor elk van de NanoNed-flagships.

⁷³ Technologiestichting STW, *Taak en werkwijze van STW-gebruikerscommissies*, 2004

Schema 6 Participatie bedrijfsleven in gebruikerscommissies van NanoNed-flagships

NanoNed flagship	Deelnemers gebruikerscommissies	
Nanofabricage	Philips Research	Pepscan Systems
	DSM Research	LioniX
	Tempress Systems	Holst Centre
	TNO	ASML
Nanospintronics	Twente Solid State Technology	IMEC
	Philips Research	Fiat Research Center
Nanofluidics	DSM Food Specialties	Organon
	LioniX	Avantium
	UK Micro and Nanotechnology (MNT)	Unilever Research
	Philips Research	Micronit Microfluidics
NanoPhotonics	Alcatel Vacuum Technology	Tempress Systems
	Philips Research	
NanoInstrumentation	ASML	Philips Research
	Carl Zeiss	IBS Precision Technology
	FEI Company	Sterrewacht Leiden
	SRON	
Advanced Nanoprobing	FEI Company	UMC Nijmegen
	Helianthos	Shell Global Solutions
	SmartTip	
NanoElectronic Materials	Philips Research	Océ-Technologies
	C2V	ASML
	Helianthos	Twente Solid State Technology
	NanoSpecials	
Bottom up Nano Electronics	Philips Research	ASML
	Sentron	Max Planck Institute
BioNanoSystems	Philips Research	Encapson
	DSM	Friesland Foods
	Fuji	
Chemistry & Physics of Individual Molecules	Philips Research	DSM
Quantum Computation	KEMA	
	IBM	Twente Solid State Technology
	NEC	C.W.I.
	Philips Research	

Bron: Opgave Technologiestichting STW, 2008

Uit het schema blijkt dat de interesse voor het nano-onderzoek vooral komt vanuit de grote R&D-concerns, zowel in Nederland gevestigde concerns als enkele buitenlandse concerns. Daarnaast wordt er ook in NanoNed-projecten geparticipeerd door enkele kleinere spin-off ondernemingen.

Het programma **Point One** is medio 2006 opgezet. Point One was het eerste innovatieprogramma binnen het sleutelgebied 'High Tech Systems en Materialen'. Het doel ervan is om de clustering en samenwerking van bedrijven op het terrein van nano-electronica en Embedded Systems te stimuleren. Met het programma moet de positie van de Nederlandse industrie en kennisinstellingen op de genoemde terreinen worden versterkt. Het initiatief voor Point One is genomen door belangrijke Nederlandse industriële partijen zoals Philips en ASML, kennisinstituten en de overheid.

Voor de pilotfase van Point One is in de periode tot en met 2009 circa 50 miljoen euro aan subsidie beschikbaar⁷⁴. Voor deze pilotfase zijn twee zogenaamde platformprojecten gehonoreerd (totale ondersteuning circa 29 miljoen euro subsidie). Naast deze twee projecten is er nog een subsidieprogramma voor R&D, haalbaarheidsprojecten en samenwerkingsprojecten. Hiervoor was in 2006 en 2007 14 miljoen euro aan subsidie gereserveerd en in 2008 ruim 9 miljoen euro. De overige middelen worden ingezet voor activiteiten rondom het verder ontwikkelen van het kenniscluster, menselijk kapitaal, MKB en starters. Voor de fase 2 van Point One is er een voorstel opgesteld waarbij Point One en PfHTS (zie hierna) worden geïntegreerd. Voor deze tweede fase is een SRA opgesteld, waarin voor nano-electronica de focus is komen te liggen op More than Moore-ontwikkelingen. Belangrijke markten voor nano-electronics zijn de gezondheidszorg, transport en mobiliteit, veiligheid, energie, milieu, communicatie en infotainment. Voor dit nano-deel van Point One is een aantal prioritaire thema's vastgesteld, namelijk radio-frequency, high-voltage and power, sensors and actuators, System-in-Package en heterogeneous and system-ability design method⁷⁵. Deze SRA is overigens in nauwe samenspraak met het bedrijfsleven tot stand gekomen⁷⁶.

Het **Programme for High Tech Systems (PfHTS)** komt voort uit een bundeling van de initiatieven voor het Instituut voor Precisiesystemen (als vervolg op het IOP-Precisietechnologie) en het Dutch Manufacturing Institute. Het PfHTS richt zich op het uitvoeren van precompetitief onderzoek en kennisvalorisatie op het gebied van geavanceerde bewegingssystemen voor de high tech industrie. In het programma wordt een drietal onderzoekssporen onderscheiden, waarvan ⁷⁷:

- a. Advanced Motion Systems for the semicon and printing industry
- b. Nano positioning and Scientific instruments
- c. Intelligent/Autonomous Motion Systems for the medical and domestic domain.

Met name het tweede onderzoeksspoor heeft raakvlakken met het onderzoek aan het CfNA. In het PfHTS worden de totale programmakosten op circa 80 miljoen euro geraamd. Hiervan heeft 75 miljoen euro betrekking op onderzoeksactiviteiten en 5 miljoen euro op netwerkactiviteiten. In de begroting van het PfHTS is geraamd dat het bedrijfsleven en de kennisinstellingen ieder een kwart van deze kosten voor hun rekening zullen nemen. Voor de overige financiering wordt dan een beroep gedaan op de Rijksoverheid (met name de ministeries van EZ en OCW).

MEMPHIS staat voor Merging Electronics and Micro & nano PHotonics in Integrated Systems. Het programma is gericht op het mixen en combineren van hoogfrequente elektronica-technologie en micro- en nanofotonica-technologie. Hierdoor kan een nieuwe generatie chips worden ontwikkeld, die vervolgens voor diverse applicatiegebieden gebruikt zullen gaan worden (zoals bijvoorbeeld voor medische toepassingen, communicatiemiddelen, displays en verlichting). MEMPHIS beschikt over een totaal budget van 35 miljoen euro. In 2007 is 18 miljoen euro subsidie toegekend vanuit de SmartMix-regeling. Het restant zal worden bijgedragen door het consortium dat voor dit programma is opgezet. Het MEMPHIS-consortium bestaat uit in totaal 22 partijen, afkomstig uit de wetenschap (het Kavli-instituut en Dimes van de TUD, MESA+ en CTIT van de UT, Cobra (TU/e), AMC, Vrije Universiteit, Erasmus MC), kennisinstututen (Amolf, Astron, NLR, TNO en IMEC) en het bedrijfsleven. De

⁷⁴ Brief Ministerie van Economische Zaken aan Tweede Kamer, 25 september 2005.

⁷⁵ Point One, *Point One. Strategic Research Agenda*, april 2008

⁷⁶ Wat betreft het nano-electronics deel binnen Point One kan een inhoudelijke relatie worden gelegd met de SRA van het European Nano-electronics Initiative Advisory Council (ENIAC). ENIAC heeft in haar SRA de volgende thema's centraal gesteld: More Moore, More than Moore, Heterogeneous Integration, Beyond CMOS, Design Methods and Tools en Equipment and Materials (ENIAC, 2007)

⁷⁷ Innovation Programme, High Tech Automotive Systems, Federatie Holland Automotive, December 2006.

grote concern die participeren zijn Philips (Lighting en Electronics), ASML, FEI en Alcatel. Opvallend is de ruime participatie vanuit het MKB: LioniX (die penvoerder is), Mapper, PhoeniX, Genexis, Tempres en River Diagnostics⁷⁸.

Het programma ***Nano IMaging under Industrial Conditions (NIMIC)*** heeft tot doel om fysische, chemische en biologische verschijnselen in atomen en moleculen zichtbaar te maken door de ontwikkeling van nieuwe typen microscopen. De focus ligt daarbij op het 'live' observeren en imageren van dit soort processen en verschijnselen in een industriële setting. De standaard microscopie-technieken (als SPM en TEM) – die uitgaan van kunstmatige laboratoriumcondities – volstaan hiervoor niet. Toepassingen van de nieuw te ontwikkelen microscopen worden onder meer verwacht in de katalyse, de medische toepassingen en verdere miniaturisering van computerchips.

Het NIMIC-programma wordt uitgevoerd door een consortium waaraan zowel de wetenschap als het bedrijfsleven deelneemt. De partners in dit consortium zijn academische onderzoeksgroepen die zich met de ontwikkeling van nano-instrumenten bezig houden (het Kavli instituut en de Universiteit Leiden), industriële bouwers van nano-instrumenten (FEI Company en Leiden Probe Microscopy) en beoogde (eind)gebruikers van deze instrumenten (LUMC, Antonie van Leeuwenhoekziekenhuis, het Nederlands Kanker Instituut en Albemarle Catalysts Company). Hiervoor is al opgemerkt dat de markt van nano-instrumenten inmiddels volop tot ontwikkeling is gekomen. NIMIC is in juli 2007 van start gegaan en heeft een looptijd van zes jaar. Het totale budget voor NIMIC bedraagt 24,1 miljoen euro. Hiervan wordt 60% bijgedragen vanuit het SmartMix-programma van de ministeries van EZ en OC&W, de overige 40% wordt opgebracht door de partijen in het consortium⁷⁹.

Het ***Center for Translational Molecular Medicine (CTMM)*** is in 2006 ontstaan uit de voormalige initiatieven Translational Cancer Research en het Center of Molecular Medicine. Het CTMM is een publiek-privaat netwerk van onderzoeksgroepen in kennisinstellingen en bedrijven dat zich richt op het onderzoeken en ontwikkelen van nieuwe technieken voor de diagnose en behandeling van oncologische, cardiovasculaire, neurodegeneratieve en infectie ziektebeelden. Het CTMM heeft zichzelf tot doel gesteld om een leidende Nederlandse innovator op het gebied van moleculaire diagnostiek en moleculaire imaging technologieën te worden. Bij de ontwikkeling van deze technologieën is een hoofdrol weggelegd voor zogenoemde 'biomarkers', afwijkende eiwitten in het bloed die al aantoonbaar zijn ruim voordat zich symptomen bij de patiënt openbaren. Door deze biomarkers vroegtijdig te identificeren, kunnen effectievere en minder belastende behandelmethoden worden ontwikkeld.

Inmiddels hebben meer dan 80 organisaties en bedrijven zich aangesloten bij CTMM. Hieronder zitten grote concerns als Philips (die haar cleanroomfaciliteiten voor nanotechnologie voor het CTMM-onderzoek ter beschikking stelt), Organon, FEI Company en DSM. Daarnaast participeert een breed scala aan MKB-ondernemingen. Ook een achttal academische ziekenhuizen participeert in het CTMM-consortium. Vanuit de drie TU's wordt deelgenomen door de TU/e.

Het is de bedoeling om in 2010 een portfolio van 20 tot 30 onderzoeksprojecten te beheren, die een totale onderzoekscapaciteit van 450 fte omvatten. Begin dit jaar zijn de eerste 9 projecten gehonoreerd, waaraan in totaal 150 miljoen euro beschikbaar is gesteld. In de loop van dit jaar zal een tweede tender worden uitgeschreven. Voor de periode 2007 tot en met 2012 wordt een onderzoeksbudget van 400 miljoen euro voorzien. Deze onderzoeksgelden worden verstrekt door het be-

⁷⁸ MEMPHIS: *Smart mixen van elektronen en fotonen*. In: Mikroniek, nummer 1, 2008

⁷⁹ Website NIMIC, 2008

drijfsleven, universitaire instellingen, de overheid en fondsen (zoals de Hartstichting, KWF Kankerbestrijding, Diabetes Fonds e.d.). Bij de start was inmiddels 165 miljoen euro toegezegd door de partijen in het consortium, waarvan 80 miljoen euro door de industriële partners⁸⁰.

Daarnaast zijn er in de afgelopen jaren vanuit de **fundingorganisaties STW en FOM** diverse (andere) programma's geïnitieerd, die betrekking hadden op/raakvlakken met nanotechnologie. Voorbeelden hiervan zijn:

- STW-perspectief programma Smart Systems in Package (SIP), een programma dat complementair is aan het vernoemde MEMPHIS-programma. Budget 5 miljoen euro;
- STW-perspectief programma Thin film nanofacturing. Budget 5,5 miljoen euro;
- FOM Industrial Partnership Programme Microphotonic light sources. Budget 1,7 miljoen euro, partner Philips;
- FOM Industrial Partnership Programme Extreme UV multilayer optics. Budget 7,9 miljoen euro, partner ASML;
- FOM Industrial Partnership Programme Microscopy and modification of nano-structures with focused electron and ion beams. Budget 2,7 miljoen euro, partner FEI Electron Optics.

Voor de genoemde STW-programma's geldt dat er sprake moet zijn van 25% co-financiering door kennisinstituten en/of bedrijven. Bij de IIP-programma's van FOM geldt dat nauw samengewerkt moet worden met bedrijfsonderzoekers en dat een of meerdere bedrijven minstens 50% van de onderzoekskosten voor hun rekening nemen.

Uit het bovenstaande kan afgeleid worden dat er uiteenlopende onderzoeksinitiatieven zijn waarin verschillende deelsegmenten van de nanotechnologie aandacht krijgen. In een belangrijk deel van deze initiatieven wordt de verbinding gelegd tussen het wetenschappelijk onderzoek en de applicatiemogelijkheden die hieruit (op termijn) voortkomen. Aan deze initiatieven wordt volop deelgenomen vanuit het bedrijfsleven, zowel door de grote R&D-concerns als middelgrote en kleine ondernemingen.

6. Inbedding CfNA in Europese onderzoeksagenda's

In de voorgaande paragrafen hebben we respectievelijk de maatschappelijke en marktrelevantie van nano(-onderzoek) vastgesteld. In deze paragraaf zullen we nagaan in hoeverre er sprake is van aansluiting van het CfNA bij Europese onderzoeksagenda's. Het gaat hierbij om onderzoeksagenda's die als doel hebben om de maatschappelijke en economische potenties van nano naar de toekomst zo goed mogelijk te benutten. We beginnen met de samenhang van het CfNA met het Zevende Kaderprogramma.

Samenhang CfNA-onderzoek met Zevende Kaderprogramma

In het **Zevende Kaderprogramma** heeft de Europese Unie haar beleid op het gebied van onderzoek, technologische ontwikkeling en demonstratie voor de periode 2007-2013 vastgesteld. In dit Kaderprogramma wordt een viertal programma's onderscheiden: Samenwerking, Ideeën, Mensen en Capaciteiten. Qua financieel volume is het programma Samenwerking verreweg het meest omvangrijk, namelijk circa 44 miljard euro. Vanuit het specifieke programma 'Samenwerking' wordt de samenwerking tussen de universiteiten, de industrie, onderzoekscentra en de overheid bevorderd, zowel binnen de EU als met de rest van de wereld.

⁸⁰ Website CTMM, 2008

In het kader van het **programma 'Samenwerking'** is een negental **prioritaire thema's** vastgesteld⁸¹. Deze thema's zijn gedefinieerd rondom veelbelovende kennis- en technologiegebieden. Een van deze speerpunten heeft betrekking op '**Nanowetenschappen, nanotechnologieën, materialen en nieuwe productietechnologieën**'. In 2007 zijn inmiddels calls geweest op ongeveer 50 deelthema's binnen de nanowetenschappen en de nanotechnologie, onder meer op het gebied van nano-elektronica, bionanotechnologie, nano-instrumentatie en nanomedicine. Hiermee was een bedrag van 300 tot 400 miljoen euro gemoeid. Voor het hele speerpunt 'Nanowetenschappen, nanotechnologieën, materialen en nieuwe productietechnologieën' is voor de periode 2007-2013 een budget van 3,5 miljard euro beschikbaar.

Ook binnen de beschrijving van andere prioritaire thema's wordt expliciet of impliciete ruimte geboden voor ondersteuning van nano-gerelateerd onderzoek. Zo is binnen het ICT een zestal technologische pijlers gedefinieerd. Een van deze pijlers heeft betrekking op nano-elektronica, fotonica en geïntegreerde micro/nano-systemen. Daarnaast kunnen ook inhoudelijke raakvlakken gevonden worden met de speerpunten 'gezondheid' en 'energie'.

European Technology Platforms

In Europees verband zijn in de afgelopen jaren verschillende zogenoemde Technology Platforms van de grond gekomen. Enkele platforms hebben betrekking op – of zijn vrij sterk gerelateerd aan – nanotechnologie. In het onderstaande schema staan deze platforms weergegeven.

⁸¹ Overigens kunnen ook de andere deelprogramma's binnen het Zevende Kaderprogramma relevant zijn voor de onderzoeksgemeenschap binnen het CfNA. Het gaat daarbij dan om 'Ideeën' (grensverleggend onderzoek), 'Mensen' (loopbaan onderzoekers/aantrekken getalenteerde onderzoekers), 'Capaciteiten' (onderzoeks-infrastructuur, regionale clusters, MKB, onderzoek in ultraperifere regio's).

Schema 7 Relevante European Technology Platforms voor nano-onderzoek

Naam ETP	Link met nano
European Technology Platform on NanoMedicine	Toepassing van nanotechnologie in de medische sfeer (zie hoofdstuk 5 hiervoor)
European Nanoelectronics Initiative Advisory Council (ENIAC)	Onderzoek naar en ontwikkelen van toepassingen van nano-elektronica
European Technology Platform for Micro- and NanoFacturing (MINAM)	Micro- en nanofabricage vanuit het perspectief van materiaal- en procestechnologie
European Technology Platform Food for Life	Nanotechnologie en imaging als technologie om relatie tussen voeding en gezondheid verder te ontrafelen (zie hoofdstuk 5 hiervoor)
European Technology Platform Advanced Engineering Materials and Technologies (EuMaT)	Het gebruik van nano-geassembleerde materialen in componenten en microsystemen
European Technology Platform for Sustainable Chemistry (SusChem)	Ontwikkeling van nieuwe producten door de combinatie van proteïnen en anorganische materialen op nanoschaal ten behoeve van de industriële biotechnologie en nieuwe nanomateriaaltoepassingen in katalyseprocessen in de chemische industrie
European Technology Platform on Smart Systems Integration (EPoSS)	Geïntegreerde micro- en nanosystemen in uiteenlopende toepassingsgebieden (zoals automotive, aeronautics, ICT, medische systemen en logistiek)
European Technology Platform on Industrial Safety (ETPIS)	Veiligheidsvraagstukken bij nanotechnologie en nanomaterialen

Bron: website Cordis, 2008

Uit het bovenstaande is gebleken dat het CfNA in principe goed ingebed is in verschillende Europese onderzoeksagenda's. Deze agenda's hebben als ambitie om het nano-onderzoek zodanig in te richten en te 'sturen' dat daarmee de maatschappelijke en economische potenties van nano zo goed mogelijk benut worden. Voor het onderzoek dat aan de drie instituten van het CfNA wordt verricht, kan veel raakvlakken (en dus kansen op financiering) worden gevonden in Brussel.

BIJLAGE 1 GERAADPLEEGDE PERSONEN

Prof.dr.ir. A. van den Berg (MESA+ Institute of Nanotechnology UT)

Prof.dr.ing. D.H.A. Blank (MESA+ Institute of Nanotechnology UT)

Prof.dr. R. Coehoorn (Philips Research/TU/e)

Ir. A.P. Couzy (Ministerie van Economische Zaken)

Dr. L.H. Gielgens (Technologiestichting STW)

Dr. A.F. de Jong (FEI)

Prof.dr. B. Koopmans (Center for NanoMaterial TU/e)

Ir. J.H.M. Lombaers TNO/Holst Centrum

Prof.dr. M.W.J. Prins (Philips Research/Center for NanoMaterial TU/e)

Prof.dr. H.W.M. Salemink (Kavli Institute for Nanoscience TUD)

Mevr. Prof.dr. P.M. Sarro (DIMES/TUD)

Dr.ir. G.W. Visser (DSM)

Prof.dr. H.W. Zandbergen (Kavli Institute for Nanoscience TUD)

Prof.dr. G.Q. Zhang (NXP)

BIJLAGE 2 LITERATUUR

- Center for Nanotechnology Applications, 2005
Center of Competence Applications of NanoTechnology. Center of Excellence: Bio-NanoApplications
- Center for Nanotechnology Applications, 2007
Long-term plan for 3TU Centre for Nanotechnology Applications
- European Nanoelectronics Initiative Advisory Council (ENIAC), 2007
Strategic Research Agenda ENIAC
- European Technology Platform Food for Life, 2006
Stakeholders' Proposal for a Strategic Research Agenda 2006-2020
- European Technology Platform on NanoMedicine, 2005
Nanotechnology for Health. Vision Paper and Basis for a Strategic Research Agenda for NanoMedicine
- European Technology Platform on NanoMedicine, 2006
Strategic Research Agenda for Nanomedicine
- Europese Commissie, 2007
A European Strategic Energy Technology Plan
- Europese Commissie, 2005
Besluit van het Europese Parlement en de Raad betreffende het zevende kaderprogramma van de Europese Gemeenschap voor activiteiten op het gebied van onderzoek, technologische ontwikkeling en demonstratie (2007 tot 2013)
- Federatie Holland Automotive, 2006
Innovation Programme, High Tech Automotive Systems
- FOM, 2006
FOM-Focusnotitie NANOFYSICA/-TECHNOLOGIE (NANO)
- FOM/STW, 2005
Towards a multidisciplinary national nanoscience programme
- Gerven, P. van, 2008
Iedereen praat ineens over microsystemen. In: Bits& Chips, 28 maart 2008
- Gezondheidsraad, 2006
Betekenis van nanotechnologieën voor de gezondheid
- InnovatiePlatform, 2004
Voorstel sleutelgebiedenaanpak
- Kabinet Balkenende, 2006
Kabinetsvisie Nanotechnologieën. Van Klein naar Groot
- Mikroniek, 2008
MEMPHIS: Smart mixen van elektronen en fotonen. In: Mikroniek, nummer 1, 2008

- NanoNed, 2008
NanoNed annual report 2007
- Norton, I., P. Fryer en S. Moore, 2006
Product/Process Integration in Food Manufacture: Engineering Sustained Health. American Institute of Chemical Engineers Journal 52 (5), 2006, 1632.
- Point One, 2008
Point One. Strategic Research Agenda (version 2)
- Prisma en partners, 2006
Roadmap Microsystem- & Nanotechnology in Food & Nutrition
- Provincie Overijssel
Programmadocument Nano4Vitality
- SenterNovem, 2005
Zicht op nanotechnologie in Nederland 2002-2004. Beleidsinteractierapport 2005-2008
- STG/Health Management Forum, 2008
Ruimte voor arbeidsbesparende technologie om in 2025 voldoende zorg te bieden
- Technologiestichting STW, 2004
Taak en werkwijze van STW-gebruikerscommissies
- The Royal Society & The Royal Academy of Engineering, 2004
Nanoscience and nanotechnologies
- Water Supply and Sanitation Technology Platform, 2005
Water safe, strong and sustainable. European vision for water supply and sanitation in 2030
- Water Supply and Sanitation Technology Platform, 2006
Strategic Research Agenda. Water Research. A necessary investment in our common future

6

High Tech Systems

1. Inhoud van HTS
2. Maatschappelijke relevantie
3. Marktrelevantie
4. Relevantie van afzonderlijke thema's van het CoC HTS

Bijlage 1 Geraadpleegde personen

Bijlage 2 Literatuur

1. Inhoud van het CoC HTS

Binnen het CoC HTS worden elf thema's onderscheiden. In het navolgende schema hebben we deze thema's samengevat. Ook hebben we daarbij per thema één of enkele voorbeelden gegeven van onderwerpen waarop het onderzoek aan de drie TU's zich richt. Het Centre of Excellence van het CoC HTS wordt aangeduid als Intelligent Mechatronics Systems (IMS). Het IMS omvat vier thema's. In schema 1 hebben we weergegeven welke thema's dit betreft.

Schema 1 Thema's binnen het CoC HTS en afbakening CoE IMS

THEMA	ONDERDEEL IMS	TOELICHTING
ROBOTICA	JA	ONDERZOEK NAAR DE ONTWIKKELING VAN ROBOTS. HET GAAT HIERBIJ ZOWEL OM HET ONTWERPEN VAN ROBOTS ALS DE BESTURINGSSYSTEMEN DAARVOOR. VOORBEELDEN: ▪ ONDERZOEK NAAR 'HUMANOID' ROBOTS ▪ ONDERZOEK NAAR MEDISCHE ROBOTS ▪ ONDERZOEK NAAR ROBOTS VOOR INSPECTIES (BIJV. GASLEIDINGEN)
PRECISIESYSTEMEN	JA	ONDERZOEK NAAR HIGH-END MECHATRONICA SYSTEMEN MET HOGE EISEN AAN NAUWKEURIGHEID (WAARONDER MEET- EN REGELTECHNIEK EN DE HARDWARE)
MICROSYSTEMEN	JA	ONDERZOEK NAAR ONTWERP, OPTIMALISATIE EN PRODUCTIE VAN MICROSYSTEMEN (LAB ON A CHIP, OP MICROSYSTEMEN GEBASEERDE 'SENSING AND ACTUATION' FUNCTIES IN INTELLIGENTE MECHATRONICA SYSTEMEN)
DISTRIBUTED AND EMBEDDED SYSTEMS	JA	ONDERZOEK NAAR (RANDVOORWAARDEN VOOR) HET OPTIMAAL FUNCTIONEREN VAN DISTRIBUTED AND EMBEDDED SYSTEMS IN DE HIGH TECH INDUSTRIE
AUTOMOTIVE EN TRANSPORTATION	NEE	ONDERZOEK ROND HIGH TECH SYSTEMEN VOOR DE AUTOMOTIVE EN TRANSPORT. VOORBEELDEN: ▪ ONTWIKKELING VAN NIEUWE (HYBRIDE) VERBRANDINGS-/ ELEKTROMOTOREN ▪ ONDERZOEK NAAR ENERGIEMANAGEMENT VOOR VOERTUIGEN ▪ ONDERZOEK NAAR BESTURINGSSYSTEMEN VOOR VOERTUIGEN ▪ ONDERZOEK NAAR REGULERING VERKEERSSTROMEN
AEROSPACE SYSTEMEN	NEE	ONDERZOEK RONDOM HIGH TECH SYSTEMEN VOOR DE LUCHT- EN RUIMTEVAART ZOALS ONDERZOEK NAAR AERODYNAMICA, ONTWERPEN EN ANALYSEREN VAN GEAVANCEERDE BESTURINGSSYSTEMEN EN VLUCHTSIMULATIE
BIOLOGICAL SYSTEMS/(BIO) MEDICAL	NEE	ONDERZOEK NAAR DE WERKING VAN BIOLOGISCHE SYSTEMEN EN DE MOGELIJKHEDEN OM

ENGINEERING		HIER MET (BIO)MEDICAL ENGINEERING BIJ AAN TE HAKEN
BESTURING VAN COMPLEXE ENERGIE SYSTEMEN	NEE	ONDERZOEK NAAR DE DYNAMIEK EN BESTURINGSTECHNOLOGIE VAN COMPLEXE ENERGIE-SYSTEMEN (BIJVOORBEELD VERBRANDINGS-INSTALLATIES EN BIORAFFINAGE)
MENS MACHINE INTERACTIE	NEE	ONDERZOEK NAAR DE INTERACTIE TUSSEN MACHINES EN MENSEN (OPERATORS) OM TOT OPTIMALE PERFORMANCE TE KOMEN. VOORBEELDEN: ▪ MMI BIJ MEDISCHE ROBOTS ▪ MMI RONDOM INTERPRETATIE RADARBEELDEN ▪ MMI RONDOM 'DRIVE, BRAKE AND FLY BY WIRE SYSTEMS'
PROCESTECHNOLOGIE	NEE	ONDERZOEK NAAR GEAVANCEERDE MODELLEN, BESTURINGS-ARCHITECTUUR EN ALGORITMES VOOR PROCESSEN DIE BIJVOORBEELD IN DE CHEMISCHE EN VOEDINGSINDUSTRIE WORDEN TOEGEPAST
SYSTEMS & CONTROL	NEE	SYSTEMS & CONTROL IS EEN BASISDISCIPLINE VOOR VRIJWEL ALLE HIERVOOR GENOEMDE THEMA'S. HET GAAT DAN BIJVOORBEELD OM ONDERZOEK OP HET TERREIN VAN MODELLEREN EN BESCHRIJVEN VAN SYSTEMEN, SYSTEEM IDENTIFICATIE EN 'CONTROL SYSTEMS'

Er kan aan de hand van het bovenstaande schema een aantal opmerkingen worden gemaakt. In de eerste plaats dient gewezen te worden op het belang en de specifieke positie van het thema **Systems & Control** binnen het CoC HTS. Onderzoek op het terrein van Systems & Control moet leiden tot fundamentele kennis die weer gebruikt kan worden in de andere CoC HTS thema's. Ook in deze andere thema's – of 'toepassingsgebieden' – speelt Systems & Control namelijk een belangrijke rol. Hoewel Systems & Control als apart thema benoemd is, gaat het dus in feite om een centraal 'bindend' of 'faciliterend' thema dat relevant is voor de andere thema's. In het Business Plan van HTS⁸² wordt dit als volgt verwoord: 'The field of systems and control is an enabling technology that provides the means to operate engineering systems to maintain desirable/optimal performance by automatically adapting to changes in the environment'.

Overigens wordt de spilfunctie van Systems & Control voor de high tech industrie al veel langer onderkend. Daarom is in het verleden (1995) de onderzoeksschool **Dutch Institute of Systems and Control (DISC)** opgezet. DISC sluit (daarmee) 'naadloos' aan bij het CoC HTS. In de onderzoeksschool DISC werken overigens niet alleen de drie technische universiteiten samen, maar ook andere Nederlandse uni-

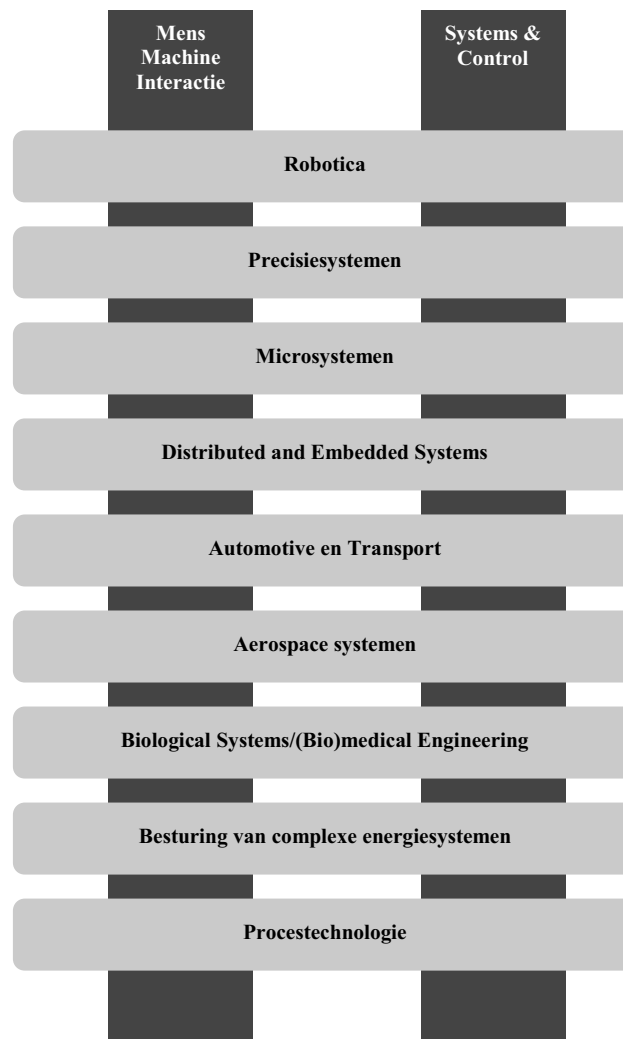
⁸² Business Plan High Tech Systems, A new focus on Education, Research and innovation in Intelligent Mechatronica Systems, Prof.dr.ir. P. Van den Hof (TUD), prof.dr. H. Nijmeijer (TU/e) en prof.dr.ir. S. Stramigiolo (UT), 17 december 2005.

versiteiten en het Centrum voor Wiskunde en Informatica (CWI). Dat het hier om een belangrijk initiatief gaat blijkt wel uit het feit dat momenteel circa 135 promovendi verbonden zijn aan DISC.

In de tweede plaats neemt ook het thema **Mens Machine Interactie**, net als Systems & Control, een bijzondere positie in binnen het CoC HTS. Dit thema heeft – zoals uit de naamgeving al blijkt – betrekking op het optimaliseren van de interactie tussen mens en machines/systemen. Daarbij gaat het bijvoorbeeld om de vraag welke type informatie, en op welke wijze, mensen ('operators') aangereikt dienen te krijgen om optimaal te kunnen handelen. Daarmee is ook dit thema relevant voor alle andere thema's (toepassingsgebieden) zoals die in schema 1 opgenomen zijn. In feite kan ook het thema Mens Machine Interactie als een 'faciliterend' thema ten aanzien van de overige thema's (toepassingsgebieden) worden beschouwd. Feitelijk zal in deze thema's 'integraal' aandacht moeten worden besteed aan het thema Mens Machine Interactie.

We kunnen de samenhang tussen de twee hierboven besproken faciliterende thema's en de overige thema's (toepassingsgebieden) van het CoC HTS visualiseren als in figuur 1.

Figuur 1 Samenhang faciliterende thema's en overige thema's (toepassingsgebieden) binnen het CoC HTS



In de derde plaats blijkt uit het bovenstaande schema dat er binnen het CoC HTS sprake is van een **(vrij) grote diversiteit van thema's (toepassingsgebieden)**. Daarbij is het anderzijds wel zo dat deze thema's samenhangen. Zo zijn – zoals hierboven uiteengezet – de faciliterende thema's Systems & Control en Mens Machine Interactie relevant binnen elk van de toepassingsgebieden (zie figuur 1). Een ander gemeenschappelijk kenmerk van de verschillende thema's is dat het gaat om onderzoek naar de **dynamiek van systemen**. HTS richt zich als het ware op de **interactie** tussen **hardware** (apparaten, machines) en **software** (aansturing, meet- en regeltechniek) vanuit een **systeemperspectief**. Dit sluit aan bij ontwikkelingen zoals die zich in de praktijk in verschillende toepassingsgebieden voordoen (zie ook hierna).

Verder wordt bij de verschillende thema's van het CoC HTS gebruikgemaakt van min of meer dezelfde basisdisciplines. Kenmerkend voor High Tech Systems is namelijk de **multidisciplinaire aanpak** die gevolgd wordt. Het gaat daarbij dan om de combinatie van basisdisciplines zoals elektrotechniek, werktuigbouw, wiskunde, informatica en fysica. Met name bij intelligente mechatronische systemen is sprake van een relatief sterke integratie van deze disciplines⁸³. Bij deze integratie speelt het thema Systems and Control een belangrijke rol. In die zin is het dan ook 'logisch' dat het CoE IMS van het CoC HTS rondom deze systemen opgezet is. Bij in-

⁸³ Zie ook het Businessplan van HTS.

telligente mechatronische systemen dient dan te worden gedacht aan de ontwikkeling en het ontwerp van geavanceerde bewegingsystemen die zich aan kunnen passen aan veranderingen die zich in de externe omgeving voordoen.

Naast deze relatief sterke inhoudelijke samenhang zijn er nog andere argumenten te geven voor het CoE IMS zoals dat binnen het CoC HTS gedefinieerd is. Zo is er binnen de thema's die onderdeel uitmaken van het IMS sprake van belangrijke wetenschappelijke uitdagingen (zie ook hierna). Nog een ander zeer belangrijk argument is dat de thema's van het IMS ook van grote betekenis zijn voor de Nederlandse high tech industrie. Zoals hierna nog zal blijken, heeft Nederland juist op deze terreinen een sterke markt- en kennispositie. Om deze positie ook naar de toekomst te behouden is het van belang om te blijven investeren in (fundamenteel) onderzoek op deze terreinen. De Nederlandse high tech industrie is dan ook sterk betrokken bij (thema's die onderdeel uitmaken van) intelligente mechatronische systemen. Voorbeelden hiervan zijn het Holst Centre, MicroNed, Mechatronica Valley Twente en het High Tech Platform. In het navolgende komen we nog terug op de betrokkenheid van het bedrijfsleven.

Beoordeling externe partners van het CoC HTS

In de gesprekken met **externe partners** van de drie TU's hebben we ook aandacht geschonken aan de verschillende thema's die binnen het CoC HTS onderscheiden worden. De belangrijkste rode draden die daaruit naar voren zijn gekomen, zijn de volgende. Over het algemeen zijn de externe partners van mening dat binnen het CoC HTS zinvolle en voor Nederland belangrijke thema's onderscheiden worden. Dit geldt zeker voor de **vier thema's** die onderdeel uitmaken van het **CoE IMS**. Er wordt breed onderkend dat Nederland op het gebied van intelligente mechatronica – zowel qua kennis- als marktpositie – mondiaal gezien een zeer sterke positie heeft opgebouwd. Bovendien wordt door de externe partners naar voren gebracht dat de thema's die onderdeel uitmaken van het CoE IMS (inclusief 'systems and control') inhoudelijk sterk samenhangen. Ook in het high tech bedrijfsleven worden deze thema's integraal betrokken. Op grond van bovenstaande argumenten juichen de externe partners het dan ook toe dat de drie TU's juist rondom deze thema's een Centre of Excellence hebben gedefinieerd. Met het IMS wordt naadloos aangesloten met de multidisciplinaire aanpak die nodig is bij intelligente mechatronische systemen en waar Nederland mondiaal gezien ook sterk in is.

Ook het belang van het thema **Automotive** wordt door de externe partners onderkend. Daarbij wordt bijvoorbeeld gewezen op het belang van DAF en verschillende gespecialiseerde en kennisintensieve toeleveranciers op het gebied van automotive die Nederland heeft. Bij het thema **Aerospace** worden er vanuit de externe partners meer vraagtekens geplaatst. De externe partners onderkennen over het algemeen wel dat Nederland qua kennisniveau op dit terrein – met bijvoorbeeld de faculteit Lucht- en Ruimtevaarttechniek van de TUD, het NLR en het NIVR – nog belangrijke 'spelers' heeft. De twijfel vloeit met name voort uit de omvang en betekenis van de industriële achterban die Nederland – ook in het licht van de afbouw van Fokker – nog heeft. Of, anders geformuleerd, of er in Nederland op dit thema nog wel voldoende kansen zijn voor kennisvalorisatie.

Het thema **Biological Systems/(Bio)medical Engineering** wordt door de externe partners veelal gezien als een belangrijke groeimarkt waarbij bovendien sprake is van veel wetenschappelijke uitdagingen. Verder wordt ook bij dit thema een multidisciplinaire aanpak gehanteerd die zo kenmerkend is voor high tech systems. Om deze redenen achten de externe partners het dan ook veelal 'logisch' dat dit thema onderdeel uitmaakt van het CoC HTS.

Bij de thema's **Control of Complex Energy Systems** en (vooral) **Procestechologie** worden door de externe partners meer kanttekeningen geplaatst. Dit heeft in

essentie met een drietal redenen te maken. In de eerste plaats vragen de externe partners zich af of Nederland op deze thema's wel over voldoende sterke clusters van kennisintensieve bedrijven beschikt die hiervoor apparaten, machines en systemen ontwikkelen. In de tweede plaats wordt er op gewezen dat het bij bedrijven die betrokken zijn bij Energy Systems en Procestechnologie om hele andere netwerken van bedrijven gaat dan bij intelligente mechatronische systemen. Zo wordt aangegeven dat bij procestechnologie met name moet worden gedacht aan bedrijven uit de chemie en de voedingsmiddelenindustrie. In de derde plaats wordt opgemerkt dat – indien met deze thema's vooral bedoeld wordt onderzoek naar geavanceerde controle- en besturingsystemen in de energiesector en de procesindustrie – deze thema's dan wellicht ook ondergebracht zouden kunnen worden bij het thema Systems & Control.

Tot slot wordt ook door de externe partners onderkend dat de thema's **Systems & Control** en **Mens Machine Interactie** in feite belangrijke faciliterende thema's zijn voor de andere thema's (toepassingsgebieden) van het CoC HTS.

We hebben de externe partners ook de vraag voorgelegd of zij nog bepaalde thema's of onderwerpen 'missen' binnen (de thema's) van het CoC HTS. Enkele respondenten brachten daarbij naar voren dat het voor hen niet direct duidelijk was of '**optica**' en '**imaging**' ook tot het CoC HTS behoren. Dit zijn in de optiek van deze respondenten namelijk wel onderwerpen die vanuit het CoC HTS aandacht verdienen.

Voor het CoC HTS als geheel geven de externe partners aan dat de drie TU's een zeer belangrijke rol hebben gespeeld – en nog steeds spelen – bij de sterke markt- en kennispositie die Nederland zich op het gebied van high tech systemen heeft weten te verwerven. Enerzijds vormen de drie TU's een belangrijke 'kennispartner' voor het high tech bedrijfsleven. Deze rol wordt steeds belangrijker omdat in het (HTS-)bedrijfsleven een tendens gaande is waarbij het fundamentele onderzoek afgebouwd wordt. Voor dit type onderzoek is het bedrijfsleven dus in toenemende mate aangewezen op (onder andere) de drie TU's. Anderzijds spelen de drie TU's een cruciale rol bij het opleiden van mensen waaraan in de high tech industrie een grote behoefte bestaat. In het onderstaande komen we nog terug op deze opleidingsrol van de drie technische universiteiten.

Beoordeling samenwerking drie TU's

Alle externe partners juichen de intensivering van de samenwerking tussen de drie TU's – zoals die met het CoC HTS wordt beoogd – toe. Hierbij worden de volgende argumenten naar voren gebracht. Allereerst signaleren de externe partners dat de drie TU's afzonderlijk te klein zijn om te concurreren met grote buitenlandse kennisinstellingen. Naar de toekomst toe zal Nederland – voor het handhaven van haar concurrentiepositie – in staat moeten zijn om steeds complexere systemen te ontwikkelen. Dit vraagt niet alleen van het bedrijfsleven de nodige inspanningen, maar ook van de drie TU's. De verwachting is dat door de bundeling van de krachten de drie TU's beter in staat zullen zijn om invulling aan deze rol te geven.

Verder zien de externe partners de bundeling van krachten in het CoC HTS ook als een eerste stap om tot verdere zwaartepuntvorming en taakverdeling tussen de drie TU's te komen. Hiermee kan versnippering van de onderzoeksinspanningen tegen worden gegaan en kan ook bij het opleiden van studenten optimaal gebruik worden gemaakt van elkaars expertise.

Hoewel de externe partners de samenwerking in CoC HTS toejuichen signaleren zij wel dat het hiermee nog maar een eerste stap is gezet. In de komende jaren zal deze samenwerking binnen het CoC HTS verder vorm en inhoud moeten krijgen. Dat betekent dat de drie TU's het CoC HTS ook actief – zowel intern en extern – uit

zullen moeten dragen. Mede doordat het CoC HTS nog maar vrij recentelijk geïnitieerd is, hebben de externe partners tot nu toe nog betrekkelijk weinig gemerkt van een dergelijke profilering als CoC HTS. Momenteel verlopen de contacten tussen de (HTS-)bedrijven en de drie TU's dus nog niet allemaal 'centraal' via het CoC HTS maar ook nog decentraal met de afzonderlijke TU's. Enkele externe partners pleiten wat dit aangaat ook voor het aanstellen van 'kennismakelaars' of 'accountmanagers' voor de afzonderlijke thema's van het CoC HTS. Deze personen zouden dan namens de drie TU's moeten opereren.

Idealiter gezien zouden de externe partners het toejuichen indien de samenwerking tussen de drie TU's nog verder geïntensiveerd zou worden. Daarbij wordt met name gedacht aan een bestuurlijke fusie tussen de drie TU's waarbij de afzonderlijke locaties – desgewenst met behoud van hun eigen 'merknaam' – blijven bestaan. Deze externe partners verwachten dat een dergelijke fusie het mogelijk maakt om (nog) grotere stappen te zetten op het gebied van zwaartepuntvorming en taakverdeling tussen de drie TU's (ook op het gebied van HTS). Bovendien zou dit kunnen bevorderen dat de drie TU's in hun opleidingen – die relevant zijn voor HTS – optimaal gebruik kunnen maken van elkaars expertise. Dit door toonaangevende professoren aan meerdere TU's te laten doceren. Zoals gezegd, zijn de externe partners bij een fusie van de drie TU's wel voorstander van het handhaven van de afzonderlijke vestigingen. Enerzijds vanwege de regionale betekenis die de drie TU's voor het regionale bedrijfsleven hebben. Anderzijds omdat minder locaties ook ten koste zouden kunnen gaan van de wervingscapaciteit van de drie TU's voor studenten. Dit laatste is met name ook van belang omdat zich op dit punt momenteel al fricties voordoen (zie hierna).

Opleidingsfunctie drie TU's op het gebied van HTS

De geraadpleegde externe partners geven verder aan dat de drie TU's een zeer belangrijke opleidingsfunctie hebben voor de HTS sector. In deze zin kunnen de drie TU's als 'hofleverancier' van deze sector worden beschouwd. Het grootste knelpunt dat zich hierbij voordoet is **kwantitatief** van aard. De HTS sector heeft te kampen met tekorten aan hoogopgeleid technisch personeel waardoor deze sector de bakens steeds meer naar het buitenland moet verzetten.

In **kwantitatieve zin** achten de externe partners het **onderwijs** aan de drie TU's – in de opleidingen die relevant zijn voor de HTS sector (zoals elektrotechniek en werktuigbouw) – als **(zeer) goed**. Enkele respondenten brachten nog wel aandachtspunten voor het onderwijs aan de drie TU's naar voren. De belangrijkste 'rode draden' daaruit zijn de volgende. In de eerste plaats noemden enkele respondenten dat kenmerkend voor de HTS sector een multidisciplinaire aanpak is. Vanuit deze respondenten wordt aandacht gevraagd om studenten al in de opleiding (nog) meer **kennis te maken met verschillende disciplines** (zoals werktuigbouwkunde, elektrotechniek en ICT) zodat zij daarna in de praktijk ook sneller en succesvol kunnen werken in multidisciplinaire teams.

In de tweede plaats signaleerden diverse respondenten dat de HTS sector in toenemende mate behoefte gaat krijgen aan **'systeemarchitecten'**, personen die ingewikkelde systemen en apparaten 'als geheel' kunnen overzien. Hiervoor is enerzijds ervaring en bepaalde kwaliteiten van personen nodig. Anderzijds kan hier vanuit de relevante drie TU opleiding en ook wel een bijdrage aan worden geleverd door studenten niet te 'monodisciplinair' op te leiden maar ook met andere vakdisciplines kennis te laten maken. Dit punt raakt daarmee dus nauw aan het voorgaande punt. Ten derde zouden enkele externe partners het waarderen indien naast technische aspecten in de relevante drie TU-opleidingen (nog) wat meer aandacht zou worden besteed aan **commerciële aspecten en vaardigheden**.

Personele inzet HTS-thema's

Tot slot van deze paragraaf gaan we in op de '**inzet**' – in termen van menskracht – die de drie TU's plegen op (de thema's van) het **CoC HTS**. Allereerst blijkt uit het meerjarenplan van het CoC HTS⁸⁴ dat in totaal circa 160 fte aan wetenschappelijk personeel ingezet wordt voor het CoC HTS. Hiervan is ruim 60 fte aan het CoE IMS toegekend. Verder hebben we in tabel 1 weergegeven hoeveel leerstoelen van de drie TU's zich bezighouden met de verschillende thema's van het CoC HTS en de spreiding daarvan over de afzonderlijke technische universiteiten. We hebben deze cijfers afgeleid aan de hand van gegevens zoals die in het hierboven al genoemde meerjarenplan zijn opgenomen. We merken overigens op dat in tabel 1 de totaalcijfers niet het aantal fte's of het aantal leerstoelen weergeven. In de praktijk is het namelijk zo dat verschillende leerstoelen zich bezighouden met meer dan één thema van het CoC HTS. Wel geven onderstaande cijfers een indicatie van accenten die (binnen de TU's) op bepaalde thema's van het CoC HTS worden gelegd.

Tabel 1 Betrokken leerstoelen drie TU's bij thema van CoC HTS

Thema	TU/e	TUD	UT	Totaal
Robotica	6	10	4	20
Precisiesystemen	4	6	2	12
Microsystemen	4	7	9	20
Distributed en Embedded Systemen	11	4	4	19
Subtotaal IMS	25	27	19	71
Automotive en Transportation	15	6	2	23
Aerospace systemen	-	1	-	1
Biological Systems/(Bio)medical Engineering	2	3	4	9
Besturing van complexe energie systemen	4	5	2	11
Mens Machine Interactie	5	3	-	8
Procesttechnologie	6	5	3	14
Systems en Control	5	9	6	20
Totaal	62	59	36	157

Bron: *Centre of Competence High Tech Systems, long-range plan 2008-2012 (2008)*

Er kan aan de hand van bovenstaande tabel een aantal conclusies worden getrokken. Allereerst zien we dat het **CoC HTS 'ingebed' is in alle drie de technische universiteiten**. Het is dus niet zo dat dit CoC vooral het domein is van één of twee van de TU's. Hoewel de thema's vrij breed worden gedragen door de TU's zijn er wel bepaalde accenten zichtbaar. Zo zijn er vijf thema's die relatief veel accent krijgen, dat wil zeggen dat een relatief groot aantal leerstoelen zich bezighoudt met deze thema's. Dit zijn Robotica, Microsystemen, Distributed & Embedded Systems, Automotive & Transportation en Systems & Control. We merken op dat vier van deze thema's overigens direct of indirect (Systems and Control) gerelateerd zijn aan het CoE IMS. Buiten de thema's van het IMS krijgt met name het thema Automotive and Transportation relatief veel aandacht vanuit de drie TU's. Vooral de TU Eindhoven is daar verantwoordelijk voor. Dit heeft uiteraard ook te maken met het

⁸⁴ Centre of Competence High Tech Systems, long-range plan 2008-2012, M. Steinbuch en T. Leermakers, versie 29-1-2008.

sterke automotive cluster rondom Eindhoven (DAF en toeleveranciers op het gebied van automotive).

Verder valt op dat maar weinig leerstoelen actief zijn met het thema Aerospace. Dit vraagt wellicht om een nadere bezinning vanuit het CoC HTS. Dit zou bijvoorbeeld kunnen inhouden dat nog een extra check wordt gedaan op het 'koppelen' van de leerstoelen aan de thema's van het CoC HTS. Mocht ook deze extra check leiden tot een dergelijk lage 'score' voor het thema Aerospace dan kan het wenselijk zijn dat het bestuur van het CoC HTS zich bezint op de vraag of dit thema wel als afzonderlijk thema gepresenteerd dient te worden. Een andere optie zou bijvoorbeeld kunnen zijn om dit thema onder te brengen bij het thema Automotive and Transportation.

2. Maatschappelijke relevantie CoC HTS

In deze paragraaf ligt het accent op de **maatschappelijke relevantie** van het CoC HTS. We zullen daarbij een tweetal hoofdsporen volgen. Eerst zullen we aandacht schenken aan de plaats die (thema's van het CoC) HTS inneemt (innemen) binnen het Europese en nationale beleid. Daarna zullen we ingaan op de rol die (thema's van het CoC) HTS kan spelen bij verschillende belangrijke maatschappelijke vraagstukken.

I. Beleidsmatige inbedding HTS

Het thema High Tech Systems neemt zowel in het Europese als in het nationale beleid een belangrijke plaats in. We zullen dit eerst kort illustreren voor het Europese beleid.

Europese inbedding HTS

Vanuit de Europese Unie wordt veel belang gehecht aan (het stimuleren van) onderzoek op het terrein van High Tech Systems. Dit blijkt bijvoorbeeld uit de verdere uitwerking van de Lissabon strategie. Met deze strategie wordt beoogd dat in 2010 de EU de meest competitieve en dynamische kenniseconomie van de wereld heeft. Bij de uitwerking van de Lissabon Strategie is een aantal uitdagingen voor onderzoeksgebieden geformuleerd die cruciaal zijn voor de verdere ontwikkeling en concurrentiepositie van het Europese bedrijfsleven (zie schema 2). Daaruit blijkt dat deze uitdagingen nauw gerelateerd zijn aan High Tech Systems. Dit geldt met name voor de onderzoeksuitdaging die betrekking heeft op high tech sectoren.

Schema 2 Uitdagingen op onderzoeksgebied van de EU

Uitdagingen

Nieuwe technologieën die leiden tot radicale veranderingen in een sector (voorbeelden waterstof- en brandstofcellen en nano-elektronica).

Gelijkschakelen van verschillende beleidsdoelstellingen rond duurzame ontwikkeling (bijvoorbeeld watervoorziening, genomics en biotechnologie).

Nieuwe technologische publieke diensten met hoge toetredingsdrempels, onzekere rendementen maar een groot economisch en sociaal potentieel (bijvoorbeeld mobiele en draadloze communicatie en innovatie medicijnen).

Zeker stellen van ontwikkelingen van doorbraaktechnologieën om aan de top te blijven in high tech sectoren die een significante economische en sociale betekenis voor Europa hebben (bijvoorbeeld embedded systems en luchtvaart).

Vernieuwing en herstructureren van traditionele economische sectoren (zoals staalindustrie).

Bron: *Technology platforms from definition to implementation of a Common Research Agenda, EU, 2004*

Verder zijn wat de Europese inbedding van het CoC HTS betreft de zogenoemde **Europese Technologieplatforms** relevant. De opzet van deze platforms wordt vanuit de Europese Unie gestimuleerd. In de Technologieplatforms stippelen kennisinstellingen en bedrijven gezamenlijk een 'routekaart' uit voor wenselijk onderzoek op thema's die in Europees verband van belang worden geacht. Dit vindt dan onder andere plaats via het opstellen van zogenoemde visies en daarmee samenhangende onderzoeksagenda's⁸⁵. In de afgelopen jaren is een aantal Technologieplatforms van de grond gekomen die sterk gerelateerd zijn aan (thema's van) het CoC HTS. We zullen ter illustratie enkele relevante voorbeelden kort de revue laten passeren. In paragraaf 5 komen deze platforms namelijk ook nog aan bod.

Allereerst kan hier het **European Robotics Platform (EUROP)** worden genoemd. Vanuit dit platform zijn een visie⁸⁶ en een onderzoeksagenda op het gebied van **robotica** opgesteld. In deze documenten wordt uitgewerkt dat robotica een belangrijke groeimarkt voor de toekomst is. Als belangrijkste onderzoeksuitdaging voor deze eeuw wordt daarbij gezien: het ontwikkelen van robotsystemen die kunnen interacteren met de menselijke wereld. Hiervoor – zie het thema 'robotica' in schema 1 (met name 'humanoid' robots) – hebben we al gezien dat dit ook een belangrijke onderzoekslijn is binnen het CoC HTS.

Het technologieplatform **ARTEMIS** (Advanced Research & Technology for EMbedded Intelligence and Systems) is met name relevant voor het thema Distributed and Embedded Systems van het CoC HTS. Vanuit ARTEMIS is onder meer een onderzoeksagenda⁸⁷ vervaardigd. Hieruit komt naar voren dat het CoC HTS thema Distributed and Embedded Systems een belangrijk speerpunt vormt voor het Europese bedrijfsleven en kennisinstellingen. Zo wordt voor de toekomst een sterke groei verwacht van het aantal embedded systems. ARTEMIS raamt het aantal embedded systems voor 2010 op 16 miljard en voor 2020 op 40 miljard.

Naast ARTEMIS is op Europees niveau ook het technologieplatform **Smart Systems Integration (EPoSS)** van belang⁸⁸. Dit platform houdt zich bezig met geminiaturiseerde apparaten die in staat zijn om een bepaalde situatie te beschrijven en te analyseren. Er worden in de SRA van EPoSS een drietal hoofdthema's voor onderzoek vastgesteld, namelijk:

- Geminiaturiseerde en geïntegreerde smart systems met vooruitstrevende functionaliteit en prestaties.
- Autonoom opererende, energie-efficiënte smart systems (in een netwerk).
- Robuuste systemen, compatible en adaptief aan de omgeving en met voldoende levensduur.

Hieruit blijkt dat er een sterke aansluiting bestaat met thema's van het CoC HTS zoals Distributed and Embedded Systems en Microsystemen. In de visie en SRA van EPoSS⁸⁹ wordt een aantal toepassingsgebieden genoemd waarvoor Smart Systems het meest relevant zijn, waaronder automotive, medische technologie en ICT. Voor automotive worden in de SRA onderzoeksprioriteiten benoemd die nauw verbonden zijn aan onderzoek van het CoC HTS. Hierbij gaat het dan om onderzoek op het terrein van energie (energiemanagement en -opslag), mens-machine interactie (aflezen van gegevens op monitors) en veiligheid (vermijden botsingen). Ook voor medische technologie worden in het SRA van EPoSS onderzoeksprioriteiten ge-

⁸⁵ Visions en Strategic Research Agendas (SRA's).

⁸⁶ Building Europ, the European Robotics Platform, the higher level, July 2005 en Europ, the European Robotics Platform, Strategic Research Agenda, May 2006.

⁸⁷ Strategic Research Agenda, Artemis, 2006.

⁸⁸ European Technology Platform on Smart Systems Integration (EPoSS).

⁸⁹ Towards a vision of innovative smart systems integration, EPoSS, mei 2006 en Strategic Research Agenda of the European technology platform on smart systems integration, EPoSS, november 2007.

noemd die ook bij het CoC HTS spelen zoals innovatief opereren (m.b.v. medische robots) en medicijntoediening (m.b.v. microsystemen).

Op het terrein van Advanced Engineering Materials and Technologies is het Europese technologieplatform **EUMAT** opgezet. Vanuit dit platform wordt onder andere aandacht geschonken aan onderzoek naar geavanceerde materialen voor onder andere toepassingen in microsystemen, precisietechnologie en de automotive. Deze toepassingen zijn dus gerelateerd aan de thema's die ook onderdeel uitmaken van het CoC HTS. Verder benadrukt EUMAT het belang van 'system engineering strategies'. De uitdaging is daarbij om tot een eenvoudiger integratie te komen van geavanceerde materialen en apparatuur in systemen door rekening te houden met het gehele spectrum van interacties tussen apparatuur, componenten en systemen. Ook op dit punt bestaat dus een sterke aansluiting met het CoC HTS (met thema's als Systems & Control en Distributed and Embedded Systems).

Het Europese technologieplatform **Manufacture** heeft als missie om een onderzoeks- en innovatiestrategie te ontwikkelen en uit te voeren, om de omschakeling van de Europese maakindustrie te stimuleren naar producten, processen en diensten met een hoge toegevoegde waarde. Hiermee moet het hoog opgeleide arbeidspotentieel voor de sector behouden blijven en moet Europa een belangrijk aandeel krijgen in de toekomstige wereldmarkt voor de maakindustrie⁹⁰. Door het technologieplatform Manufacture is een strategische onderzoeksagenda opgesteld⁹¹. De belangrijkste aanbeveling van dit SRA is om de Europese maakindustrie te transformeren door nieuwe businessmodellen te adopteren met een geheel nieuwe zienswijze op producten en diensten. Zo wordt voorgesteld om nieuwe technieken toe te passen die meer gericht zijn op waardecreatie dan op het streven naar kostenreductie. In de SRA zijn vijf pijlers benoemd. Drie hiervan hebben betrekking op innovatief produceren. Eén van de deze pijlers betreft 'Advanced Industrial Engineering'. Hierbij wordt gewezen op het belang van onderzoek gericht op kennisintensivering van de (productie)processen in de maakindustrie. Bij deze pijler komt (dus) het belang van onderzoek op het gebied van microsystemen, precisietechnologie en robotica tot uitdrukking. Een andere pijler van het technologieplatform Manufacture is 'Emerging manufacturing sciences and technologies'. Vanuit deze pijler wordt gewezen op het belang van onderzoek op het gebied van machine intelligentie en micro-elektronica. Dit sluit nauw aan bij (de thema's die onderdeel uitmaken van) het CoE IMS.

Nationale inbedding HTS

Op nationaal niveau dient in de eerste plaats de **sleutelgebiedenaanpak van het InnovatiePlatform** te worden genoemd⁹². Het InnovatiePlatform heeft een aantal sleutelgebieden geïdentificeerd die van groot belang zijn voor Nederland. Bij de selectie van sleutelgebieden is met name gelet op de kennis- en marktpositie die Nederland op bepaalde terreinen heeft. Op grond hiervan is **High Tech Systemen en Materialen** geselecteerd als één van de sleutelgebieden. Dat betekent dat de grote economische en innovatieve betekenis van High Tech Systemen ook door het InnovatiePlatform wordt onderkend.

Verder zijn er in het **rationale beleid** rondom afzonderlijke thema's van het CoC HTS de nodige initiatieven ontplooid. We zullen hiervan nu kort enkele voorbeelden presenteren. In de navolgende paragraaf komen we op verschillende van deze voorbeelden namelijk nog meer in detail terug. In de eerste plaats kunnen hier de zogenoemde Innovatieve Onderzoeks Programma's (IOP's) van het Ministerie van Economische Zaken worden genoemd. Vanuit deze IOP's vindt vraaggestuurde

⁹⁰ Algemene Brochure Manufacture Technology Platform, <http://www.manufuture.org>, juni 2008.

⁹¹ Assuring the future of manufacturing in Europe, Strategic Research Agenda manufacture, High Level Group manufacture, September 2006.

⁹² Voorstel sleutelgebieden-aanpak, Innovatieplatform, 2004.

kennisontwikkeling plaats (bij universiteiten, TNO en GTI's) op thema's die voor de Nederlandse economie van belang worden geacht. In de afgelopen jaren zijn diverse IOP's opgestart die een relatie hebben met thema's van het CoC HTS. Voorbeelden hiervan zijn het IOP Precisie technologie, het IOP Mens Machine Interactie en het IOP Beeldverwerking. Bij dit laatste IOP gaat het bijvoorbeeld om onderzoek naar het terugkoppelen van informatie uit beelden ('vision') naar regelsystemen. Dit is bijvoorbeeld van belang bij ('humanoid') robots: zodat dergelijke robots adequaat reageren op wat zij in hun externe omgeving 'zien'.

Verder wordt er vanuit de nationale overheid ondersteuning geboden aan een aantal meer **toepassingsgerichte programma's** waarin kennisinstellingen en bedrijfsleven samenwerken en die direct gerelateerd zijn aan (de thema's van) het CoC HTS. Kenmerkend voor deze programma's is dat niet alleen kennisinstellingen maar ook het relevante bedrijfsleven actief – financieel en inhoudelijk – participeert. Dit is in feite al een belangrijke indicatie voor de marktrelevantie van deze programma's. Daarom schenken we in de volgende paragraaf meer in detail aandacht aan deze programma's. Op deze plaats beperken we ons dan tot het benoemen van deze programma's. Het gaat hierbij om de volgende programma's waarbij we tussen haakjes aangegeven hebben voor welke thema's van het CoC HTS de betreffende programma's in het bijzonder relevant zijn:

- High Tech Automotive Systems (Automotive)
- Point One (Distributed and Embedded Systems)
- Programme for High Tech Systems (relevant voor diverse thema's van CoC HTS).

Verder is nog relevant om te vermelden dat er op nationaal niveau recentelijk een rapport uitgebracht is voor een toekomstgerichte beleids- en kennisagenda⁹³. In dit rapport wordt '**Robotica en interconnectiviteit**' naar de toekomst gezien als één van de clusters met 'een uitermate grote impact op vrijwel elk terrein van onze samenleving'. In de Horizonscan worden aan Nederland goede kansen toegedicht ten aanzien van dit cluster. Dit vanwege de aanwezigheid van relevante industriële bedrijven en het kennisniveau binnen de benodigde wetenschappelijke basisdisciplines.

II. Relatie HTS en actuele maatschappelijke vraagstukken

We zullen nu, zoals gezegd, aandacht schenken aan de vraag hoe (de thema's van) het CoC HTS gerelateerd is (zijn) aan een aantal belangrijke maatschappelijke vraagstukken. Daarbij is het niet onze ambitie om tot een uitputtend overzicht te komen van de relaties tussen alle afzonderlijke thema's van het CoC HTS en alle (mogelijke) maatschappelijke vraagstukken. Veeleer zullen we een **illustratieve aanpak** volgen. Daarbij zullen we successievelijk de volgende maatschappelijke vraagstukken de revue laten passeren:

- A. Gezondheids- en welzijnszorg
- B. Veiligheid
- C. Milieu en duurzaamheid
- D. Energie
- E. Verkeer en vervoer.

We beginnen onze uitwerking met het maatschappelijke vraagstuk van gezondheids- en welzijnszorg.

A. Gezondheids- en welzijnszorg

De vraag naar **gezondheids- en welzijnszorg** neemt sterk toe. Hieraan liggen onder andere vergrijzing, economische groei en ontwikkelingen op medisch gebied ten grondslag. Per saldo zien we dat door deze ontwikkelingen veel landen, waar-

⁹³ Rapport Horizonscan 2007, COS 2007.

onder ook Nederland, te hebben maken met toenemende zorguitgaven. Beleidsmatig gezien neemt de aandacht voor efficiency- en kwaliteitsverbeteringen dan ook toe.

Vanuit het CoC HTS kan vanuit verschillende thema's een bijdrage worden geleverd aan gezondheids- en welzijnszorg. We zullen hiervan een aantal voorbeelden de revue laten passeren. Vanuit het thema **Robotica** – zie ook schema 1 – wordt door de drie TU's bijvoorbeeld onderzoek gedaan naar medische robots. Hiermee kunnen chirurgen veel operaties efficiënter (geen 'open' operaties) en nauwkeuriger uitvoeren. Verder kunnen op termijn 'humanoid' robots wellicht een bijdrage leveren om ouderen, zieken of gehandicapten in staat te stellen om langer zelfstandig te kunnen blijven wonen. Dit vanwege huishoudelijke taken en/of persoongerichte taken die dergelijke robots uit kunnen voeren.

Een ander voorbeeld kan vanuit het thema **Microsystemen** worden aangedragen. Vanuit dit thema wordt bijvoorbeeld gewerkt aan miniaturchips ('lab on a chip') die bijvoorbeeld gebruikt kunnen worden om bepaalde waarden (zoals suikergehalte) bij patiënten te meten. Aan de hand daarvan kunnen dan vervolgacties (bijvoorbeeld insuline toedienen) in gang worden gezet. Met dit soort innovaties kan dus een bijdrage worden geleverd aan zowel de kwaliteit als de efficiency van gezondheidszorg.

Bij gezondheidszorg speelt ook het thema **Distributed and Embedded Systems** een duidelijke rol. Zo worden in het innovatieprogramma Point One⁹⁴ – dat voor een belangrijk deel betrekking heeft op embedded systems – zes applicatiedomeinen geïdentificeerd die gerelateerd zijn aan maatschappelijke behoeften. Gezondheid(szorg) is één van deze domeinen. In het Point One programma wordt onderbouwd dat Distributed and Embedded Systems een rol kunnen spelen op verschillende terreinen van de gezondheidszorg, bijvoorbeeld bij monitoringsystemen voor patiënten.

B. Veiligheid

Overheid, bedrijven en burgers hechten steeds meer belang aan **veiligheid**. De aandacht voor veiligheid komt bijvoorbeeld naar voren in het regeerakkoord van het kabinet Balkenende IV⁹⁵. Hierin wordt veiligheid expliciet bij één van de zes pijlers genoemd. Een goed voorbeeld van de toegenomen aandacht voor veiligheid is ook de recentelijke installatie van een specifieke onderzoeksraad: de 'Onderzoeksraad voor Veiligheid'. Veiligheid is ook binnen de Europese Unie als één van de kerngebieden voor onderzoek benoemd. In het Zevende Kaderprogramma (KP7) wordt veiligheid in Europa als 'een randvoorwaarde voor voorspoed en vrijheid' gezien⁹⁶. Het gaat hierbij zowel om veiligheidsmaatregelen in de civiele sfeer als meer defensiegerelateerde veiligheid. In KP7 wordt aangegeven dat 'het Europees veiligheidsonderzoek de ontwikkeling van multifunctionele technologieën moet stimuleren om de toepassingsmogelijkheden daarvan zo groot mogelijk te maken'.

Vanuit verschillende thema's van het CoC HTS kan een bijdrage worden geleverd aan het verbeteren van veiligheid. We geven hiervan ter illustratie een aantal voorbeelden. Vanuit de CoC thema's **Automotive** en **Distributed en Embedded Systems** wordt bijvoorbeeld gewerkt aan de ontwikkeling van systemen voor voertuigen die de kans op botsingen verkleinen. Dit door een signaal af te geven of in te grijpen indien een auto te dicht een voorligger nadert. Ook wordt vanuit deze thema's gewerkt aan de ontwikkeling van systemen voor verkeersmanagement zoals

⁹⁴ In de volgende paragraaf gaan we uitgebreider op Point One in.

⁹⁵ http://www.regering.nl/Het_kabinet/Regeerakkoord

⁹⁶ Voorstel betreffende het Zevende Kaderprogramma van de Europese Gemeenschap voor activiteiten op het gebied van onderzoek, technologische ontwikkeling en demonstratie (2007-2013), Commissie van de Europese Gemeenschappen, 6-4-2005, COM(2005) 119 definitief.

'drive by wire'. Daarbij wordt de besturing van auto's uit handen van de bestuurders genomen. Hiermee kan niet alleen de file-problematiek worden verkleind maar ook de veiligheid worden vergroot.

Bij private **veiligheidssystemen** thuis en bij hoogwaardige veiligheidssystemen op bijvoorbeeld vliegvelden spelen distributed and embedded systems vaak een belangrijke rol. Het onderzoek aan de drie TU's richt zich onder andere op het verder optimaliseren van deze systemen en daarmee dus ook op het verbeteren van de rol die distributed and embedded systems kunnen spelen bij veiligheid(ssystemen).

Ook vanuit het thema **Procestechnologie** kan een bijdrage worden geleverd aan het vergroten van de veiligheid. Bedrijven in de (chemische) procesindustrie werken vaak met risicovolle processen waarbij zelfs kleine afwijkingen in het productieproces al tot veiligheidsincidenten kunnen leiden. Vanuit het thema procestechnologie wordt door de drie TU's onderzoek gedaan naar de beheersing van – en controle op – de verschillende processtappen. Daarbij wordt gestreefd naar verdere optimalisatie van productieprocessen waarbij mogelijk negatieve gevolgen voor veiligheid (en milieu) teruggedrongen worden.

Eén van de sporen van onderzoek binnen het thema **Robotica** heeft betrekking op de ontwikkeling van robots voor inspectiedoeleinden. Daarbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan robots die ingezet kunnen worden voor de inspectie van gasleidingen. Het zal duidelijk zijn dat dit in positieve zin kan bijdragen aan de veiligheid van het gasdistributienetwerk.

C. Milieu en duurzaamheid

Aandacht voor milieu en duurzaamheid komt steeds hoger op de maatschappelijke agenda te staan. Dit heeft er mee te maken dat bij overheden en burgers meer het besef gaat ontstaan dat aandacht voor het milieu van cruciaal belang is voor de toekomst van de aarde en daarmee van de mensheid. Ook in het al eerder genoemde regeerakkoord van het Kabinet Balkenende IV is aandacht voor een duurzame leefomgeving een belangrijke pijler. Hierover is het volgende opgenomen 'Onze ambitie is dat Nederland de komende kabinetsperiode grote stappen neemt in de transitie naar één van de duurzaamste en efficiëntste energievoorzieningen in Europa in 2020'. In Europees verband wordt in het KP7 'Milieu' als één van de relevante onderzoeksthema's benoemd.

Onderzoek vanuit (verschillende thema's van) het CoC HTS kan in positieve zin bijdragen aan het thema **milieu en duurzaamheid**. Enkele voorbeelden zijn de volgende.

Vanuit het thema **Automotive** bestaat een belangrijke onderzoekslijn uit het doen van onderzoek naar nieuwe typen motoren zoals hybride motoren of verbrandingsmotoren/

-cellen voor waterstof dan wel verbrandingsmotoren met een hogere energie-efficiëntie. Ook kan hier onderzoek genoemd worden naar de mogelijkheden om tot gewichtsreductie van auto's te komen en onderzoek naar 'energiemanagement' van voertuigen. Het zal duidelijk zijn dat met dit type onderzoek (op termijn) een belangrijke bijdrage kan worden geleverd aan het reduceren van de schadelijke uitstoot van het auto- en vrachtverkeer.

Hierboven hebben we in feite al besproken dat het onderzoek zoals dat vanuit het CoC HTS plaatsvindt op het gebied van **procestechnologie** – naast het verbeteren van veiligheid – ook een bijdrage kan leveren aan milieu en duurzaamheid. Via (verdere) procesoptimalisatie kan de uitstoot van schadelijke stoffen en de kans op milieuschade als gevolg van incidenten worden verkleind.

D. Energie

De huidige en toekomstige energievoorziening vormt een belangrijk maatschappelijk vraagstuk. Dit heeft er mee te maken dat de fossiele brandstoffen uitgeput dreigen te raken, terwijl de energiebehoefte een stijgende lijn vertoont. Hier zijn bijvoorbeeld de economische groei, de toegenomen mobiliteit en de economische opkomst van landen als India en China debet aan. Het thema energie komt in het KP7 dan ook expliciet aan bod, maar ook in het huidige regeerakkoord (zie hierboven).

Het onderzoek zoals dat vanuit (de thema's van) het CoC HTS wordt uitgevoerd, kan een bijdrage leveren aan een (duurzame) energievoorziening. Hierboven hebben we bij het maatschappelijk vraagstuk van milieu en duurzaamheid bijvoorbeeld al aangegeven hoe er vanuit het thema **Automotive** een bijdrage aan energiebesparing en het gebruik van meer duurzame vormen van energie (zoals waterstof) kan worden geleverd.

Nog een ander voorbeeld heeft betrekking op het thema **control of complex energy systems**. Onderzoek op dit thema heeft met name ook betrekking op het optimaliseren van processen waarbij conversie plaatsvindt van bijvoorbeeld fossiele brandstoffen (in elektriciteitscentrales) of biomassa (bij bioraffinage) naar energie en/of grondstoffen. Met dit onderzoek kan dus bereikt worden dat het rendement van energieconversie verbeterd wordt, de uitstoot van schadelijke stoffen beperkt wordt dan wel dat de output aan grondstoffen (bij bioraffinage) verhoogd wordt.

E. Verkeer en vervoer

Verkeer en vervoer vormt zeker in Nederland een belangrijk maatschappelijk vraagstuk. Dit vanwege de logistieke functie die Nederland van oudsher heeft en de welvaart die ons land daaraan ontleent. Een belangrijk probleem is echter wel de toenemende verkeerscongestie waardoor Nederland als het ware aan het 'dichtslibben' is. Dit resulteert niet alleen in economische maar ook in milieuschade. Dit verklaart ook de toegenomen maatschappelijke aandacht voor dit vraagstuk. Ook in Europees verband kan het thema verkeer en vervoer op de nodige aandacht rekenen. Dit blijkt bijvoorbeeld uit het feit dat in het KP7 het thema verkeer en vervoer één van de negen thema's is die binnen het programma 'Samenwerking' benoemd zijn.

Onderzoek vanuit het CoC HTS kan ondersteuning bieden bij het reduceren van de hierboven gesignaleerde problematiek. Zo hebben we hierboven al besproken dat er vanuit het thema **Automotive** bijvoorbeeld onderzoek wordt verricht naar meer gecentraliseerde vormen van aan- en besturing van auto's zoals drive-by-wire systemen. Deze systemen kunnen een bijdrage leveren aan de reductie van de fileproblematiek. Vanuit het thema **Aerospace** wordt onder andere onderzoek gedaan naar het optimaliseren van systemen voor de afhandeling van luchtverkeer. Hiermee kunnen vertragingen en oponthoud in het vliegverkeer verminderd worden.

Het thema **Distributed and Embedded Systems** speelt een belangrijke rol in verkeersmanagementsystemen zoals hierboven besproken. Daarnaast ontstaat er ook vanuit andere invalshoeken een toenemende behoefte aan informatiestromen binnen en tussen auto's en van auto's naar andere systemen. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan navigatiesystemen en systemen voor rekeningrijden. Ook hierbij speelt het thema Distributed and Embedded Systems een belangrijke rol.

Resumerend

Per saldo kan uit het bovenstaande allereerst worden geconcludeerd dat (de thema's van) het CoC HTS **goed 'ingebed'** is (zijn) in zowel Europese als nationale ambities op het gebied van kennis- en technologiebeleid. In nationaal verband wordt HTS – bijvoorbeeld door het InnovatiePlatform – gezien als één van de toekomstige speerpunten voor Nederland. Dit vanwege de kennis- en marktpositie die Nederland zich op het gebied van HTS heeft weten te verwerven. Verder kan uit het voorgaande ook worden geconcludeerd dat onderzoek rondom HTS een belangrijke rol kan spelen bij het aanpakken van actuele maatschappelijke vraagstukken. Dit verklaart deels natuurlijk ook de beleidsmatige aandacht voor HTS.

3. Marktrelevantie CoC HTS

In deze paragraaf ligt, zoals gezegd, het accent op de **marktrelevantie** van het CoC HTS. Daarbij zullen we in de eerste plaats aandacht schenken aan een aantal belangrijke nationale onderzoeksprogramma's en instituties die direct gerelateerd zijn aan (thema's van) het CoC HTS en die zich bovendien kenmerken door een betrokkenheid van het bedrijfsleven. Dit laatste is immers een belangrijke indicatie voor de marktrelevantie van dergelijke programma's en instituties. De Europese dimensie zal in de navolgende paragraaf worden meegenomen. In die paragraaf zullen we namelijk afzonderlijk thema's van het CoC HTS de revue laten passeren. Daarbij zullen we dan ook enkele relevante Europese technologieplatforms betrekken. Verder zullen, we in de tweede plaats, ook een aantal kerncijfers over de economische betekenis van het HTS-cluster presenteren.

Hierboven hebben we al aangegeven dat het **InnovatiePlatform (IP) 'High-tech systemen en materialen'** als één van de **sleutelgebieden** heeft geselecteerd⁹⁷. Een belangrijk criterium voor selectie als sleutelgebied is dat het moet gaan om combinaties van bedrijvigheid en kennis waarin Nederland 'excelleert'. De achterliggende gedachte van het IP is dat zich juist op deze gebieden kansen voordoen voor innovatie en (daarmee) voor versterking van de Nederlandse concurrentiepositie. Per saldo heeft het IP vijf sleutelgebieden vastgesteld⁹⁸. Het feit dat hier ook het HTS-cluster toe behoort illustreert in feite al de marktrelevantie van het CoC HTS.

Het onderscheidende vermogen van Nederland op het gebied van 'High-tech systemen en materialen' bestaat volgens het IP uit het samenbrengen van verschillende disciplines. Hierboven hebben we gezien dat deze multidisciplinaire aanpak juist ook zo kenmerkend is voor het CoC HTS en in het bijzonder ook voor het CoE IMS daarbinnen. De kracht van het HTS-cluster blijkt volgens het IP onder andere uit de diversiteit van bedrijvigheid, toonaangevende kennisposities, octrooien, de groei van het industriële cluster en de exportquoten. In tabel 2 geven we een aantal kengetallen voor dit cluster weer, zoals die door het IP zijn gepresenteerd. Daarmee komt de economische betekenis van dit cluster duidelijk tot uitdrukking. Als actiepunten voor 'High-tech systemen en materialen' noemt het IP onder andere het uitbouwen van instituten (zoals ESI en Holst), een langdurig programma micro- en nanotechnologie en expliciete aandacht in het onderwijs voor multidisciplinaire systemen en afstemming op de behoeften van bedrijven.

⁹⁷ Voorstel sleutelgebieden-aanpak, Innovatieplatform, 2004.

⁹⁸ In eerste instantie zijn vier sleutelgebieden geselecteerd. Hieraan is Chemie later toegevoegd (Persbericht Ministerie van Algemene Zaken 7-9-2005). Daarnaast heeft ICT een bijzonder positie als innovatie-as omdat het door alle vijf gebieden heenloopt. Verder spreekt het IP ook van twee 'opkomende' sleutelgebieden: 'Pensioenen en Sociale Verzekeringen' en 'The Hague, Residence of Peace and Justice'.

Tabel 2 Kerncijfers sleutelgebied high-tech systemen en materialen

Kerncijfer	Machine en syste- men industrie	Transportmiddelen	Vliegtuigonderdelen en gasturbines
Toegevoegde waarde	12 mrd	2,8 mrd	3 mrd (omzet)
Werkgelegenheid (di- rect)	140.000	40.000	20.000
Exportquote	Ca 90%	60-95%	Ca 90%

Bron: *Voorstel sleutelgebiedenaanpak, Innovatieplatform, 2004*

In aanvulling op bovenstaande cijfers wordt in het haalbaarheidsonderzoek van het Programme for High Tech Systems (maart 2006)⁹⁹ op basis van gegevens van het CBS en het High Tech Systems Platform aangegeven dat de R&D uitgaven van de hightech machinebouw en systeemindustrie worden ingeschat op 2,1 miljard euro en het R&D personeel op 15.000 (fte).

Uit het bovenstaande volgt dat het HTS-cluster een belangrijk economisch zwaartepunt voor Nederland vormt. Daarbij wordt (ook door het IP) het stimuleren van de interactie en samenwerking tussen kennisinstellingen en bedrijven van groot belang geacht voor de handhaving en de uitbouw van de sterke concurrentiepositie die Nederland op dit terrein heeft. Per saldo kan dan ook de conclusie worden getrokken dat het CoC HTS vrijwel naadloos aansluit bij de kansrijke sporen voor de toekomst zoals die door het IP zijn geïdentificeerd.

Om invulling te geven aan bovenstaande ambities zijn – en worden – er in Nederland verschillende **onderzoeksprogramma's** opgestart die betrekking hebben op (onderdelen van) het **CoC HTS**. Alvorens aandacht te schenken aan enkele pregnante voorbeelden hiervan geven we eerst in schema 3 in meer algemene en samenvattende zin weer welke tweede en derde geldstroommiddelen onder andere relevant zijn voor de afzonderlijke thema's van het CoC HTS. Daarbij dient opgemerkt te worden dat bij al deze mogelijke financieringsbronnen het bedrijfsleven direct of indirect betrokken is. Ook dit onderbouwd in feite nog eens de marktrelevantie van (de verschillende thema's van) het CoC HTS.

⁹⁹ Programme for High Tech Systems, sheets haalbaarheidsonderzoek, maart 2006.

Schema 3 Potentiële tweede en derde geldstroommiddelen voor CoC HTS

Thema	Mogelijke geldstroom
Robotica	PfHTS, KP7 Nanowetenschappen, materialen, nieuwe productie en integratie technologieën, KP7 ICT
Precisiesystemen	IOP-Precisietechnologie, PfHTS, KP7 Nanowetenschappen, materialen, nieuwe productie en integratie technologieën, STW Smart Optics Systems
Microsystemen	Holst Centre, MicroNed, Point One, PfHTS, KP7 Nanowetenschappen, materialen, nieuwe productie en integratie technologieën, KP7 ICT
Distributed en Embedded Systems	ESI, Point One, KP7 ICT
Automotive and Transportation	HTAS, KP7 Transport
Aerospace systems	KP7 Transport
Biological Systems/(Bio)medical Engineering	Netherlands Genomics Initiative (NGI), KP7 Gezondheid
Besturing van complexe energie systemen	IOP Elektromagnetische Vermogenstechniek, Energie Onderzoek Subsidie (EOS), KP7 Energie
Mens Machine Interactie	IOP Mens Machine Interactie
Procesttechnologie	KP7 Nanowetenschappen, materialen, nieuwe productie en integratie technologieën, KP7 Veiligheid
Systems and Control	NWO/STW

Bron: *Meerjarenplan 2008-2012 CoC HTS, aanvulling Bureau Bartels*

Enkele programma's, die ook in bovenstaand schema opgenomen zijn, zijn zeer relevant zijn voor het CoC HTS en dan met name ook voor het **CoE IMS** daarbinnen. Het gaat hierbij achtereenvolgens om het Programme for High Tech Systems (PfHTS), Point One en het programma voor High Tech Automotive Systems (HTAS). We zullen deze programma's hieronder kort de revue laten passeren. Alvorens dat te doen merken we eerst op dat een belangrijk gemeenschappelijk kenmerk van deze programma's is dat zij in nauwe interactie tussen bedrijven en kennisinstellingen – en dan met name ook de drie TU's – tot stand zijn gekomen. Daarbij is het bijvoorbeeld de bedoeling dat bedrijven niet alleen inhoudelijk maar ook financieel zullen deelnemen. Dit illustreert de marktrelevantie van (deze thema's van) het CoC HTS.

Het **Programme for High Tech Systems (PfHTS)** komt voort uit een bundeling van de initiatieven voor het Instituut voor Precisiesystemen (als vervolg op het IOP-Precisietechnologie) en het Dutch Manufacturing Institute. Het PfHTS richt zich op het uitvoeren van precompetitief onderzoek en kennisvalorisatie op het gebied van geavanceerde bewegingssystemen voor de high tech industrie. In het programma wordt een drietal onderzoekssporen onderscheiden die nauw samenhangen met de thema's van het CoC HTS (zie ook schema 3)¹⁰⁰:

- a. Advanced Motion Systems for the semicon and printing industry
- b. Nano positioning and Scientific instruments
- c. Intelligent/Autonomous Motion Systems for the medical and domestic domain.

In het PfHTS worden de totale programmakosten op circa 80 miljoen euro geraamd. Hiervan heeft 75 miljoen euro betrekking op onderzoeksactiviteiten en 5 miljoen euro op netwerkactiviteiten. In de begroting van het PfHTS is geraamd dat het be-

¹⁰⁰ Programme for High Tech Systems, september 2006.

drijfsleven en de kennisinstellingen ieder een kwart van deze kosten voor hun rekening zullen nemen. Voor de overige financiering wordt dan een beroep gedaan op de rijksoverheid (met name de Ministeries van EZ en OCW).

Recentelijk zijn er vanuit de subsidieregeling 'Pieken in de Delta'¹⁰¹ van het Ministerie van Economische Zaken vijf projectaanvragen van PfHTS gehonoreerd (bron: website Bits&Chips, 23 april 2008). Met deze projecten is in totaal 20 miljoen euro gemoeid. Hiervan wordt vanuit het programma Pieken in de Delta ongeveer 10 miljoen euro gesubsidieerd. Het PfHTS sluit nauw aan bij het tweede programma dat voor het CoC HTS van belang is, namelijk Point One. Recentelijk is dan ook het initiatief genomen om tot een integratie van het PfHTS en Point One te komen.

Voor de pilotfase van Point One is in de periode tot en met 2009 circa 50 miljoen euro aan subsidie beschikbaar.¹⁰² Voor deze pilotfase zijn twee zogenoemde platformprojecten gehonoreerd (totale ondersteuning circa 29 miljoen euro subsidie). Naast deze twee projecten is er nog een subsidieprogramma voor R&D, haalbaarheidsprojecten en samenwerkingsprojecten. Hiervoor was in 2006 en 2007 14 miljoen euro aan subsidie gereserveerd en in 2008 ruim 9 miljoen euro. De overige middelen worden ingezet voor activiteiten rondom het verder ontwikkelen van het kenniscluster, menselijk kapitaal, MKB en starters. Voor de fase 2 van Point One is er een voorstel opgesteld waarbij, zoals hierboven vermeld, Point One en PfHTS worden geïntegreerd. Point One en het PfHTS zijn, zoals gezegd, sterk gerelateerd aan (de thema's die onderdeel uitmaken van) het CoE IMS.

Het programma **Point One** is medio 2006 opgezet. Het doel ervan is om de clustering en samenwerking van bedrijven op het terrein van nanotechnologie en Embedded Systems te stimuleren. Hiermee moet de positie van de Nederlandse industrie en kennisinstellingen op dit terrein worden versterkt. Het initiatief voor Point One is genomen door belangrijke Nederlandse industriële partijen zoals Philips en ASML, kennisinstituten en de overheid.

In de derde plaats is het programma voor **High Tech Automotive Systems (HTAS)** relevant voor het CoC HTS, en dan met name voor het thema Automotive and Transportation. HTAS is in 2007 van start gegaan en kent een looptijd van minimaal vijf jaar. Het programma beoogt om in tien jaar tijd de omzet van de automotive sector te vergroten met meer dan 6 miljard euro. De werkgelegenheid moet in die periode met 10.000 arbeidsplaatsen toenemen. Zoals uit de naamgeving al blijkt, richt dit programma zich vooral op baanbrekende technologieën die de concurrentie van de Nederlandse automotive sector verder moeten versterken. De totale kosten van het HTAS programma worden geraamd op 158 miljoen euro. In het projectplan¹⁰³ is als uitgangspunt genomen dat de industrie en de overheid ieder de helft van de totale kosten opbrengen. Vanuit het Ministerie van Economische Zaken is inmiddels een bedrag van 42 miljoen euro als subsidie toegezegd¹⁰⁴. In totaal hebben zich 13 bedrijven en 6 kennisinstellingen gecommitteerd aan het HTAS programma. Hierbij dient dan te worden gedacht aan bedrijven zoals DAF, VDL, NXP en Vredestein.

Naast de drie hierboven genoemde programma's heeft ook **MicroNed** een duidelijke relatie met het CoC HTS en dan met name met het thema Microsystemen. MicroNed is opgezet vanuit de Bsik-gelden. Bsik is een onderzoekstimuleringsprogramma waarmee Nederland haar fundament voor de toekomst wil versterken. Daarvoor is in totaal een bedrag van 820 miljoen euro beschikbaar gesteld. Bsik is in feite de opvolger van de voormalige ICES/KIS-regeling. Binnen Bsik kunnen ken-

¹⁰¹ Dit programma richt zich op ondersteuning van kansrijke regio's in Nederland ter stimulering van de Nederlandse concurrentiekracht, hiervoor is in 2008 136 miljoen beschikbaar.

¹⁰² Brief Ministerie van Economische Zaken aan Tweede Kamer, 25 september 2005.

¹⁰³ High Tech Automotive Systems, innovation programme, Federatie Holland Automotive, december 2006.

¹⁰⁴ Persbericht Ministerie van Economische Zaken, 24 mei 2007.

nisprojecten op een vijftal gebieden worden ondersteund. Bij de selectie van deze gebieden is onder andere gekeken naar de Nederlandse kennis- en marktpositie. Eén van de aldus geselecteerde gebieden heeft betrekking op microsystemen en nanotechnologie. Voor MicroNed is in de periode 2004-2009 een subsidie van 28 miljoen euro is toegekend¹⁰⁵. Zoals uit de naamgeving al blijkt, wordt vanuit MicroNed onderzoek verricht op het gebied van microsystemen. De betrokkenheid van het bedrijfsleven bij Microned blijkt uit het partnerschap van 23 bedrijven, waaronder ook 17 MKB-bedrijven.

Uit schema 3 blijkt ook dat het **Zevende Kaderprogramma** (KP7) relaties heeft met (diverse thema's van) het CoC HTS. Voor het CoE IMS geldt dit in het bijzonder voor het thema 'nanowetenschappen, nanotechnologieën, materialen en nieuwe productietechnologieën (NMP)' van het KP7. Een ander KP7-thema dat voor meerdere thema's van het CoC HTS relevant is, betreft ICT. Naast de thema's NMP en ICT zijn ook de KP7-thema's 'Transport', 'Gezondheid', 'Energie' en 'Veiligheid' van belang voor verschillende thema's van het CoC HTS.

Andere mogelijke financieringsbronnen die in schema 3 vermeld staan, zijn bepaalde programma's van **SenterNovem en STW**. Bij SenterNovem gaat het dan bijvoorbeeld om het programma **Energie Onderzoek Subsidie (EOS)**. Dit programma richt zich op het stimuleren van de ontwikkeling van nieuwe technologieën met als doel kennis over energie-efficiency en duurzame energie in Nederland uit te breiden. Dit sluit daarmee nauw aan bij het CoC HTS thema Control of Complex Energy Systems. Het EOS-programma is een initiatief van het Ministerie van Economische Zaken. EOS omvat een aantal verschillende regelingen die het traject van onderzoek naar marktintroductie beslaan. Eén van deze regelingen is EOS-Lange Termijn. Met deze regeling kan fundamenteel- en industrieel onderzoek worden ondersteund dat op langere termijn kan leiden tot een duurzame energiehuishouding. Projecten kunnen door kennisinstellingen en bedrijven (eventueel in een samenwerkingsproject) worden uitgevoerd. De maximale subsidie per project is 1,2 miljoen euro.

Een voor het CoC HTS relevant STW-programma is **Smart Optics Systems**. Doel van dit programma is om de technologie van smart optics beschikbaar te maken voor een breder veld van toepassingen in 'health and life sciences, industrial imaging en consumer optics'. Bij het programma zijn de **drie TU's** en andere kennisinstellingen **betrokken**. Voor Smart Optics Systems was in de meest recente tender ruim 4 miljoen euro aan subsidie beschikbaar. Dit bedrag moet gematched worden met minimaal hetzelfde bedrag van kennisinstellingen en/of bedrijven. In de projecten wordt veel belang gehecht aan betrokkenheid van het bedrijfsleven, bijvoorbeeld als partner of als kennisgebruiker. Smart optics kan voor verschillende thema's van HTS – zoals precisietechnologie – van belang zijn.

In schema 3 is verder een drietal **Innovatieve Onderzoeksprogramma's (IOP's)** opgenomen. Het gaat hierbij achtereenvolgens om het IOP Precisietechnologie (PT), het IOP Elektromagnetische Vermogenstechniek (EMVT)¹⁰⁶ en het IOP Mens Machine Interactie (MMI). Voor deze programma's geldt dat deze zich in de afrondende fase bevinden. Bij de 24 projecten van het IOP Precisietechnologie zijn bijvoorbeeld gemiddeld per project 8 bedrijven betrokken (geweest). In totaal gaat het om circa honderd verschillende bedrijven¹⁰⁷. Dit duidt (nogmaals) op de grote belangstelling vanuit het bedrijfsleven voor het CoC HTS thema Precisietechnologie. Ook voor de

¹⁰⁵ http://www.senternovem.nl/bsik/projecten/micro_nano_technologie/microned_microsysteemtechnologie_nederland.asp

¹⁰⁶ Het IOP EMVT richt zich op een combinatie van technologieën die hun toepassing krijgen in geïntegreerde elektromagnetische systemen met een hoge vermogensdichtheid, hoge frequentie en hoog rendement, waarbij rekening gehouden wordt met elektrische, magnetische, thermische en mechanische ontwerpaspecten.

¹⁰⁷ <http://www.senternovem.nl/iopprecisietechnologie/projecten/index.asp>

IOP's EMVT en MMI geldt dat er bedrijven bij de projecten betrokkenen zijn (ge-weest).

In de **institutionele sfeer** zijn er ook enkele organisaties actief op deelterreinen van het CoC HTS. Voorbeelden van een aantal belangrijke organisaties zijn achtereenvolgens het **Holst Centre**, het **Embedded Systems Institute (ESI)** en de onderzoeksschool **DISC**. Net als voor de hierboven besproken programma's geldt dat kenmerkend voor deze organisaties is dat het gaat om initiatieven op het snijvlak van kennisinstellingen en bedrijfsleven.

Het **Holst Centre** is in 2005 opgericht. Vanuit het Holst Centre wordt met name ook onderzoek gedaan naar **microsystemen**. Het Holst Centre is in 2005 op initiatief van het Belgische IMEC en TNO tot stand gekomen. Het Centre heeft als ambitie om zich te ontwikkelen tot een internationaal toonaangevend onderzoeksinstituut op het gebied van **microsystemen**. Het Holst Centre heeft op dit moment 15 industriële en nog iets meer kennisinstellingen als partners. Het Ministerie van Economische Zaken heeft het belang van het Holst Centre onderkend en heeft een startsubsidie toegekend van circa 12 miljoen euro.

Het **Embedded Systems Institute** houdt zich, zoals uit de naam al blijkt, vooral bezig met onderzoek dat direct gerelateerd is aan het thema **Distributed and Embedded Systems** van het CoC HTS. Financiering van het ESI vindt deels plaats uit contractactiviteiten voor onder andere het bedrijfsleven. Bij de uitvoering van de contractactiviteiten worden overigens ook de drie TU's betrokken. We komen in paragraaf 5 nader terug op het ESI.

Aan het **Dutch Institute of Systems and Control (DISC)** hebben we in paragraaf 2 al aandacht geschonken. In aanvulling daarop merken we hier nog op dat de betrokkenheid van het bedrijfsleven bijvoorbeeld blijkt uit het feit dat bedrijven (zoals ASML en Demcon) vertegenwoordigd zijn in de adviesraad van DISC.

In de analyses (gesprekken en deskresearch) hebben we ook aandacht geschonken aan de vraag in hoeverre **bedrijven** op dit moment **(financieel) participeren** in de verschillende **thema's van het CoC HTS**. Een knelpunt is daarbij echter dat betrouwbare gegevens hierover niet direct voorhanden zijn. Deels heeft dit ook te maken met het feit dat het CoC HTS geen organisatorische en administratieve eenheid is waarvoor dit type gegevens wordt geregistreerd. Als 'second-best' oplossing hebben we daarom aan de personen die we geraadpleegd hebben gevraagd om een inschatting te maken van de (financiële) betrokkenheid vanuit het bedrijfsleven. Het onderstaande dient dan ook als een **indicatie** te worden gezien van de financiële betrokkenheid van het bedrijfsleven.

De 'rode draad' daaruit is dat ingeschat wordt dat bedrijven relatief gezien het meest financieel zullen participeren in thema's als Precisiesystemen, Distributed and Embedded Systems en Automotive and Transportation¹⁰⁸. Daarentegen wordt verwacht dat voor thema's als Robotica, Microsystemen en Biological Systems/(Bio)medical Engineering de financiële betrokkenheid van het bedrijfsleven nu nog vrij beperkt zal zijn maar in de komende jaren wel verder uitgebouwd zal worden. Dit vanwege het feit dat op deze terreinen nog veel fundamenteel onderzoek nodig is alvorens op een grotere schaal tot commerciële toepassingen te kunnen komen. Ten aanzien van Aerospace systems is de inschatting over het algemeen dat de financiële betrokkenheid van het bedrijfsleven vrij beperkt is en naar de toekomst ook zal blijven. Een belangrijke verklaring die hiervoor wordt gegeven, is dat Nederland met het afbouwen van Fokker steeds meer een thuismarkt ontbeert op

¹⁰⁸ De faciliterende thema's Mens Machine Interactie en Systems and Control hebben we hier buiten beschouwing gelaten.

het gebied van Aerospace. Over de betrokkenheid van het bedrijfsleven bij thema's als Procestechologie en Besturing van Complexe Energie Systemen konden de respondenten zich veelal geen mening vormen. Dit hangt deels ook samen met de eerdere constatering dat verschillende respondenten – met name de externe partners – kanttekeningen hebben geplaatst bij deze thema's van het CoC HTS.

Resumé

Per saldo kan uit het voorgaande worden geconcludeerd dat het CoC HTS naast maatschappelijk relevant (zie paragraaf 3) ook in economische zin relevant is. Zo blijkt het HTS-cluster een belangrijke 'motor' van de Nederlandse economie te zijn die ook naar de toekomst nog volop kansen biedt. Nederland heeft in de afgelopen jaren zowel een sterke kennis- als marktpositie op het gebied van HTS opgebouwd. Het (wetenschappelijk en) economisch belang van het HTS-cluster komt verder ook tot uitdrukking in de diverse onderzoeksprogramma's en instituten die in de afgelopen jaren geïnitieerd zijn. Deze programma's en instituten kunnen namelijk ook rekenen op draagvlak en participatie vanuit het (HTS-)bedrijfsleven.

4. Relevantie van afzonderlijke thema's van het CoC HTS

In deze paragraaf schenken we op hoofdlijnen aandacht aan een aantal afzonderlijke thema's (toepassingsgebieden) van het CoC HTS. We merken daarbij op dat we de 'faciliterende' thema's Mens Machine Interactie en Systems & Control achterwege zullen laten. De reden daarvoor is dat het hier om 'faciliterende' of ondersteunende thema's gaat die in feite relevant zijn voor alle andere thema's (toepassingsgebieden) van het CoC HTS. In deze andere thema's zullen de thema's Systems & Control en Mens Machine Interactie dus integraal betrokken moeten worden.

Verder zullen we in deze paragraaf ook geen aandacht schenken aan het thema Aerospace. Dit vanwege het gegeven dat de inzet vanuit het CoC HTS – zie ook tabel 1 – op dit thema (zeer) beperkt is. Dit heeft overigens ook te maken met het feit dat bij het CoC HTS Aerospace niet in brede zin betrokken wordt maar vooral betrekking heeft op besturing(ssystemen) binnen dit toepassingsgebied. Eerder hebben we al betoogd dat mede om deze redenen wellicht overwogen kan worden om vanuit het CoC HTS Aerospace niet als apart thema te positioneren maar bijvoorbeeld onder te brengen bij het thema Automotive and Transportation.

Dan gaan we nu over op de CoC HTS thema's die we wel de revue zullen laten passeren. We hebben onze uitwerking gebaseerd op een analyse van diverse schriftelijke bronnen en bevindingen vanuit de door ons gevoerde gesprekken. We beginnen met het thema Robotica.

Robotica

In Europees verband wordt robotica als een kansrijk onderzoeksgebied gezien. Dat blijkt bijvoorbeeld al uit het feit dat er rondom het thema Robotica een separaat **Technologieplatform (EUROP)** is opgezet. Specifiek voor de Nederlandse situatie geldt dat, zoals eerder vermeld, in de 'Horizonscan 2007' robotica als een belangrijk toekomstig speerpunt voor Nederland wordt gezien. Over het thema Robotica en Interconnectiviteit wordt in de horizonscan opgemerkt dat 'we ons aan de vooravond van een kennisrevolutie bevinden. De effecten van die revolutie zullen de effecten van alle voorgaande (industriële) revoluties doen verbleken.'

Het EUROP-platform heeft in de afgelopen periode zowel een visie als een onderzoeksagenda opgesteld¹⁰⁹. Uit de strategische onderzoeksagenda (SRA) van EUROP blijkt dat robotica een **maatschappelijk relevant** thema is. Robotica kan namelijk

¹⁰⁹ Building EUROP, the European Robotics Platform, the higher level, July 2005 en Europ the European Robotics Platform, Strategic Research Agenda, May 2006.

een belangrijke rol spelen bij verschillende maatschappelijke vraagstukken. In de SRA van EUROP worden daarvan een aantal voorbeelden gegeven zoals de inzet van robots in de medische wereld, ondersteuning van hulpbehoevende mensen en het inzetten van robots voor het vergroten van de veiligheid. Bij dit laatste kan gedacht worden aan surveillerende robots bij bijvoorbeeld landsgrenzen of inspecterende robots voor leidingen of rampplekken. In de visie van EUROP zullen robots op termijn een integraal onderdeel van ons dagelijks leven gaan vormen. Robots zullen meer met mensen dan alleen voor mensen gaan werken. In deze visie worden robots als het ware menselijke assistenten die mensen op een natuurlijke en interactieve manier gaan ondersteunen.

Wat de **economische relevantie** betreft wordt in de SRA van EUROP aangegeven dat robotica op een punt van sterke groei staat. Robotssystemen die kunnen interacteren met de menselijke wereld en die complexe taken kunnen uitvoeren, kunnen namelijk in tal van producten ingebed worden. Hierdoor is sprake van een **groot marktpotentieel** voor robotica. Zo wordt de wereldmarkt voor robotssystemen door de United Economic Commission for Europe (UNECE) en de International Federation of Robotics (IFR) ingeschat op meer dan 55 miljard euro per jaar in 2025.

In de SRA van EUROP wordt een **vijftal toepassingsgebieden** geïdentificeerd voor robotica. Het gaat hierbij achtereenvolgens om industriële toepassingen (zoals productierobots), zakelijke diensten (zoals toepassingen in de medische wereld, veiligheidsinspecties en vervoer zonder een fysieke bestuurder), huishoudelijke diensten (zoals persoonlijke hulp voor vergroten mobiliteit), veiligheid (surveilleren) en ruimtevaart (uitvoeren reparaties). Robotssystemen voor industriële toepassingen kunnen ook bijdragen aan kostenbesparingen door een efficiëntere productie en daarmee in bredere zin een bijdrage leveren aan de versterking van de concurrentiepositie van de Europese industrie. Uit deze toepassingsgebieden blijkt overigens (nogmaals) dat robotica zowel vanuit maatschappelijk als economisch perspectief relevant is.

Uit de analyses van het Technologieplatform EUROP blijkt verder dat Europa op zich over een sterke concurrentiepositie op het gebied van robotica beschikt maar dat de concurrentie vanuit onder andere Korea en Japan groot is. Het betreffende platform signaleert dan ook dat fundamenteel en toegepast onderzoek op het gebied van robotica van groot belang is om op termijn te profiteren van het marktpotentieel van robotica. Ten aanzien van de **onderzoeksuitdagingen** hebben we eerder in meer algemene zin al geconstateerd dat de belangrijkste onderzoeksuitdaging – zoals die vanuit het Technologieplatform EUROP wordt gesignaleerd – goed aansluit bij het type onderzoek zoals dat vanuit het CoC HTS plaatsvindt. In het licht van het bovenstaande ziet het Technologieplatform EUROP namelijk als belangrijkste onderzoeksuitdaging om robots te ontwikkelen die adequaat kunnen interacteren met de menselijke omgeving. Dit sluit vrijwel naadloos aan bij het onderzoek naar 'humanoid' robots zoals dat vanuit het CoC HTS wordt uitgevoerd. In het verlengde hiervan worden in de SRA Robotics een drietal technologieassen geïdentificeerd waarvoor – vanuit Europees perspectief – extra onderzoeksinspanningen relevant zijn. Binnen de technologieassen zijn specifieke onderzoeksgebieden geformuleerd. We geven hiervan in schema 4 een overzicht.

Schema 4 Technologieassen en onderzoeksgebieden SRA EUROP

Technologieassen	Onderzoeksgebieden
Robotics Systems	Manipulation and grasping, sensing and control, intelligent/ distributed environments, realtime control and physical actuation, robotic system engineering
Component and miniaturised robotics	Actuators, sensors, processing and communications, human machine interfaces, miniaturised robotics
Advanced behaviours	Autonomy, cognitive skills, collective behaviours, rich sensory-motor skills, data fusion/algorithm, intuitive and flexible interfacing, intuitive human machine interaction

Bron: SRA Robotics, EUROP, 2006

Bovenstaande technologieassen en onderzoeksgebieden sluiten goed aan bij het type onderzoek zoals dat vanuit het CoC HTS plaatsvindt (zie ook schema 1). Zo wordt er, zoals gezegd, binnen het thema Robotica vanuit het CoC HTS bijvoorbeeld bewust ingezet op humanoid robots. Dit omdat hiermee in feite integraal alle aspecten van onderzoek op het gebied van robotica – zoals weergegeven in schema 4 – aan bod komen. Ook de onderzoeksinspanningen van de drie TU's gericht op de inzet van robots in de industrie, de zorg en om de veiligheid te vergroten, sluiten nauw aan bij geïdentificeerde toepassingsgebieden van EUROP.

Uit de gesprekken die we hebben gevoerd komt het beeld naar voren dat op dit moment de totale industriële activiteit in Nederland op het gebied van robotica nog vrij beperkt is. De verklaring die hiervoor veelal gegeven wordt, is dat dit ook te maken heeft met de **levensfase** waarin robotica zich bevindt. Er zal immers nog veel onderzoek moeten worden verricht alvorens de economische potentie van robotica ten volle benut kan gaan worden. Wel signaleren diverse gesprekspartners dat de belangstelling voor robotica vanuit het (Nederlandse) bedrijfsleven duidelijk groeiende is. Daarbij wordt bijvoorbeeld gewezen op de groeiende betrokkenheid van bedrijven en partijen zoals Philips, Demcon, GasNed, KIWA, Gastech en Continuum. Een andere relevante ontwikkeling is de oprichting van de Stichting Mechatronica Valley Twente (MVT). Het doel van deze stichting is om mechatronica in brede zin te stimuleren. Dit gebeurt door onder meer het financieren van een deeltijdhoogleraar op het gebied mechatronisch ontwerpen aan de Universiteit Twente. De stichting MVT houdt zich (daarmee) ook bezig met robotica.

Precisiesystemen

Bij precisietechnologie gaat het in essentie om de ontwikkeling van systemen waarvoor een hele grote mate van precisie benodigd is. In de **Roadmap Precisietechnologie** (2004)¹¹⁰ die in het kader van het IOP Precisietechnologie is opgesteld, wordt de volgende omschrijving gebruikt: 'Precisietechnologie is de kunde om functies en producten te realiseren waaraan hoge eisen gesteld worden ten aanzien van vorm- en maatnauwkeurigheid, of ten aanzien van snelle, precieze positionering'. In de roadmap wordt aangegeven dat precisietechnologie van belang is voor een groot aantal producten en productiemiddelen. De belangrijkste drijfveer achter de precisietechnologie is de trend naar miniaturisatie, waarbij steeds meer functies in

¹¹⁰ Roadmap Precisietechnologie, De uitdaging van precisie micro- en nano-nauwkeurigheden, Berenschot, 2004.

steeds kleinere afmetingen worden ondergebracht. Hierbij is een systeembenadering waarbij kennis en technieken vanuit verschillende disciplines (zoals regeltechniek, elektronica, mechanica) geïntegreerd worden cruciaal. Dit sluit goed aan bij het onderzoek zoals dat aan de drie TU's rondom precisietechnologie – maar ook binnen het IMS – uitgevoerd wordt (zie schema 1).

Precisietechnologie kent een **breed toepassingsgebied**. Zo zijn er industriële toepassingen zoals wafersteppers voor het produceren van chips en consumenten-toepassingen zoals DVD-spelers, laptops en mobiele telefoons. Daarnaast is precisietechnologie bijvoorbeeld ook van belang voor de ruimtevaart, elektronische meetinstrumenten en medische toepassingen (zoals microchirurgie en druktechnieken).

Het thema Precisietechnologie heeft voor de Nederlandse situatie een hoge markt-relevantie. Veel van de onderzoeksinspanningen die vanuit de drie TU's gepleegd worden, zijn dan ook gerelateerd aan de toonaangevende marktpositie die Nederland op het gebied van precisietechnologie heeft. In meer afgeleide of indirecte zin is precisietechnologie echter ook een **maatschappelijk relevant thema**. Immers, precisietechnologie wordt in een groot aantal uiteenlopende apparaten en systemen toegepast. Dat geldt (dus) bijvoorbeeld ook voor veiligheidssystemen en medische apparatuur. In dit opzicht is het thema precisietechnologie (indirect) dus ook relevant voor maatschappelijke vraagstukken zoals gezondheid(szorg) en veiligheid.

Zoals gezegd, wordt alom onderkend dat Nederland zowel qua kennisniveau als qua marktpositie mondiaal gezien een vooraanstaande positie op het gebied van precisietechnologie inneemt. Er is dan ook sprake van een grote **economische relevantie** van het thema precisietechnologie voor Nederland. Zo heeft Nederland op het gebied van precisietechnologie mondiaal gezien toonaangevende bedrijven zoals ASML, ASMI, Océ, FEI, Thales en Philips. Deze leidende positie van Nederland komt ook naar voren in de eerdergenoemde roadmap. In deze roadmap wordt bijvoorbeeld geraamd dat de Nederlandse industrie sectoren waar precisietechnologie een rol speelt een productiewaarde van tenminste 45 miljard euro realiseren. Bovendien zou sprake zijn van een expansieve groei van de productiewaarde. In de periode 1998-2004 zou deze productiewaarde namelijk met tenminste 50% zijn gegroeid. Specifiek op het terrein van precisietechnologie is de Nederlandse Vereniging voor Precisietechnologie actief. Hierin zijn bedrijven en kennisinstellingen vertegenwoordigd. Op dit moment zijn ongeveer 50 bedrijven aangesloten bij deze vereniging¹¹¹.

Het (economische) belang van het thema Precisietechnologie voor Nederland werd al in de jaren negentig van de vorige eeuw onderkend. Precisietechnologie was namelijk één van de thema's waarvoor in die periode een Innovatief Onderzoeksprogramma (IOP) opgestart werd. IOP's zijn opgestart op die terreinen waarvoor sprake is van een relatief sterke kennis- en marktpositie die met (vraaggestuurd) onderzoek verder uitgebouwd kan worden. Bij 23 van de 24 projecten waarvan op de website van het IOP Precisietechnologie een projectbeschrijving beschikbaar is, is één of meer van de drie TU's betrokken. Hieruit blijkt (nogmaals) dat de drie TU's voor de Nederlandse industrie op het gebied van precisietechnologie belangrijke kennispartner zijn.

In de door ons gevoerde gesprekken hebben we ook aandacht geschonken aan het thema Precisietechnologie. De resultaten daarvan bevestigen in feite bovenstaand beeld in die zin dat precisietechnologie economisch gezien een zeer belangrijk thema voor Nederland vormt en dat bedrijven ook actief betrokken zijn bij onderzoeksactiviteiten rondom dit thema. Het belang van fundamenteel onderzoek vanuit

¹¹¹ http://www.precisieportaal.nl/meer_over_nvpt/leden

de drie TU's op het gebied van precisietechnologie voor het handhaven en versterken van deze leidinggevende positie wordt dan ook breed onderkend vanuit de door ons gevoerde gesprekken.

Microsystemen

Microsystemen zijn, zoals de naam al aangeeft, (zeer) kleine systemen. Door de trend naar miniaturisering worden deze systemen steeds belangrijker. Microsystemen bevatten sensoren, micro-elektronica en actuatoren. Dergelijke systemen kunnen worden toegepast in verschillende domeinen zoals elektronica, mechanica en chemie. Voorbeelden van microsystemen zijn de spuitkop van een inktjetprinter, versnellingsopnemers in een airbag of sensoren voor het beveiligen van laptops bij diefstal. Daarnaast zijn er meer niche-gerichte toepassingen, zoals het zeer nauwkeurig produceren en toedienen van medicijnen en het detecteren van bacteriële besmettingen van voedsel.

Zoals eerder al vermeld, kent Nederland in de vorm van **MicroNed** een specifiek programma ter stimulering van onderzoek op het gebied van microsystemen. Het MicroNed-programma heeft tot doel de kennis op het gebied van Microsysteem Technologie (MST) en MEMS (MicroElectroMechanical Systems) verder uit bouwen en te ontwikkelen. Dit wordt in het MicroNed-programma nagestreefd door nieuw onderzoek, bundeling van kennis en infrastructuur, een nauwe samenwerking tussen onderzoeksinstituten en de industrie, verspreiding van de opgedane kennis en uitbreiding en coördinatie van onderwijs op het gebied van MST. In MicroNed zijn tien kennisinstellingen als partner vertegenwoordigd, waaronder de **drie TU's**. Daarnaast zijn er, zoals in de vorige paragraaf naar voren kwam, 23 bedrijven als partner betrokken. Het project wordt door de **TU Delft** gecoördineerd. Hierdoor kan het onderzoek, zoals dat vanuit de drie TU's op het gebied van microsystemen wordt uitgevoerd, goed afgestemd worden met het **MicroNed-programma**.

Onderzoek op het gebied van microsystemen dient ook een **maatschappelijk belang**. Daarbij valt allereerst te denken aan het terrein van de gezondheidszorg (zie ook paragraaf 3). Een ander relevant maatschappelijk vraagstuk betreft veiligheid. Voorbeelden hiervan zijn de al eerder genoemde toepassingen van microsystemen in airbags van auto's en bij het detecteren van bacteriën in voedsel (voedselveiligheid).

Microsystemen zijn voor Nederland ook **economisch relevant**. Zo maken bedrijven die actief zijn op het gebied van microsystemen onderdeel uit van de high tech industrie die voor Nederland van grote betekenis is (zie hierboven). Verder vormde, zoals gezegd, voor de selectie van het MicroNed-programma de marktpotentie van microsystemen voor het Nederlandse bedrijfsleven een belangrijk criterium. De economische relevantie wordt verder ondersteund door de vrij brede participatie van bedrijven bij MicroNed. Het gaat daarbij dan om grote multinationals zoals ASML, Philips en Akzo Nobel maar ook om MKB-bedrijven zoals Aquamarijn micro-filtration, Besi, Bronkhorst en Chess. Het economisch belang van microsystemen wordt verder onderschreven vanuit de oprichting van het **Holst Centre** dat zich ook bezighoudt met onderzoek op het gebied van microsystemen. Hierin zijn, zoals eerder vermeld, 15 industriële partners betrokken.

Distributed en Embedded Systems

Een 'embedded system' kan worden omschreven als een informatieverwerkend systeem dat is 'ingebouwd' of 'ingebed' in een apparaat of systeem waarvan het de functionaliteit en de besturing geheel of gedeeltelijk bepaalt. Het informatieverwerkend systeem en het omvattende systeem zijn zodanig van elkaar afhankelijk dat het een zonder het ander geen betekenis heeft. Voorbeelden hiervan zijn HDTV's, mobiele telefoons en persoonlijke digitale assistenten (pda's).

Het belang van het CoC HTS thema Distributed and Embedded Systems wordt ook in Europees verband onderkent. Op Europees niveau is hiervoor namelijk een specifiek **Technologieplatform ARTEMIS** opgezet: Advanced Research & Technology for Embedded Intelligence and Systems. In de SRA van ARTEMIS¹¹² worden **vier applicatiegebieden** onderscheiden. Een eerste applicatiegebied betreft industriële systemen. Hierbij kan dan worden gedacht aan systemen in de automotive, de lucht- en ruimtevaart en 'manufacturing'. Een tweede toepassingsgebied wordt aangeduid met 'nomadische omgeving'. Hierbij dient dan te worden gedacht aan systemen om te communiceren in veranderende en mobiele omgevingen (zoals pda's). Een derde toepassingsgebied wordt aangeduid als privéruimtes. Hierbij gaat het om huizen, auto's maar ook kantoren waarbij embedded systemen bij kunnen dragen aan vergroting van het comfort, welzijn en veiligheid. Tot slot wordt de publieke infrastructuur als applicatiegebied onderscheiden. Dit betreft dan majeure infrastructuren zoals steden en vliegvelden waarin systemen nodig zijn die burgers/gebruikers in brede zin ondersteunen of faciliteren (zoals communicatienetwerken, mobiliteit, energiedistributie, intelligente gebouwen, et cetera).

Uit de genoemde applicatiegebieden van ARTEMIS blijkt in feite al dat onderzoek op het gebied van distributed en embedded systems ook relevant is voor verschillende **maatschappelijke vraagstukken**. Wat dit aangaat kan min of meer een parallel worden getrokken met precisietechnologie. In diverse apparaten en systemen is namelijk sprake van distributed en embedded systems. Dat geldt (dus) ook voor apparatuur en systemen die gerelateerd zijn aan maatschappelijke vraagstukken zoals gezondheid, veiligheid, duurzaamheid (duurzame energievoorziening), verkeer en vervoer.

Wat de **economische relevantie** betreft wordt vanuit het Technologieplatform ARTEMIS¹¹³ onderbouwd dat embedded systems een **grote toegevoegde waarde** leveren aan producten. Zo wordt voor de komende vijf jaar verwacht dat embedded systems 22% van de toegevoegde waarde uit zullen maken van het uiteindelijke product in de industriële automatisering, 37% in de telecommunicatie, 41% in de consumenten-elektronica en 33% in de gezondheid/medische apparatuur. In de SRA van ARTEMIS wordt onderbouwd dat in de automotive nu nog ongeveer 20% van de waarde van een auto door embedded systems wordt bepaald. De verwachting is dat dit aandeel op zal lopen tot 35-40% in 2015. Dit zou in Europa 600.000 nieuwe banen betekenen voor embedded systems alleen al op het gebied van de automotive.

Dat het thema Distributed and Embedded Systems **economisch** ook van belang is voor Nederland blijkt bijvoorbeeld uit het gegeven dat in de afgelopen jaren een ('hybride') IOP op dit gebied is uitgevoerd: **PROGRESS**¹¹⁴. Hierboven hebben we namelijk al aangegeven dat een voorwaarde voor het opzetten van een IOP is dat Nederland over een sterke (kennis- en) marktpositie moet beschikken. Het economisch en maatschappelijk belang van onderzoek op het gebied van embedded systems voor Nederland blijkt verder uit de oprichting – in 2002 – van het **Embedded Systems Instituut (ESI)**. Het ESI is een publiek-private stichting waarin bedrijven en kennisinstellingen samenwerken op het gebied van embedded systems. Het initiatief tot de oprichting van het ESI is genomen door de **drie TU's**, enkele grote high tech bedrijven (Philips, Océ en ASML) en TNO. Het ESI wordt overigens mede gefinancierd vanuit de Bsik-regeling. Dit geeft aan dat het ESI – en daarmee het thema Distributed and Embedded Systems – ook voldoet aan de hierboven al genoemde Bsik-criteria voor kennispositie en marktpotentieel voor Nederland.

¹¹² ARTEMIS, Strategic Research Agenda, maart 2006.

¹¹³ ARTEMIS, website, mei 2008.

¹¹⁴ De term 'hybride' geeft aan dat de uitvoering hiervan niet door SenterNovem plaatsvindt – zoals meestal het geval is bij IOP's – maar in dit geval door STW.

Vanuit het ESI worden gezamenlijke onderzoeksprojecten met academische en industriële partners uitgevoerd. Hierbij wordt het zogenoemde 'industry-as-laboratory'-model gehanteerd. Dit houdt in dat onderzoeksprojecten worden uitgevoerd op basis van cases uit de industriële praktijk. Het ESI initiatief toont aan dat er bij het bedrijfsleven behoefte bestaat aan onderzoek op het terrein van embedded systems en dat de drie TU's hierbij een belangrijke rol spelen. Uit de gevoerde gesprekken is gebleken dat ESI ten aanzien van distributed en embedded systems vaak een 'interface rol' speelt tussen de drie TU's en het bedrijfsleven. Daarbij 'acquireert' ESI onderzoeksprojecten op het gebied van distributed en embedded systems waarbij bepaalde onderdelen – meer fundamentele onderzoeksvragen – vanuit de drie TU's ingevuld kunnen worden.

Automotive en Transportation

Eerder hebben we al geconstateerd dat onderzoek op het terrein van automotive relevant kan zijn voor verschillende **maatschappelijke vraagstukken**. Deze vraagstukken vormen zelfs een belangrijke 'trigger' voor innovaties in de automotive. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan milieuvraagstukken en verkeer en vervoer (zie paragraaf 3).

Op Europees niveau is een **technologieplatform voor het wegtransport** opgezet en is er vanuit dit platform een visie en een strategische onderzoeksagenda ontwikkeld¹¹⁵. In dit platform – de European Road Transport Research Advisory Council (ERTRAC) – zijn overheden, bedrijfsleven en kennisinstellingen betrokken. Er zijn vanuit ERTRAC een aantal belangrijke onderzoeksthema's voor de toekomst geïdentificeerd. Het gaat hierbij om thema's zoals schoner wegtransport, duurzaamheid en vergroting van de veiligheid. Deze thema's sluiten nauw aan bij het onderzoek zoals dat vanuit het CoC HTS rondom automotive wordt ontplooid (zie schema 1 en paragraaf 3).

De **economische betekenis** van automotive voor Europa – maar ook voor Nederland – valt als significant te bestempelen. Op de website van de EU over onderzoek op het terrein van het wegvervoer¹¹⁶ wordt bijvoorbeeld aangegeven dat de automotive sector in Europa ongeveer 20 miljard per jaar besteed aan onderzoek en ontwikkeling. Het is daarmee de sector waarbij private partijen het meeste zelf investeren in onderzoek en ontwikkeling. Op deze website wordt verder vermeld dat in Europa 1,9 miljoen (directe) banen verbonden zijn aan de automotive sector. In indirecte zin zijn circa 10 miljoen banen gerelateerd aan de automotive. De totale omzet van de Europese automotive sector bedraagt bijna 500 miljard euro.

In de SRA voor het wegtransport worden ook een aantal thema's en belangrijke Europese onderzoeksgebieden geïdentificeerd (zie schema 5). Met name de onderzoeksgebieden binnen de thema's 'veiligheid' en 'omgeving, energie en bronnen' sluiten goed aan bij het onderzoek zoals dat vanuit het CoC HTS plaatsvindt (zie ook paragraaf 2).

¹¹⁵ Vision 2020 and challenges, ERTRAC 2004 en Strategic Research Agenda Road Transport, ERTRAC 2004.

¹¹⁶ http://ec.europa.eu/research/transport/transport_modes/road_en.cfm, mei 2008.

Schema 5 Thema's en onderzoeksgebieden SRA Road Transport

Thema's	Onderzoeksgebieden
Mobiliteit, transport en infrastructuur	Mobiliteit van mensen Goederenvervoer
Veiligheid	Ongevallenpreventie Onderzoek impact ongevallen Veilig wegvervoersysteem
Omgeving, energie en bronnen	Emissie reductie en efficiënt energiegebruik Milieu inclusief gevolgen voor omgeving
Ontwerp en productie	Time to market Flexibele productiesystemen Toekomstbestendig gebruik bronnen

Bron: SRA Road Transport, ERTRAC, 2004

Ook **Nederland** kent een vrij **sterke automotive sector**. De sector bestaat uit meer dan 200 bedrijven met circa 38.000 werkzame personen. De totale omzet is circa 12 miljard euro¹¹⁷. Voorbeelden van bedrijven uit de sector zijn DAF, SKF, Vredestein en Sensata. De automotive sector in Nederland is vooral sterk vertegenwoordigd in het zuiden van het land. In Nederland zijn zowel eindproducenten (zoals DAF) als toeleveranciers actief. Er is in Nederland vooral sprake van een sterk ontwikkelde toeleverende industrie voor de automotive. Er zijn verschillende Nederlandse bedrijven die internationaal gezien een sterke concurrentiepositie hebben waarbij enkele bedrijven zelfs als marktleider bestempeld kunnen worden. Voorbeelden van succesvolle Nederlandse automotive bedrijven zijn: DAF (vrachtwagens), TomTom (navigatiesystemen), Sensata (sensoren) en Van Doorne Transmissie (transmissiesystemen). Op het gebied van automotive is er veel samenwerking van de drie TU's met het bedrijfsleven. Dit blijkt bijvoorbeeld uit het HTAS-programma (zie ook hierna). Overigens kan onderzoek op het terrein van automotive en transportation – zoals dat vanuit het CoC HTS uitgevoerd wordt – niet alleen relevant zijn voor de automotive sector maar eveneens voor gebruikers van logistieke systemen zoals ProRail en ECT.

Ook vanuit het Ministerie van Economische Zaken wordt het belang van de automotive sector voor de Nederlandse economie al geruime tijd onderkend. In de afgelopen decennia heeft het ministerie dan ook diverse beleidsinitiatieven ontplooid om de concurrentiekracht en het innovatievermogen van deze sector te versterken. Een recent voorbeeld hiervan betreft de financiële ondersteuning van het ministerie van het **innovatieprogramma High Tech Automotive Systems** (HTAS). In paragraaf 4 hebben we hier al aandacht aan besteed. Vanuit HTAS wordt onderzoek voorzien op terreinen die goed aansluiten bij het thema Automotive and Transportation van het CoC HTS, namelijk:

- de introductie van meer elektronisch vermaak alsmede actuele informatievoorziening over weg en weggebruikers (infotainment)
- voertuigbeheersing en ondersteuning van de rijder (driver guidance, drive by wire)
- meer aandacht voor duurzaamheid en energiebesparing.

¹¹⁷ Innovatieprogramma, High Tech Automotive Systems, 2006.

Biological Systems/(Bio)medical Engineering

Biomedische engineering heeft betrekking op de toepassing van technische principes in de medische wereld. Hierbij wordt dus kennis vanuit de technische wetenschappen gecombineerd met medische en biologische wetenschappen. Voor biomedische engineering is kennis van biologische (humane) systemen onontbeerlijk. Hierdoor heeft biomedische engineering een sterke relatie met de discipline biologische systemen. Biomedische engineering is een vrij nieuw gebied, dat onderwerpen beslaat zoals bio-informatica, imageprocessing, biomechanica en systeemanalyse. Voorbeelden van concrete toepassingen zijn de ontwikkeling en productie van medische en diagnostische apparatuur, 'imaging'-apparatuur (zoals MRI, EEG) en medicijnen. Uit het voorgaande blijkt dat het thema Biological Systems/(Bio)medical Engineering duidelijke raakvlakken heeft met de disciplines en toepassingsgebieden van High Tech Systems. In deze zin kan dan ook worden geconcludeerd dat dit thema een logisch onderdeel uitmaakt van het CoC HTS. Ook vanuit de door ons gevoerde gesprekken wordt dit bevestigd (zie ook paragraaf 2).

Elk van de drie TU's verricht onderzoek op het gebied Biological Systems/(Bio)medical Engineering. Daarbij is wel sprake van accentverschillen of 'specialisaties'. Vanuit de TU Delft is met name de faculteit 3ME (Werktuigbouwkunde, Maritieme techniek en technische materiaalwetenschappen) actief op dit terrein. Vanuit de TU Delft houdt men zich onder andere bezig met onderzoek naar de interactie tussen biologische en technische systemen. Daarbij wordt bijvoorbeeld onderzoek gedaan naar chirurgie met zo min mogelijk ingrepen bij de patiënt. Aan de TU Eindhoven wordt onder andere onderzoek uitgevoerd op het terrein van biomedische chemie, tissue engineering en image processing. Dit omvat onder meer onderzoek naar toedieningssystemen voor medicijnen en imaging. De Universiteit Twente kent het onderzoeksinstituut voor biomedische technologie (BMTI). De onderzoeksprojecten van het BMTI zijn gericht op het verbeteren van de levenskwaliteit van mensen door lichamelijke prestaties te herstellen die door ziekten, ongevallen of ouderdom verstoord of aangetast zijn.

Uit het voorgaande blijkt dat het thema Biological Systems/(Bio)medical Engineering qua **maatschappelijke relevantie** sterk gerelateerd is aan het maatschappelijke vraagstuk van de **gezondheidszorg**. De maatschappelijke relevantie van dit thema zal in de komende jaren alleen nog maar toenemen als gevolg van de vergrijzing en de economische groei. Immers, hierdoor zal de behoefte aan en de vraag naar gezondheidszorg – en de 'ondersteunende' rol die het thema Biological Systems/ (Bio)medical Engineering hierbij kan spelen – groeien.

De maatschappelijke en economische relevantie van Biological Systems/(Bio)medical Engineering blijkt ook uit initiatieven die op het terrein van genomics zijn opgezet. Om het genomics onderzoek te stimuleren is vanuit de overheid in 2001 het Netherlands Genomics Initiative (NGI) opgezet. Doel van dit initiatief is om de internationale positie van Nederland op het gebied van genomics-onderzoek verder te versterken. Voor de periode 2008-2012 is hiervoor 280 miljoen aan overheidsmiddelen beschikbaar. Het totale onderzoeksbudget – inclusief participatie van bedrijven en kennisinstellingen – wordt voor deze periode ingeschat op 500 miljoen euro. Hiermee zijn veertien onderzoeksverbanden opgezet: samenwerkingverbanden van universiteiten en bedrijven. Hieruit volgt dat de economische relevantie van genomics door het Nederlandse bedrijfsleven onderkend wordt. Biological Systems/(Bio)medical Engineering is relevant voor genomics omdat hiermee 'een gereedschapskist van technieken en processen beschikbaar komt om vormen van biologisch leven te analyseren en te gebruiken voor de ontwikkeling van betere producten en productieprocessen voor industriële, agrarische en maatschappelijke toepassingen'¹¹⁸.

¹¹⁸ <http://www.watisgenomics.nl>

Verder is binnen Nederland het BioMedische Materialen programma (BMM) relevant. Met het BMM-programma wordt er naar gestreefd om nieuwe biomedische materialen te ontwikkelen en medische doorbraken te creëren. BMM is een multidisciplinair programma waarbij iedere partner specifieke kennis en expertise inbrengt. In het programma wordt fundamenteel onderzoek uitgevoerd en worden concepten uitgewerkt tot en met initiële validatie in een klinische omgeving. De Nederlandse overheid heeft voor de vijfjarige looptijd van het programma (dat eind 2007 is gestart) 45 miljoen euro beschikbaar gesteld. Het totale budget van het programma bedraagt 90 miljoen euro. In het programma zijn zowel bedrijven als kennisinstellingen en academische ziekenhuizen vertegenwoordigd.

In Europees verband kunnen thema's als biotechnologie en life-sciences ook op grote belangstelling rekenen¹¹⁹. De Europese Commissie ziet dit als één van de meest belangrijke wetenschapsgebieden. Kennisontwikkeling op dit terrein kan ook weer bijdragen aan de kennisontwikkeling in andere disciplines zoals informatica en nanotechnologie. De Europese belangstelling voor het thema heeft geleid tot een vision en SRA voor innovatieve medicijnen¹²⁰. Dit heeft op een aantal punten ook weer raakvlakken met het onderzoek zoals dat binnen het thema Biomedical Systems/ (Bio)medical Engineering van het CoC HTS wordt aangepakt.

Process Technology

De **maatschappelijke relevantie** van dit CoC HTS-thema ligt met name op het gebied van milieu en veiligheid in de procesindustrie. Vanuit de overheid worden er hoge eisen gesteld aan bedrijven in de procesindustrie omdat knelpunten of incidenten in de productie tot milieuschade en/of veiligheidsrisico's kunnen leiden. Onderzoek vanuit het CoC HTS sluit hierbij aan. In paragraaf 3 hebben we namelijk al uitgewerkt dat het onderzoek vanuit het CoC HTS zich richt op het optimaliseren van productieprocessen waarbij ook specifieke aandacht uitgaat naar het reduceren van de negatieve gevolgen voor milieu en veiligheid.

De procesindustrie heeft voor Nederland een grote **economische betekenis**. In tabel 3 hebben we het aandeel van de procesindustrie in de toegevoegde waarde en de R&D-inspanningen in Nederland samengevat. Hieruit blijkt onder andere dat de procesindustrie respectievelijk eentiende en eenderde deel van het Nederlandse totaal beslaat.

Tabel 3 Economische kengetallen diverse subsectoren procesindustrie

	Aandeel in toegevoegde waarde Nederland (2006)	R&D-uitgaven (2005) in mln euro
Aardolie-industrie	0,6	8
Chemische industrie (basis en eind-producten)	2,2	1.286
Voedings- en genotmiddelenindustrie	2,3	268
Papier- en kartonindustrie	1,5*	19
Delfstoffenwinning	3,6%	99
Totaal	10,2%	1.680
Aandeel in totaal Nederland	10,2%	32,7%

* Incl. uitgeverijen en drukkerijen.

** Banen van werknemers, voorlopige cijfers.

Bron: CBS Statline

¹¹⁹ Life sciences and biotechnology, a strategy for Europe, European Commission, 2002.

¹²⁰ Vision 'Creating biomedical R&D leadership for Europe to benefit patients and society (draft), 2004 en The innovative medicines initiative (IMI), Strategic research Agenda, 2005.

In de gesprekken met interne betrokkenen van het CoC HTS en externe partners is naar voren gebracht dat Nederland op zich een sterke procesindustrie kent. Dit komt met name ook omdat Nederland beschikt over grote bedrijven die op het terrein van olie en gas actief zijn (NAM en Shell) en grote chemische concerns (DSM, Akzo). In deze sectoren worden aan het beheersen van de productieprocessen hoge eisen gesteld. Onderzoek vanuit het CoC HTS op het gebied van procestechnologie is hiervoor dus relevant. Er zijn dan ook al bestaande relaties tussen deze bedrijven en de drie TU's, bijvoorbeeld door het financieren van aio's (Shell, DSM).

Op het terrein van de procesindustrie is in Nederland verder de 'Regiegroep chemie' relevant¹²¹. Deze Regiegroep bestaat uit prominente vertegenwoordigers vanuit kennisinstellingen en bedrijfsleven. De ambities van deze Regiegroep zijn om in 10 jaar tot een verdubbeling van bijdrage van de chemie in het Bruto Binnenlands Product te komen (tot 24 miljard euro), het gebruik van fossiele brandstoffen in 25 jaar te halveren en de technologische competenties op het gebied van industriële biotechnologie, katalyse, materialen en procestechnologie verder uit te bouwen. Om deze ambities te realiseren is vanuit de Regiegroep een innovatieagenda¹²² ontwikkeld. Eén van de vier programmalijnen in de innovatieagenda richt zich op procestechnologie. Vanuit deze programmalijn wordt ingezet op het ontwikkelen van nieuwe technologieën voor het zo resource-efficiënt (in termen van grondstof, hulpstof, energie, kapitaal, afvalstromen en in mindere mate menskracht) mogelijk uitvoeren van chemische processen. Deze programmalijn sluit daarmee goed aan bij het type onderzoek zoals dat vanuit het thema Procestechnologie van het CoC HTS uitgevoerd wordt (zie ook paragraaf 2). Eind 2007 heeft het Ministerie van Economische Zaken aangegeven financiële middelen beschikbaar te stellen voor een innovatieprogramma voor de chemie. Op dit moment is de verdere uitwerking van het programma nog in ontwikkeling.

Vanuit de Regiegroep is ook het initiatief genomen om tot een roadmap procesintensificatie te komen. Een studie uit 2006 liet namelijk zien dat procesintensificatie substantiële kansen biedt om de Nederlandse procesindustrie (olieraffinage, petrochemie, bulkchemie, specialty chemicals, farma en voeding) te moderniseren. Hiermee zijn op termijn substantiële besparingen mogelijk op het gebied van energieverbruik, CO₂-uitstoot en kosten. De drie TU's zijn bij de totstandkoming van deze roadmap betrokken. Naar verwachting komt de roadmap in de loop van 2008 beschikbaar.

Op Europees niveau is een Technologieplatform op het gebied van industriële veiligheid opgezet. Vanuit dit platform is een SRA vervaardigd. Hierin zijn ook de uitdagingen op het gebied van onderzoek in kaart gebracht. In schema 6 hebben we die samengevat¹²³. We zien hierbij raakvlakken met het onderzoek zoals dat vanuit het CoC HTS – vanuit het thema procestechnologie – uitgevoerd wordt. Dit geldt dan met name voor onderzoek naar het **optimaliseren van productieprocessen** waarmee de veiligheid verder verbeterd kan worden.

Schema 6 Uitdagingen onderzoek industrial safety

Uitdagingen

Ontwikkelen van nieuwe risicobeoordeling en -management methoden voor de complexiteit van industriële systemen

Verbeteren methoden en technologieën om de risico's op het werk te verminderen en grote incidenten te voorkomen

¹²¹ Het Innovatieplatform heeft chemie als één van de sleutelgebieden benoemd.

¹²² Businessplan 'sleutelgebied chemie zorgt voor groei', Regiegroep chemie, juli 2006.

¹²³ The European technology on industrial safety, 2004 en Safety for sustainable European Industry Growth, strategic research agenda, research European technology platform industrial safety, January 2006.

Onderzoek naar structurele veiligheid

Onderzoek naar de impact van menselijke en organisatorische factoren bij risico's

Onderzoek naar nieuwe (emerging) risico's

Verbeteren kennistransfer naar de industrie (met name mkb), opleidingen en training

Verbeteren veiligheid van nanotechnologie en het gebruik van nanomaterialen

Bron: SRA *Industrial Safety*, 2006

Control of Complex Energy Systems

Het energievraagstuk staat hoog op de politieke en maatschappelijke agenda. Hieraan liggen oorzaken ten grondslag zoals de uitputting van de fossiele brandstoffen, economische groei en de belasting van het milieu. Deze oorzaken leiden er toe dat andere energiebronnen dan olie en aardgas aan een onvermijdelijke opmars bezig zijn. Daarbij kan dan worden gedacht aan energieopties zoals kernenergie, zonne-energie, windenergie en biomassaconversie. Inpassing van duurzame energieopties zoals windenergie en zonne-energie in het elektriciteitsnetwerk leidt tot de nodige onderzoeksvragen (ontwikkeling van Smart Grids). Daarnaast wordt gepoogd – bijvoorbeeld via Carbon Capture en Storage (CCS) – om de uitstoot van broeikasgassen bij het gebruik van fossiele brandstoffen bij elektriciteitsopwekking te reduceren.

Voor de verschillende hierboven genoemde vraagstukken – nieuwe duurzame energiesystemen, CCS en inpassing duurzame energieopties – vormt besturing ('control') een belangrijk instrument. Hiermee kan bijvoorbeeld bereikt worden dat de uitstoot van broeikasgassen (bij gebruik fossiele brandstoffen) zoveel mogelijk beperkt wordt of dat de 'output' bij biomassaconversie zoveel mogelijk geoptimaliseerd wordt of dat duurzame energieopties adequaat ingepast kunnen worden in het elektriciteitsnetwerk.

Zo wordt in de Technology Map van het SET-Plan¹²⁴ van de EU bijvoorbeeld gesignaleerd dat onderzoek naar verbeteringen in de conversie van biomassa nodig is om de potentie van biomassa goed te kunnen benutten. Hiervoor is kennis nodig om het (besturings) proces voor conversie en gebruik van biomassa te optimaliseren. Vanuit de Europese Unie is een visie ontwikkeld op energieonderzoek¹²⁵. Daarin wordt onder andere het belang benadrukt van onderzoek om duurzame energiebronnen zoals zonne- en windenergie in het energienetwerk te integreren.

Met bovenstaande voorbeelden wordt dus het belang van het onderzoek, zoals dat vanuit het CoC HTS thema Control of Complex Energy Systems plaatsvindt, onderbouwd. Daaruit blijkt ook dat dit thema **maatschappelijk relevant** is. Dit thema is immers nauw gerelateerd aan maatschappelijke vraagstukken zoals klimaatbeheersing en een duurzame energievoorziening.

In **economische zin** is de energiesector in Nederland sterk vertegenwoordigd. Dit heeft mede te maken met onze aardgasreserves en de rol van Nederland als logistiek knooppunt op het gebied van fossiele brandstoffen. In Nederland is bovendien in de vorm van Shell een belangrijke wereldspeler op de oliemarkt aanwezig. Indien we specifiek de energiesector beschouwen dan bedroeg de werkgelegenheid daar in 2005 circa 27.000 fte¹²⁶. Uit het voorgaande blijkt dat onderzoek op het gebied van besturing van complexe energiesystemen ook een **economisch belang** dient. Nieuwe kennis op dit terrein kan leiden tot handhaving of versterking van de con-

¹²⁴ A European Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan), Europese Commissie, 2007.

¹²⁵ Towards the European energy research area, directorate general for research sustainable energy systems, 2005.

¹²⁶ The Boston Consulting Group, werkgelegenheidsontwikkeling energiesector 2006-2011, 2005.

currentiepositie van het Nederlandse bedrijfsleven op de wereldwijde energiemarkt. Deze markt kenmerkt zich bovendien door een sterke dynamiek. Dit heeft bijvoorbeeld te maken met het transitieproces naar een duurzame energievoorziening die zich in de komende decennia zal moeten voltrekken.

Resumé

Resumerend kan worden gesteld dat de thema's van het CoC HTS ***zowel vanuit maatschappelijk als economisch perspectief relevant*** zijn. Economisch gezien zijn de thema's van belang voor sectoren die een belangrijke plaats in de Nederlandse economie innemen. Daarnaast hebben we zowel in deze paragraaf als in paragraaf 3 gezien dat de thema's van het CoC HTS ook voor uiteenlopende maatschappelijke vraagstukken relevant zijn.

BIJLAGE 1 GERAADPLEEGDE PERSONEN

Drs. J.R.G. Bakker (SenterNovem)

Dr. M. Bakker (Océ Technologies B.V.)

Prof.dr. J. van Eijk (Philips, Mice B.V., TUD)

Prof.dr. F. Eising (UT)

Prof.dr.ir. P.M.J. van den Hof (TUD)

Ir. F. van 't Hullenaar (voorzitter PfHTS)

Dr. A.F. de Jong (FEI)

Ir. M.A.M. Leermakers (TU/e)

Dr.ir. D.A. Schipper (Demcon)

Dr. E.J. Sol (TNO)

Prof.dr.ir. M. Steinbuch (TU/e)

Prof.dr.ir. S. Stramigioli (UT)

BIJLAGE 2 LITERATUURLIJST

- ARTEMIS, 2006
Strategic Research Agenda
- Berenschot, 2004
Roadmap Precisie technologie, De uitdaging van precisie micro- en nano-nauwkeurigheden
- Boston Consulting Group, 2005
Werkgelegenheidsontwikkeling energiesector 2006-2011
- Commissie van de Europese Gemeenschappen, 6-4-2005, COM(2005) 119 definitief
Voorstel betreffende het Zevende Kaderprogramma van de Europese Gemeenschap voor activiteiten op het gebied van onderzoek, technologische ontwikkeling en demonstratie (2007-2013)
- COS, 2007
Rapport Horizonscan 2007
- Directorate general for research sustainable energy systems, 2005
Towards the European energy research area
- EPIA, 2004
Vision 'Creating biomedical R&D leadership for Europe to benefit patients and society' (draft)
- EPoSS, mei 2006
Towards a vision of innovative smart systems integration
- EPoSS, november 2007
Strategic Research Agenda of the European technology platform on smart systems integration
- ERTRAC, 2004
Strategic Research Agenda Road Transport
- ERTRAC, 2004
Vision 2020 and challenges
- ETPIS, 2004
The European technology on industrial safety
- EU, 2004
Technology platforms from definition to implementation of a Common Research Agenda
- Eumat, June 2006
Roadmap of the European technology Platform for Advanced Engineering Materials and Technologies
- Europ, the European Robotics Platform, May 2006
Strategic Research Agenda
- European Commission, 2002
Life sciences and biotechnology, a strategy for Europe

Europese Commissie, 2007

A European Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan)

European Robotics Platform, July 2005

Building Europ, the higher level

Federatie Holland Automotive, december 2006

Innovation Programme, High Tech Automotive Systems

High Level Group manufacture, September 2006.

Assuring the future of manufacturing in Europe, Strategic Research Agenda manufacture

Hof, prof.dr.ir. Van den (TUD), Nijmeijer, prof.dr. H. (TU/e) en Stramigiolo,

prof.dr.ir. S (UT), 17 december 2005.

Business Plan High Tech Systems, A new focus on Education, Research and innovation in Intelligent Mechatronica Systems

HTAS, 2006

Innovatieprogramma, High Tech Automotive Systems

Innovatieplatform, 2004

Voorstel sleutelgebieden-aanpak

Innovative Medicines Initiative (IMI), 2005

Strategic research Agenda

Manufacture Technology Platform, juni 2008

Algemene Brochure, <http://www.manufuture.org/>

Programme for High Tech Systems, september 2006

Regiegroep chemie, juli 2006

Businessplan 'sleutelgebied chemie zorgt voor groei'

Research European technology platform industrial safety, januari 2006

Safety for sustainable European Industry Growth, strategic research agenda

Steinbuch, M. en Leermakers, T., 29-1-2008

Centre of Competence High Tech Systems, long-range plan 2008-2012

Websites

<http://www.artemis-office.org>

http://www.regering.nl/Het_kabinet/Regeerakkoord

http://www.senternovem.nl/bsik/projecten/micro_nano_technologie/microned_microsysteemtechnologie_nederland.asp

<http://www.senternovem.nl/iopprecisietechnologie/projecten/index.asp>

http://www.precisieportaal.nl/meer_over_nvpt/leden

http://ec.europa.eu/research/transport/transport_modes/road_en.cfm, mei 2008

<http://www.watisgenomics.nl>

<http://www.microned.nl>

<http://www.stw.nl>

<http://www.holstcentre.com>

<http://www.stw.nl>

<http://www.esi.nl>

<http://www.ppsautomotive.nl/>

