

RIVM rapport 778011 002

**Drijvende krachten achter
technologieontwikkeling in productiesectoren**
Schets van een expert ondersteunende methodiek
voor prognoses

M.W. van Schijndel
J.P.M Ros

Mei 2000

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van de directie van het RIVM, in het kader van project 778011, Milieu & Gedrag.

Abstract

Both the chance that a new specific technology under development will lead to introduction on the market and the period in which this introduction takes place are connected with the general characteristics of that specific technology and the social environment in which it is developing. The National Institute of Public Health and the Environment in the Netherlands has carried out an exploratory study on the driving forces connected with technology development in production processes, in which the interaction between the various actors involved is considered to be of great importance. Based on recent scientific insights into technology dynamics, a list of factors characterizing the driving forces connected with technology development has been drawn up. Driving forces are the extent of the focus and skills of the developers, the market position of the technology compared to the alternatives, public policy, the extent of societal support, the compatibility of the technology with the existing technological system, the development stage reached and the size of technical barriers.

Historical case studies were also carried out to gain insight into the length of the various (parts of) technology trajectories in practice for new technologies reducing environmental problems. The total length of the trajectory for the different case-studies varies between 2 and up to 27 years. Based on the case-studies the total length of the development trajectory seems to be strongly connected to the extent of compatibility of the technology with the existing technological system. This compatibility is most highly determined by the extent to which the technology is physically compatible. Other determining elements of the compatibility are the newness of the technology and the extent of developers' basic knowledge and expertise or their ability to master these skills. The total development period for technologies with a large to medium compatibility is 2 to 20 years. In other cases the period may be considerably longer (between 21 and 50 years). On the basis of the case-studies it is difficult to draw a single conclusion on the time period for the different types of research and development activities in relation to each other. Roughly speaking 70%, on average, of the total development trajectory is accounted for by R&D on laboratory and pilot level. The remainder of the time period, about 30%, is accounted for by full-scale demo experiments and market introduction. In case-studies where laboratory- and pilot-scale experiments take place separately and subsequently, the rough average of the total length of the development trajectory is for 30% accountable to research and development activities on the laboratory-scale and for 40% on the pilot-scale.

The study has resulted in an outline of a technology forecasting methodology, in which particularly the possible influences of different types of public policy instruments are indicated. This methodology can support experts with knowledge on industrial sectors and new technologies that might reduce environmental problems in these sectors. They will then be able to both assess the chance of a new technological development leading to a specific commercial application and estimate the time this will take.

Voorwoord

De resultaten van dit onderzoek zijn mede tot stand gekomen dankzij de inbreng van een aantal personen. Allereerst is er door E. Luiten en R. Harmsen van de vakgroep Natuurwetenschap en Samenleving van de Universiteit van Utrecht in samenwerking met M. van Schijndel van het RIVM/LAE een algemeen toepasbaar raamwerk ontwikkeld voor de systematische analyse van de ontwikkeling van specifieke technologieën (Luiten et al, 1999). Het ontwikkelde raamwerk vormde de basis voor het in dit rapport in hoofdstuk 2 opgenomen overzicht van factoren (drijvende krachten), die samenhangen met de kans waarmee en de termijn waarop een specifieke nieuwe technologie tot marktintroductie (doorbraak) komt. Daarnaast hebben de heren W. Appelman en J. Sluys (Akzo Nobel), M. Braber (Shell), A. Luiten (TNO-textiel), R. Harmsen (UU) en mevrouw E. Luiten (UU) hun medewerking verleend door informatie beschikbaar te stellen over het tijdsbeslag van (verschillende typen) R&D-activiteiten binnen specifieke ontwikkelingstrajecten. Hiervoor zijn wij hen zeer erkentelijk.

Inhoud

Samenvatting	7
1. Inleiding	9
2. Relevantie van technologiedynamica voor prognoses van technologieontwikkeling	10
2.1 <i>Inleiding</i>	10
2.2 <i>Betekenis bestaande concepten en theorieën voor de prognose van technologieontwikkeling</i>	11
2.2.1 Verloop van technologieontwikkelingsprocessen	11
2.2.2 Betekenis van de inzichten voor de uitvoering van prognoses	19
2.3 <i>Drijvende krachten achter technologieontwikkeling</i>	21
3. Praktijkgegevens lengte technologische ontwikkelingstrajecten	25
3.1 <i>Aanpak</i>	25
3.1.1 Afbakening	25
3.1.2 Werkwijze	26
3.1.3 Beschrijving uitgewerkte casestudie	27
3.2 <i>Resultaten</i>	29
3.2.1 Onderscheiden momenten en perioden in innovatietraject	29
3.3 <i>Conclusies</i>	37
3.3.1 Totale lengte ontwikkelingstrajecten	37
3.3.2 Niveau van analyse	38
3.3.3 Lengte onderscheiden perioden van R&D-activiteiten	38
3.4 <i>Betekenis resultaten casestudies voor prognoses</i>	40
4. Aanzet tot een methodiek	42
4.1 <i>Ontwikkeling van een conceptueel model.</i>	42
4.2 <i>Prognose van technologieontwikkeling in Milieuverkenningen</i>	45
4.2.1 Vertaling naar de Nederlandse context	45
4.2.2 Verschuivingen kwalificaties drijvende krachten in CPB-scenario's	46
4.2.3 Aangrijpingspunten overheidsbeleid	48
4.3 <i>Stappenschema inschatting eerste marktintroductie technologie</i>	50
Literatuur	55
Bijlage 1 Review of existing theories on technology development	57
Bijlage 2 Leercurven en prognoses	63
Bijlage 3 Illustratie van toepassing methodiek in 4.3	65
Verzendlijst	70

Samenvatting

In het kader van het strategisch onderzoek van het RIVM (MAP-SOR, project Milieu en Gedrag) is een verkennend onderzoek uitgevoerd naar de drijvende krachten achter technologieontwikkeling in productieprocessen, waarbij de rol die diverse actoren in de ontwikkeling (samen-)spelen van groot belang is.

Ontwikkeling van met name nieuwe technologieën is bij het maken van prognoses in de milieuverkenningen (MV) een van de belangrijkste zaken om rekening mee te houden. Hiervoor is het nodig in te schatten met welke kans en op welke termijn nieuwe milieurelevante technologieën tot commerciële toepassing in een specifieke sector kunnen komen. Met name de rol die het beleid hierin kan spelen is van belang. Bij gebruik van de voor het maken van deze inschattingen tot nu toe op expert-judgement gebaseerde methoden is niet snel inzichtelijk te maken of en zo ja op welke wijze rekening is gehouden met alle potentieel relevante factoren.

Allereerst vat hoofdstuk 2 samen hoe technologische ontwikkelingsprocessen in het algemeen vorm krijgen en wat de relevantie hiervan is voor de uitvoering van prognoses. Deze samenvatting is gebaseerd op verschillende wetenschappelijke inzichten, die de afgelopen decennia binnen de technologiedynamica ontwikkeld zijn. Deze inzichten zijn ontleend aan bijdragen vanuit de economie, sociologie en de geschiedwetenschap. Ze hebben betrekking op de complexe interacties tussen de verschillende maatschappelijke groeperingen die bij technologische ontwikkelingsprocessen betrokken zijn (actoren) en de technologie en tussen de actoren onderling. Tot op heden is er geen algemeen toepasbaar raamwerk beschikbaar voor de systematische analyse van de ontwikkeling van specifieke technologieën. Een eerste aanzet voor een dergelijk raamwerk is ontwikkeld door de vakgroep Natuurwetenschap en Samenleving van de Universiteit van Utrecht in samenwerking met RIVM/LAE. Dit raamwerk vormt de basis voor het in hoofdstuk 2 opgenomen overzicht van factoren (drijvende krachten). Deze drijvende krachten hangen samen met de kans waarmee en de termijn waarop een specifieke nieuwe technologie tot doorbraak komt. Ze geven de essentie weer van de belangrijkste mechanismen achter technologieontwikkeling aan de hand van algemene karakteristieken van de technologieën en van de verschillende actoren. Drijvende krachten direct gerelateerd aan karakteristieken van de technologie zijn het bereikte ontwikkelingsstadium, de omvang van de technologische drempels en de compatibiliteit (inpasbaarheid) van de technologie met het bestaande technologische systeem. Drijvende krachten direct gerelateerd aan karakteristieken van de betrokken actoren zijn de mate van aandacht en competenties van de ontwikkelaars, de mate van synergie tussen de ontwikkelaars, het overheidsbeleid en het maatschappelijk draagvlak. De marktpositie van de technologie ten opzichte van alternatieven is tot slot een drijvende kracht die aan beide typen karakteristieken gerelateerd is. Dit is de mate waarin de potentiële prestaties van een technologie (bijvoorbeeld milieurendement, productkwaliteit en kosten) overeenstemmen met de door de potentiële toepassers gewenste prestaties.

Hoofdstuk 3 geeft inzicht in de waarden die in de praktijk gevonden worden voor termijnen van specifieke (onderdelen van) technologische ontwikkelingstrajecten van milieurelevante technologieën. Omdat een overzicht hiervan tot nu toe ontbreekt is een aantal casestudies uitgevoerd. De totale lengte van het ontwikkelingstraject varieert voor de verschillende casestudies tussen 2 en >27 jaar. Op basis van de casestudies lijkt de totale lengte van het traject sterk samen te hangen met de mate van compatibiliteit van de technologie met het huidige technologische systeem. Meest bepalend voor de mate van compatibiliteit is de fysieke inpasbaarheid van de technologie. Daarnaast zijn ook de nieuwigheid van een technologie en de mate waarin ontwikkelaars de benodigde basiskennis en vaardigheden bezitten dan wel zich deze snel eigen kunnen maken van belang. Bij technologieën met een grote tot redelijke mate van compatibiliteit ligt de totale ontwikkelingstermijn tussen 2 en 20 jaar. In andere gevallen kan de ontwikkelingstijd aanzienlijk langer zijn (tussen 21 en 50 jaar).

Wat betreft de tijd die verschillende typen R&D-activiteiten relatief ten opzichte van elkaar in beslag nemen is het wat lastiger op basis van de casestudies een eenduidige conclusie te trekken. R&D-activiteiten op lab- en pilot-scale niveau nemen tezamen in totaal bij deze casestudies tussen de 1 en 24 jaar in beslag. De ontwikkelingstermijn van full-scale demo experimenten en marktintroductie tezamen ligt voor deze casestudies tussen 1 en 14 jaar. Gemiddeld geldt dat grofweg 70% van het totale ontwikkelingstraject voor rekening is van R&D-activiteiten op lab- en pilot-scale tezamen niveau. De rest van het tijdsbeslag (circa 30%) is voor rekening van full-scale demo experimenten en marktintroductie samen. Bij casestudies waar lab- en pilot-scale experimenten afzonderlijk en na elkaar plaatsvinden blijkt dat grofweg van het totale ontwikkelingstraject 30% voor rekening is van R&D-activiteiten op lab-scale niveau en 40 % voor rekening van pilot-scale demo experimenten.

Tot slot geeft hoofdstuk 4 een eerste aanzet tot uitwerking van alle bevindingen tot een tamelijk eenvoudige methodiek die de doelgroepexperts binnen LAE kan helpen bij het maken van een inschatting van de kans waarmee en de termijn waarop doorbraak van een technologie in een specifieke toepassing kan optreden. Met name is daarbij aangegeven welk type beleid (via welke typen beleidsinstrumenten) hierop van invloed kan zijn.

1. Inleiding

Bij het maken van prognoses in de milieuverkenningen (MV) is ontwikkeling van nieuwe technologieën een van de belangrijkste zaken om rekening mee te houden. Dit houdt de beantwoording van een aantal vragen in. Wat is de kans dat nieuwe technologieën in ontwikkeling die vanuit milieuoogpunt relevant kunnen zijn tot commerciële toepassing komen? Op welke termijn kan dit gebeuren? En welke rol kan het beleid hierin spelen?

Expert-judgement levert tot nu toe de antwoorden op dergelijke vragen in MV-kader. Voor de achterliggende overwegingen verwijzen de experts meestal naar andere informatiebronnen. Of met alle potentieel relevante overwegingen rekening is gehouden en zo ja op welke wijze is niet zo snel inzichtelijk te maken.

Tot op heden ontbreekt een algemeen toepasbaar en praktisch raamwerk voor de systematische analyse van technologieontwikkelingsprocessen. In het kader van het strategisch onderzoek van het RIVM (MAP-SOR, project Milieu en Gedrag) is een verkennend onderzoek uitgevoerd naar het krachtenspel achter technologieontwikkeling, waarbij de rol die diverse actoren in de ontwikkeling (samen-)spelen van groot belang is.

Doel van dit onderzoek is tweeledig. Enerzijds gaat het om het identificeren van de belangrijkste factoren die samenhangen met de kans waarmee en termijn waarop een nieuwe specifieke technologische ontwikkeling tot eerste marktintroductie (doorbraak) komt. Ook de rol die het overheidsbeleid hierin kan spelen valt onder deze factoren. Een andere doelstelling op basis van de geïdentificeerde factoren te komen tot een eerste aanzet voor een methodiek die de doelgroepexperts binnen LAE kan helpen bij het op systematische wijze maken van een inschatting van die kans en termijn.

De ingeschatte kans moeten doelgroepexperts vertalen naar de beslissing om de betreffende technologie al dan niet mee te nemen in het maatregelbestand dat gebruikt wordt bij het uitvoeren van scenarioberekeningen (bijvoorbeeld met behulp van MEI) van de milieudrukontwikkeling in Nederland. De ingeschatte termijn kan als introductiejaar worden opgenomen.

Het onderzoek richt zich dus niet op het identificeren van in ontwikkeling zijnde nieuwe technologieën met een mogelijke relevantie voor de toekomstige milieudrukontwikkeling in Nederland. Evenmin richt het onderzoek zich op het maken van inschattingen omtrent diffusie en potentiële (milieu)performance verbeteringen van specifieke praktijktoepassingen van technologieën.

2. Relevantie van technologiedynamica voor prognoses van technologieontwikkeling

2.1 Inleiding

Binnen het vakgebied van de technologiedynamica heeft het wetenschappelijke denken over technologieontwikkeling de laatste decennia grote vooruitgang geboekt. Vanuit verschillende disciplines (economie, sociologie en geschiedenis) zijn allerlei theoretische concepten en ideeën aangedragen die inzicht in algemene mechanismen achter technologieontwikkeling verschaffen.

In het traditionele lineaire model is de voortgang van de technologische ontwikkeling gebaseerd ofwel op de ontwikkeling in technisch wetenschappelijke kennis (technology push) ofwel op de ontwikkelingen in de markt (market pull). Er is daarbij sprake van stadia die een technologie tijdens de ontwikkeling achtereenvolgens doorloopt: fundamenteel onderzoek, toegepast onderzoek, marktintroductie, diffusie. Het idee dat een nieuwe technologie zich eerst ontwikkelt en vervolgens tijdens een diffusiestadium vermenigvuldigt middels imitatie is geen goede benadering van de werkelijkheid. Ook tijdens het diffusieproces vindt nog heel veel ontwikkeling plaats om de technologie geschikt te maken voor locatiespecifieke omstandigheden (zie o.a. Schot 1991). In de praktijk blijkt dan ook vaak geen sprake te zijn van het achtereenvolgens optreden van deze stadia. Het onderscheid in stadia is eigenlijk een onderscheid in typen activiteiten die tijdens technologieontwikkeling ontplooid kunnen worden. De volgorde waarin deze typen activiteiten uitgevoerd worden ligt niet bij voorbaat vast. Ook kunnen verschillende typen activiteiten naast elkaar voorkomen, zowel bij één en dezelfde ontwikkelaar als bij verschillende ontwikkelaars.

Paragraaf 2.2 beschrijft hoe technologische ontwikkelingsprocessen volgens de nieuwste inzichten in de praktijk vorm krijgen. Kennis hierover is van belang bij het maken van prognoses van technologische ontwikkelingen. Voor de systematische analyse van de ontwikkeling van *specifieke* technologieën is tot op heden geen algemeen toepasbaar raamwerk beschikbaar. Een eerste aanzet voor een dergelijk raamwerk is ontwikkeld door Luiten en Harmsen van de vakgroep NWS van de Universiteit van Utrecht in samenwerking met van Schijndel van de afdeling O&O van RIVM-LAE (Luiten et al, 1999). Dit raamwerk vormde de basis voor het overzicht van drijvende krachten achter de ontwikkeling van nieuwe technologieën in paragraaf 2.3. De drijvende krachten geven de essentie weer van de belangrijkste mechanismen achter technologieontwikkeling aan de hand van algemene karakteristieken van de technologie en van de verschillende actoren. Ze hangen op deze wijze samen met de kans waarmee en de termijn waarop een technologie tot doorbraak komt.

2.2 Betekenis bestaande concepten en theorieën voor de prognose van technologieontwikkeling

Deze paragraaf beschrijft in grote lijnen hoe technologische ontwikkelingsprocessen in de tijd verlopen en wat de betekenis daarvan is voor de uitvoering van prognoses. Een uitgebreid overzicht van bestaande theorieën over technologieontwikkeling is opgenomen in bijlage 1. De vele technologiestudies verschaffen een behoorlijke variëteit aan denkconcepten over mechanismen achter technologieontwikkeling.

Verschillen tussen de benaderingen hebben grotendeels betrekking op verschillen in analyseniveau's van de studies. Een voorbeeld is de analyse van een technologische ontwikkeling op het niveau van een individuele organisatie. Die organisatie kan een bedrijf, een onderzoeksinstelling of een samenwerkingsverband van één of meer bedrijven met één of meer onderzoeksinstellingen zijn. Een ander voorbeeld is de analyse op het niveau van een technologie, waar de ontwikkeling op meer geaggregeerd niveau geanalyseerd wordt door de activiteiten van meerdere (samenwerkingsverbanden van) ontwikkelaars in kaart te brengen. Het technologieveld kan hierbij breed zijn, dat houdt in dat er vele toepassingen onder vallen, of juist gericht zijn op een specifieke toepassing in een sector of een productieproces. Ook zijn er verschillen tussen de studies ten aanzien van het geografische gebied waar de analyse op gericht is: bijvoorbeeld een regio, een land of de wereld.

Een belangrijke overeenkomst tussen de studies is dat het in 2.1 genoemde traditionele lineaire model is ingewisseld voor concepten waarin de complexe interacties tussen verschillende groeperingen in de maatschappij (actoren) onderling en tussen de actoren en de technologie een plaats hebben gekregen. Paragraaf 2.2.1 beschrijft hoe technologieontwikkelingsprocessen volgens de meest recente inzichten verlopen. De betekenis van deze inzichten voor prognoses wordt in 2.2.2 beschreven.

2.2.1 Verloop van technologieontwikkelingsprocessen

Technologische ontwikkeling kan opgevat worden als een zoekproces dat wordt gekenmerkt door 'trial and error' en onzekerheid (zie ook Kemp en Schot in: Schijndel et al, 1996). Verschillende opties (variëaties) worden ontwikkeld en uitgetoet, waarna selectie plaatsvindt. De opties hebben niet alleen betrekking op geheel nieuwe technologieën maar ook op technologieën die reeds commerciële toepassing vinden. Technologische ontwikkeling wordt vaak als een opeenvolging van variatie- en selectieprocessen geconceptualiseerd. Belangrijk punt daarbij is dat in het zoekproces variëaties niet op goed geluk worden uitgetoet. Er wordt gebruik gemaakt van zoekregels of heuristieken. Heuristieken zijn richtlijnen (vuistregels) die succes beloven bij het zoeken van oplossingen voor problemen. Het bestaan van deze zoekregels leidt ertoe dat technologieontwikkeling in een bepaalde richting wordt gestuurd. Vaak is er sprake van meerdere heuristieken die dezelfde kant opwerken. Deze clustering van heuristieken is terug te vinden in een basisontwerp dat ontwikkelaars steeds verder verbeteren. In kader 1 zijn twee voorbeelden uitgewerkt.

Kader 1 Voorbeelden van heuristieken

Een voorbeeld van een basisontwerp met bijbehorende heuristieken is de universele HR cv-ketel. Het zoekproces is erop gericht geweest de energie-omzettingsverliezen te verminderen door een aangepast verbrandingsproces.

Heuristieken waren:

- verminder NO_x-emissies verbrandingsproces
- verbeter regelbaarheid van het vermogen
- verbeter onderhoudsmogelijkheden van de installatie

Later werd de heuristiek:

- ontwikkel een goedkope en betrouwbare keramische brander die bestand is tegen hoge temperaturen en wisselende belasting

Een ander voorbeeld komt uit de halfgeleiderindustrie: daar is ontwikkeling gericht op miniaturisering, grotere snelheid en grotere betrouwbaarheid.

Heuristieken en basisontwerp ontstaan vanuit overtuigingen die technologie-ontwikkelaars (zowel in bedrijven als in publieke onderzoeksorganisaties) hebben over wat de moeite waard is om te ontwikkelen.

Deze overtuigingen van ontwikkelaars zijn niet uitsluitend gebaseerd op wat technologisch gezien haalbaar wordt geacht, maar worden beïnvloed door wat maatschappelijk wenselijk is. De beïnvloeding krijgt vorm door activiteiten en beslissingen van andere groeperingen in de maatschappij naast technologieontwikkelaars, zoals overheidsorganen en allerlei organisaties die de belangen van groepen burgers vertegenwoordigen zoals de milieubeweging, werknemers- en werkgeversorganisaties, consumentenbond etc.

Technologieontwikkeling is daarmee een bottom-up gedreven besluitvormingsproces: het is het resultaat van een groot aantal activiteiten en beslissingen van verschillende betrokken organisaties. Technologieontwikkeling kan niet uitsluitend worden gereduceerd tot zijn technologische dimensie zoals bijv. het ontwikkelingsstadium. Naast een technologische dimensie is er ook een sociale dimensie en nog belangrijker is het inzicht dat technologische en sociale verandering nauw met elkaar verbonden zijn en gelijktijdig plaatsvinden. Technologieontwikkeling is dus een complex interactieproces tussen actoren onderling en tussen de actoren en de technologie.

Technologische trajecten

Het effect van het bestaan van de hiervoor genoemde overtuigingen bij ontwikkelaars tezamen met het basisontwerp en de heuristieken is dat technologische ontwikkeling langs vaste lijnen verloopt, die aangeduid worden als technologische trajecten. De technologische ontwikkeling kan 'gevangen' raken in het eigen gevolgde pad en kan daar dus niet zomaar van afwijken (padafhankelijkheid). Er wordt voortgebouwd op eerder gedane stappen en bereikte verbeteringen, waarmee technologieontwikkeling ook sterk het karakter van een leerproces krijgt (zie onder andere Schaeffer, 1998). Bij auto's is de ontwikkeling de laatste jaren bijv. gericht op verbetering van de specifieke performancekarakteristiek *veiligheid* (gemeten als vermindering van het aantal slachtoffers). Aan de verbetering van de energie-efficiency is daarentegen nauwelijks aandacht geschonken.

De ontwikkelingsrichting van een technologisch traject kan steeds stabiel worden. Bijvoorbeeld doordat er steeds meer consensus komt tussen verschillende ontwikkelaars ten aanzien van de te ontwikkelen parameters. Om vast te stellen in welke mate dit voor een specifiek ontwikkelingstraject het geval is heeft Schaeffer een aantal stabiliteitsindicatoren ontwikkeld (zie kader 2). Hierbij geldt dat naarmate de indicatoren gedurende langere tijd hoger scores de kans groter is dat de ontwikkelingsrichting na die periode stabiel blijft. Of anders gezegd: naarmate de indicatoren gedurende langere tijd hoog scores is de kans kleiner dat de ontwikkeling van richting zal veranderen of zal stoppen.

Kader 2 Stabiliteitindicatoren voor technologieontwikkeling (ontleend aan Schaeffer, 1998).

- 1-Aantal (samenwerkingsverbanden van) ontwikkelaars
- 2-Heterogeniteit betrokken organisaties
- 3-(Communicatie)verbindingen tussen verschillende ontwikkelaars
- 4-Geografische spreiding van ontwikkelaars
- 5-Spreiding in dominantie tussen ontwikkelaars
- 6-Mate en aard van materialisatie van de beschouwde technologie en van complementaire technologieën
- 7-Compatibiliteit van technologie met bestaande technologie en met complementaire technologieën (incl. infrastructuur)
- 8-Mate van consensus tussen ontwikkelaars t.a.v. te ontwikkelen parameters
- 9-Mate van consensus tussen ontwikkelaars t.a.v. classificatie van varianten
- 10-Mate van consensus over toepassingsbereik van de technologie en van eventuele varianten

Naarmate er meer praktijkervaring wordt opgedaan met nieuwe technologieën treden dynamische schaal- en leereffecten op, die incrementele performanceverbeteringen en kostenbesparingen met zich meebrengen. Een belangrijk deel van de dynamische schaal- en leereffecten zijn zogenaamde leercurve-effecten die kostenreducties bij de productie van kapitaalgoederen (productie-installaties) teweegbrengen (zie kader 3).

Kader 3 Leercurven (zie onder andere Kemp, 1995 en Neij, 1999)

Kenmerkend voor een leercurve is dat deze betrekking heeft op een specifieke performancekarakteristiek van een technologie die verbetert met een constant percentage bij iedere verdubbeling van het totale aantal (technologische) productie-eenheden (kapitaalgoederen). Het verschijnsel van de leercurven kan niet worden beschouwd als een gevestigde theorie of methode, maar eerder als een in de praktijk voor verschillende technologieën waargenomen proces

Voor de meeste technologieën is de daling van de kosten per eenheid productie een belangrijke leerparameter. Aan kostencurven liggen een aantal processen ten grondslag:

- opschalingeffecten
- verbetering arbeidsproductiviteit (doordat arbeiders ervaring opdoen met het werken met de technologie)
- standaardisatie van producten
- processpecialisatie
- verbetering van productietechnologieën

Belangrijk is zich t.a.v. leercurven te realiseren dat:

- Het ervaring opdoen niet automatisch leidt tot bijv. kostendalingen; de kosten kunnen ook hetzelfde blijven of zelfs stijgen. Er worden omstandigheden geschapen waarin kostendalingen mogelijk worden. Of dat gebeurt is o.a. afhankelijk van de mate waarin dit door betrokkenen belangrijk wordt geacht en van andere eisen die aan de technologie gesteld worden.
- Leerprocessen vinden niet 'vanzelf' plaats; er moet werk verzet worden (er moet geïnvesteerd worden) om verder te komen. Dus het is niet zo dat de technologie bijv. vanzelf goedkoper wordt naarmate de tijd vordert.
- Leercurven meestal gekoppeld zijn aan productie-eenheden die op commerciële basis opereren. Nakicenovic geeft aan dat ook researchinstallaties tot op zekere hoogte met dit verschijnsel te maken hebben (Nakicenovic, 1996).
- De mate van performanceverbetering kan veranderen in de tijd. Met name in de R&D-fase kan de performanceverbetering groter zijn dan tijdens de commerciële productie
- Met name van leercurven die betrekking hebben op kostendalingen is in het verleden relatief veel informatie verzameld en geïntegreerd. Voor leercurven die betrekking hebben op verbeteringen in technische performance, waaronder milieuproductiviteit, is in historische cases wel materiaal beschikbaar, maar er heeft geen integratie van de informatie plaatsgevonden.

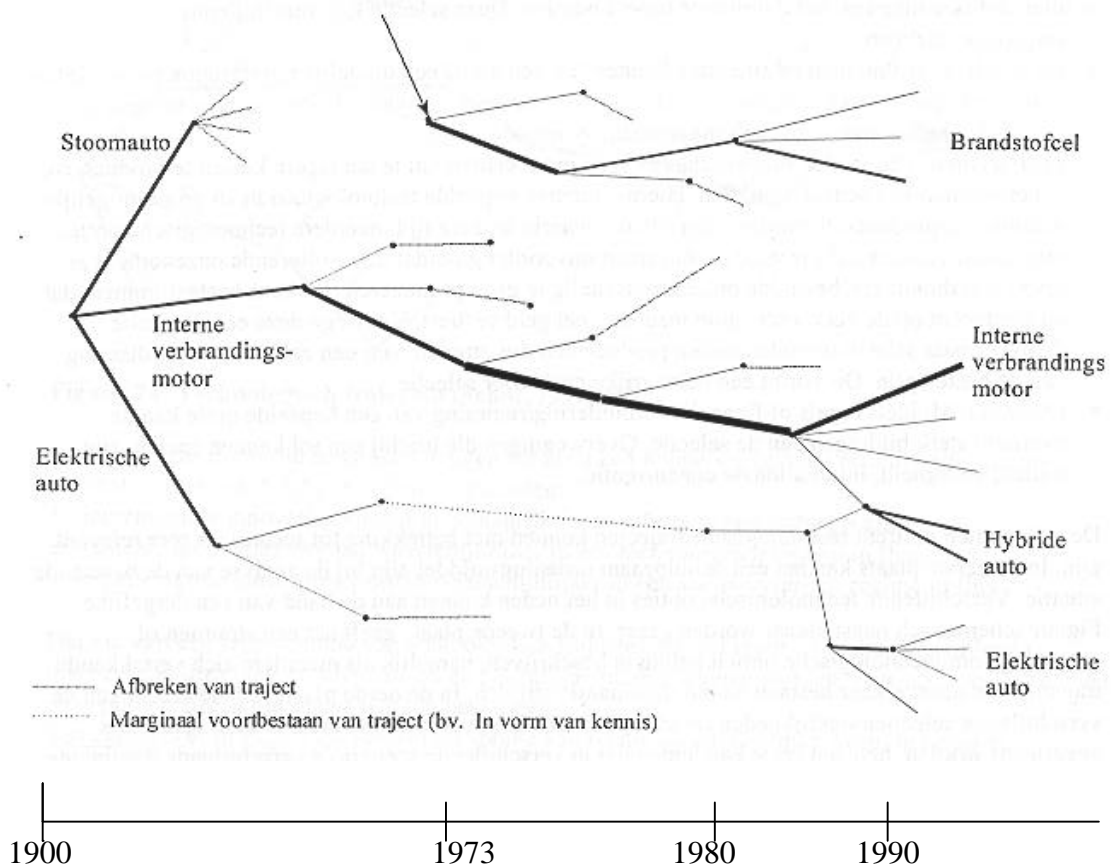
Pas als de overtuigingen van de ontwikkelaars en de bijbehorende heuristische veranderingen kan de technologische ontwikkeling van richting veranderen of zelfs min of meer stopgezet worden, waarna een ander technologische ontwikkelingstraject ingezet wordt. Deze overtuigingen kunnen veranderen doordat vanuit de maatschappij (marktactoren of andere maatschappelijke groeperingen) andere eisen aan een technologie worden gesteld, die niet haalbaar worden geacht door verdere ontwikkeling van de technologie langs het huidige traject. Technologieontwikkeling kan dus niet uitsluitend worden geconceptualiseerd als de steeds verdere verbetering van specifieke dominante functionaliteiten. In de praktijk treden in loop van de tijd veranderingen op in de te verbeteren specifieke dominante functionaliteiten.

Technologische ontwikkeling wordt dus niet opgevat als afgebakende punten in de tijd die d.m.v. 'een rechte lijn' met elkaar verbonden zijn. Bij een specifieke technologische ontwikkeling is eerder sprake van een boomstructuur, waarbij steeds nieuwe vertakkingen ontstaan en andere afsterven. Een tak representeert de ontwikkeling van een potentiële nieuwe toepassing van een technologie of de verdere ontwikkeling van een bestaande technologie die in de praktijk reeds commerciële toepassing vindt. Bij nieuwe toepassingen kan de ontwikkeling ervan gaandeweg uitmonden in daadwerkelijke implementatie in de praktijk en tijdens de implementatie verder voortgang vinden.

Bepalend voor de richting van de ontwikkeling is de verbetering van één of enkele specifieke dominante karakteristieken. Het dikker worden van een tak staat voor het stabielere worden van deze ontwikkelingsrichting (bijv. doordat de overeenstemming tussen ontwikkelaars t.a.v. de richting toeneemt). Dunner wordende takken geven aan dat de stabiliteit vermindert. Een doodlopende tak geeft het geheel stopzetten van een ontwikkelingsrichting weer, terwijl het afsplitsen van een tak staat voor een verandering van de richting van het ontwikkelingstraject waarin de verbetering van andere specifieke dominante karakteristieken dan tot dan toe het geval was centraal staat.

Het patroon dat de vertakkingen volgen ligt niet bij voorbaat vast, maar wordt gaandeweg gemaakt. Technologieontwikkeling is dus een proces dat in de tijd de vorm krijgt van een technologisch traject.

Figuur 1 illustreert het verloop van verschillende technologische trajecten die betrekking hebben op de aandrijving van auto's (ontleend aan Geels, 1997). Een toelichting wordt gegeven in kader 4. In figuur 1 komen relatieve verschuivingen in de verschillende trajecten naar voren middels dikker of dunner wordende lijnen (die staan voor veranderingen in de relatieve dominantie tussen of het relatieve momentum van verschillende trajecten). Inzichtelijk is dat veranderingen van het ene naar het andere traject niet zozeer sprongsgewijs plaatsvinden, maar meer glijdend en dat bepaalde trajecten als het ware doodbloeden.



Figuur 1 Procesmatige representatie van technologische trajecten, toegepast op aandrijving van auto's (ontleend aan Geels 1997, p80 o.b.v. Schot 1991)

In een dergelijke representatie komen niet de factoren die van invloed zijn op de richting en het verloop van trajecten tot uitdrukking. Een manier om de werking van deze factoren in de representatie zichtbaar te maken is het verloop van technologische trajecten in een dynamisch heuvelslandschap weer te geven (Geels, 1997; ontleend aan Sahal, 1985). In figuur 2 representeren de in de tijd veranderlijke heuvels en dalen resp. weerstanden en stimulansen waar de technologie mee geconfronteerd wordt. Deze kunnen van technische aard zijn of betrekking hebben op verwachtingen van ontwikkelaars (bijv. t.a.v. performance) of op overheidsbeleid, prijzen, acceptatie door gebruikers, etc.

Kader 4 Voorbeeldverhaal technologische ontwikkeling bij figuur 1 (Geels, 1997)

Voorbeeldverhaal

Eind vorige eeuw waren er met betrekking tot de aandrijving van auto's drie werkende opties: stoom, elektriciteit en interne verbranding. Mede doordat auto's met interne verbranding bij autoraces vaak de winnaar waren en hierdoor een 'stoer' imago kregen dat aansloeg bij de initiële consumenten, werd het verbrandingsmotor traject dominant. Desalniettemin werd er nog wel enige tijd gewerkt aan het elektrische traject, maar dit kwijnde geleidelijk weg. De opgebouwde kennis omtrent accu's en elektrische aandrijving bleef echter wel bestaan (en werd bijvoorbeeld in andere technische domeinen gebruikt). Zoals we nog zullen zien, wordt het elektrische traject ongeveer in de jaren '80 weer gerevitaliseerd.

Rond het dominante verbrandingstraject wordt vervolgens een robuust regime opgebouwd. De carrosserie van de auto wordt van staal gemaakt, hetgeen tot een zware auto leidt (iets wat in een later stadium een barrière vormt voor elektrische aandrijving). Verder wordt er geïnvesteerd in wegen, bezinestations. Middels incrementele verbeteringen wordt de verbrandingsmotor geoptimaliseerd. Rond de jaren '60 neemt de verbreiding van auto's in Europa een grote vlucht (in de VS al eerder). Het wordt een symbool van vooruitgang en welvaart. "Iedere arbeider een auto" sprak bijvoorbeeld Den Uyl in de jaren '70. Met de verbreiding van de auto verandert ook de ruimtelijke structuur van steden. Wonen en werken worden meer gescheiden. Het ontstaan van voor- en slaapsteden wordt ook wel 'urban sprawl' genoemd. Kortom, het traject van de verbrandingsmotor raakt verankerd in een socio-technische regime.

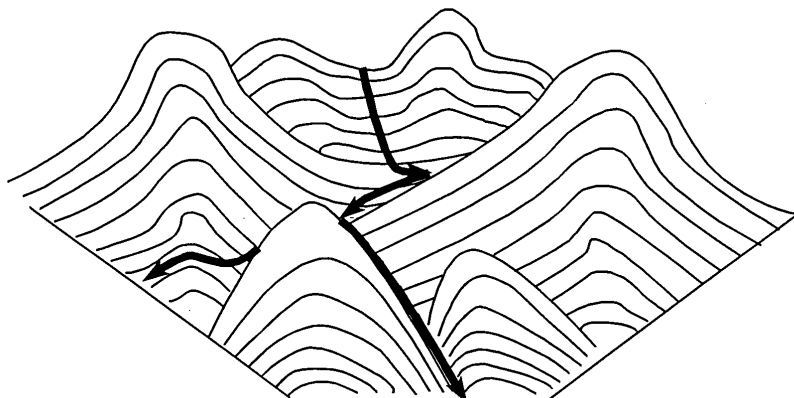
De oliecrisis in 1973 vormt een belangrijk keerpunt in de zin van bewustwording van de afhankelijkheid van olie. In reactie hierop gaan autofabrikanten hun strategie diversificeren, en worden radicale innovatie-trajecten onderzocht. Bijvoorbeeld de optie van brandstofcellen 'waait over' vanuit de ruimtevaart naar de auto-industrie. Nadat de initiële schok is weggeëbt en de stabiliteit hersteld lijkt, nemen ook de investeringen in onderzoek naar brandstofcellen weer af. Het brandstofceltraject verliest momentum, maar blijft bestaan.

In de jaren '80 leiden problemen van smogvorming in grote steden (bv. Los Angeles) en verzuring tot toenemende kritiek op auto's met verbrandingsmotoren. Voor de enorme groei van het aantal auto's draagt aan deze problemen bij. Het bestaande regime raakt dus in problemen. Tegen deze achtergrond wordt het elektrische traject gerevitaliseerd. Het onderzoek van autofabrikanten heeft vooral een strategisch karakter. Ze nemen elektrische auto's niet echt serieus, maar willen naar overheden toe laten zien dat ze aan alternatieven werken. Ook aan brandstofcellen wordt weer iets meer aandacht besteed.

Een zeer belangrijke impuls met internationale uitstraling komt begin jaren '90 vanuit de overheden van de staat Californië (later gevolgd door Massachusetts en New York). Zij stellen dat in 1998 2% en in 2003 10% van de verkochte auto's nul-emissie auto's moeten zijn. In de praktijk betekent dit elektrische auto's. Deze stellingname leidt bij auto-fabrikanten en overheden in andere landen tot een verandering in verwachtingen omtrent de kansen voor elektrische voertuigen. Het momentum van het elektrische traject neemt toe. Ook de verwachtingen omtrent de kansen van brandstofcellen worden sterker, zij het dat het toekomstperspectief iets verder is gericht.

De trajecten van interne verbrandingsmotor en elektrische tractie blijken gecombineerd te kunnen worden, tot een hybride auto, waarvan er twee soorten zijn (serieel en parallel). Het voordeel van hybride auto's is dat het rijpatroon niet veel verschilt van bestaande auto's. Aan de gebruikerskant hoeft er dus niet veel te veranderen. Mede om deze reden koesteren autofabrikanten recentelijk vooral van deze optie grote verwachtingen, wellicht niet als definitieve oplossing van alle problemen, maar wel als belangrijke tussenoptie waarmee grote marktaandeelen kunnen worden behaald. Onder andere Toyota heeft aangekondigd eind '97, begin '98 hybrides op de markt te willen brengen.

Kortom, het dominante traject van de interne verbrandingsmotor raakt in problemen ('regime in flux') en andere opties dienen zich aan. Welke optie uiteindelijk het dominante traject zal worden waaromheen een nieuw stabiel regime kan worden gebouwd, is op dit moment niet duidelijk. Tussen de verschillende trajecten vinden voortdurend verschuivingen plaats. Deze kunnen te maken hebben met aspecten als: i) ontstaan en oplossen van specifieke (technische) problemen of drempels, ii) verschuivingen in percepties, verwachtingen, beeldvorming, iii) overheidsmaatregelen, iv) preferenties van de markt (waarvan nog veel onzeker is).



Figuur 2 Technologisch traject in een landschap van veranderlijke heuvels en dalen die de drijvende krachten representeren

Voor verschillende technologische trajecten (bijv. voor de verschillende aandrijvingen van auto's) ziet het heuvelslandschap er iets anders uit. Een technologisch traject slingert zich een weg door een heuvelslandschap en zoekt daarbij de weg van de minste weerstand (door de dalen). Soms kan dit niet en zal een drempel overwonnen moeten worden. Dan zullen de bij het traject horende heuristische (vuistregels die ontwikkelaars hanteren bij verdere ontwikkeling), productkarakteristieken en/of gebruikerspreferenties moeten veranderen. Als niet duidelijk is in welke richting iets moet veranderen kan een traject zich splitsen in meerdere opties.

Overigens wordt de hoogte van de heuvels en diepte van de dalen ook beïnvloed door de technische trajecten zelf. Bijvoorbeeld als in het beginstadium een technologische ontwikkeling nog niet zo goed presteert is dit van invloed op de verwachtingen t.a.v. de performanceverbeteringen. Hoe deze invloed uitwerkt is niet bij voorbaat te zeggen. Soms geeft dit aanleiding tot niet erg hooggespannen verwachtingen met als gevolg dat ontwikkelaars de technologie minder zien zitten. Pas als een technologie beter gaat presteren door verdere ontwikkeling kunnen de verwachtingen over verdere verbeteringen toenemen en komt die technologie als optie weer meer in beeld bij de ontwikkelaars. In andere gevallen hebben de ontwikkelaars ondanks de onvoldoende prestaties in beginstadium hooggespannen verwachtingen omdat ze menen dat er grote verbeteringen in de performance te bereiken zijn.

2.2.2 Betekenis van de inzichten voor de uitvoering van prognoses

In deze paragraaf wordt kort uiteengezet welke betekenis de inzichten kunnen hebben voor de uitvoering van prognoses, met name voor het geven van een eerste aanzet tot een methodiek die doelgroepexperts binnen RIVM/LAE kan ondersteunen bij het maken van inschattingen omtrent technologische ontwikkelingen.

Technologische trajecten

De presentatie van technologische trajecten (in de vorm van een boomstructuur zoals in figuur 1) biedt mogelijk een stramien om de toekomstige technologische ontwikkeling te beschrijven, namelijk als meerdere zich vertakkende trajecten die naast elkaar kunnen bestaan en om dominantie strijden. Dit betekent dat een specifieke technologie altijd in relatie tot alternatieve (concurrerende) technologieën moet worden geanalyseerd.

De metafoer van trajecten in een heuvelandschap (zie figuur 2) kan dienen als verhaallijn voor het schrijven van scenario's. De verhaallijn bestaat eruit dat een specifiek technologische traject wordt geconfronteerd met specifieke drempels en stimulansen. Gaandeweg kunnen de drempels worden overwonnen, verlaagd of omzeild. Daarbij kan de dynamiek van de wederzijdse beïnvloeding van voortgang in technologische ontwikkeling en maatschappelijke factoren worden beschreven. Hiervoor is wel een nadere analyse nodig van de inhoud van de heuvels en dalen (de verschillende weerstanden en stimulansen) alsook van de processen middels welke de heuvels beklommen dan wel verlaagd kunnen worden. Dit kan op basis van de drijvende krachten zoals weergegeven in kader 5 in de volgende paragraaf (2.3) van dit hoofdstuk.

Stabiliteitindicatoren

De door Schaeffer (Schaeffer, 1998) ontwikkelde indicatoren voor het vaststellen van de (ontwikkeling in de) stabiliteit van een technologisch systeem zeggen iets over de kans dat een technologisch traject zich in een specifieke bepaalde richting zal blijven ontwikkelen. Zijn indicatoren zijn dus gerelateerd aan factoren die samenhangen met de kans waarmee een technologie zich verder ontwikkelt in een richting die gebaseerd is op het doortrekken van huidige trends. Ze geven daarmee de betrouwbaarheid aan van prognoses die gebaseerd zijn op het doortrekken van huidige trends (bijv. m.b.v. leercurven). Bij aanzienlijke vergroting van de stabilisatie van de richting waarin een technologie zich ontwikkelt kunnen huidige trends zelfs een versnelling ondergaan. Een voorbeeld van dit laatste is de rol van autofabrikanten bij de ontwikkeling van brandstofcellen. Tot voor kort was deze rol marginaal, maar de laatste jaren is de invloed van autofabrikanten zeer groot geworden doordat zij hooggespannen verwachtingen vertonen en ook gaan investeren in de ontwikkeling (Schaeffer, 1998). Bij tot nu toe geconstateerde trends in kostendalingen zou een brandstofcel pas in 2020 vanuit kostenooqpunt concurrerend zijn. Doordat autofabrikanten veel in deze optie zien wordt er meer geïnvesteerd in deze ontwikkeling met als resultaat mogelijk een veel kortere termijn (bijv. 2010) waarop dit punt bereikt wordt (althans voor toepassingen in auto's).

De indicatoren kunnen verschillen in stabiliteit van de ontwikkeling tussen verschillende technologische trajecten belichten. In het verlengde daarvan geven ze een aanwijzing voor verschillen in dominantie tussen die trajecten.

Hoe de indicatoren de kans bepalen is door Schaeffer niet geoperationaliseerd. De indicatoren van Schaeffer vertonen tot op zekere hoogte een overeenkomst met de krachten zoals weergegeven in kader 5 in de volgende paragraaf (2.3) van dit hoofdstuk. Een groot verschil tussen de twee benaderingen is dat Schaeffer de factoren relateert aan een breed technologieveld, waar verschillende toepassingen onder vallen, terwijl de benadering in 2.2 de factoren relateert aan een technologie gericht op toepassing in een specifieke sector.

Analyseniveau

Belangrijk uitgangspunt voor Schaeffer is dat voor uitvoering van prognoses naast stabiliteit ook het niveau waarop analyse van technologische ontwikkelingen plaatsvindt erg bepalend voor de mate van betrouwbaarheid waarmee die prognoses uitgevoerd kunnen worden. Op het niveau van individuele organisaties is deze betrouwbaarheid geringer dan op het niveau van specifieke technologieën.

Leercurven

Leercurven leveren praktijkwaarden van constante procentuele verbeteringen in een specifieke performancekarakteristiek van een technologie bij iedere verdubbeling van het totale aantal geproduceerde (technologische) eenheden (productie-installaties). Voor prognosedoeleinden kunnen deze trends geëxtrapoleerd worden naar de toekomst. Leercurven hebben vooral betrekking op incrementele performanceverbeteringen en kostenreducties die gepaard gaan met vergroting van de toepassing van bestaande technologieën.

Met name van leercurven die betrekking hebben op kostendalingen is in het verleden relatief veel informatie verzameld en geïntegreerd. Mogelijk zijn ze direct bruikbaar bij de verdere ontwikkeling van het Model Effectiviteit Instrumenten (MEI 1.0) waarmee de penetratie van milieutechnieken in een sector wordt ingeschat (Booij et al, 1999). Voor meer informatie over dit type leercurven zie bijlage 2.

Voor leercurven die betrekking hebben op verbeteringen in technische performance, waaronder milieuproductiviteit, is in historische cases wel materiaal beschikbaar, maar er heeft geen integratie van de informatie plaatsgevonden.

2.3 Drijvende krachten achter technologieontwikkeling

Deze paragraaf beschrijft de drijvende krachten die de essentie vormen van de belangrijkste mechanismen achter de ontwikkeling van een nieuwe technologie. De kans waarmee en de termijn waarop een technologie in ontwikkeling tot eerste marktintroductie komt hangt samen met de karakteristieken van die technologie en van de sociale omgeving waarin die technologie zich ontwikkelt. De sociale omgeving omvat de verschillende typen maatschappelijke groeperingen (actoren) die de ontwikkeling en eerste toepassing van een nieuwe technologie beïnvloeden. Dit zijn bijv. bedrijven of onderzoeksinstellingen die research uitvoeren om de technologie te ontwikkelen alsook bedrijven die een nieuwe technologie in potentie kunnen gaan toepassen. Andere voorbeelden van actoren zijn de overheid en maatschappelijke organisaties (milieubeweging, werknemersorganisaties, etc). De verschillende karakteristieken zijn geaggregeerd tot een 8-tal drijvende krachten. Voor een beschrijving zie kader 5.

Het overzicht van drijvende krachten in kader 5 is gebaseerd op een raamwerk ontwikkeld door UU in samenwerking met RIVM (Luiten et al, 1999). In het betreffende raamwerk is de kennis over mechanismen achter technologieontwikkeling samengevat die door middel van vele technologiestudies is opgedaan

Rol van overheidsbeleid

In het in kader 5 gepresenteerde overzicht is overheidsbeleid één van de vele krachten die bepalend zijn voor de kans waarmee en termijn waarop een technologie tot eerste marktintroductie komt. Hierna volgt een korte uiteenzetting over de werking en de effectiviteit van overheidsbeleid t.a.v. de ontwikkeling van nieuwe technologieën.

Overheidsbeleid kan van invloed zijn op een groot aantal van de onderscheiden krachten en werkt vooral indirect (namelijk via die andere krachten) door op de kans waarmee en de termijn waarop een technologie tot doorbraak komt. Stringente normstellingen (die met huidige technologie niet haalbaar zijn) kunnen bijvoorbeeld de marktpositie van een nieuwe technologie en dan met name de marktvoorkeur t.a.v. specifieke performanceverbeteringen beïnvloeden. Subsidies voor R&D-projecten kunnen doorwerken in de aandacht en de financiële competentie van ontwikkelaars. Subsidies voor haalbaarheidsstudies en/of demo-projecten kunnen verder ook de marktpositie van een technologie verbeteren doordat ze kunnen leiden tot meer inzicht in de performancekarakteristieken van een technologie.

Effectiviteit beleidsinstrumenten

Er is nog relatief weinig inzicht in de effectiviteit van het overheidsbeleid t.a.v. de ontwikkeling van nieuwe technologieën. Met name ontbreekt een overzicht van bevindingen in de praktijk op basis van studies in binnen- en buitenland. Het opstellen van een dergelijk overzicht vormde geen onderdeel van dit onderzoek en beperkt zich tot samenvatting van de resultaten van enkele bij de auteurs beschikbare studies.

Kader 5 Definities drijvende krachten

1. Ontwikkelingsstadium technologie (materialisatiegraad)

Aantal op verschillende locaties met succes gerealiseerde installaties of prototypen op het hoogste tot nu toe bereikte experimentele schaalniveau m.b.t. de beschouwde potentiële toepassing van de technologie. Als experimentele schaalniveaus worden bij productieprocessen bijv. lab-, pilot- en praktijkdemo-schaal onderscheiden.

2. Omvang technologische drempel

Mate waarin er kritische technologische problemen zijn en/of voorzien worden. Dit is o.a. gerelateerd aan de periode waarin op een bepaald schaalniveau tot nu toe al dan niet met succes experimenten zijn uitgevoerd en aan de mate waarin de benodigde complementaire technologieën beschikbaar zijn (of naar verwachting beschikbaar zullen komen).

3. Aandacht en competenties van dominante ontwikkelaars

Mate waarin verschillende typen ontwikkelaars in technologie investeren en de benodigde technische, financiële en sociale competenties in huis hebben, beide *t.o.v. technologische alternatieven (bestaande en nieuwe)*. Het type benodigde technische competenties kan veranderen in de tijd. In het begin van een ontwikkelingstraject kan betrokkenheid van actoren met basiskennis van de technologie (universiteiten, technologische instituten) belangrijk zijn, terwijl in een later stadium betrokkenheid van een potentiële toepasser veel crucialer is

4. Marktpositie van de technologie t.o.v. alternatieven

Mate waarin aanbod en vraag met elkaar overeenstemmen.

Aanbod staat daarbij voor de verwachtingen bij ontwikkelaars t.a.v. (verbeteringen in) verschillende typen performancekarakteristieken van de beschouwde technologie en de eventuele alternatieven. De onderscheiden performancekarakteristieken zijn gerelateerd aan kosten (investeringskosten en operationele kosten), milieuelement en productkwaliteit.

Vraag staat voor de voorkeur van de potentiële toepasser o.b.v. voorkeuren/drijfveren die er zijn vanuit de markt t.a.v. verbeteringen in verschillende typen performancekarakteristieken. De markt staat hier voor toeleveranciers, afnemers en concurrenten.

5. Compatibiliteit van de technologie

Mate waarin een nieuwe technologie naar verwachting al dan niet eenvoudig is in te passen in het bestaande technologische systeem. Het gaat om zowel de fysieke inpasbaarheid van bijv. apparaten of grondstoffen als om de mate waarin de ontwikkeling van het vereiste niveau van kennis en vaardigheden geen obstakel vormt. Ook de mate waarin met de technologie ervaring met andere praktijktoepassingen is opgedaan hangt hiermee samen.

Het technologisch systeem omvat zowel de potentiële toepassers als hun toeleveranciers en afnemers.

6. Synergie tussen ontwikkelaars en potentiële toepassers

Een kwalificatie van de interacties tussen ontwikkelaars onderling, tussen ontwikkelaars en potentiële toepassers en tussen potentiële toepassers onderling. Er is sprake van meer synergie naarmate er meer overeenstemming is in motieven en strategieën en verwachtingen tussen betrokkenen, naarmate verschillende belangen elkaar aanvullen, naarmate er meer wederzijds begrip en vertrouwen is en naarmate er meer sprake is van continuïteit in de relaties. Dit zegt iets over de mate waarin de beschikbare competenties bij ontwikkelaars (zie 3.) zich effectief kunnen ontplooiën.

7. Overheidsbeleid

Mate waarin overheid d.m.v. beleidsinstrumenten invloed uitoefent op de andere actoren in de sociale omgeving waarin de technologie zich ontwikkelt.

8. Maatschappelijk draagvlak

Mate waarin maatschappelijke organisaties invloed uitoefenen op de andere actoren in de sociale omgeving waarin de technologie zich ontwikkelt.

Kemp geeft in zijn proefschrift een overzicht van de belangrijkste resultaten van een aantal studies in binnen- en buitenland die vóór 1995 zijn uitgevoerd (Kemp, 1995). Normstellingen gebaseerd op beschikbare end-of-pipe technieken hebben nauwelijks geleid tot ontwikkeling van geheel nieuwe technologieën. Er hebben in het algemeen vooral incrementele verbeteringen en vergroting van de toepassing van bestaande technologieën plaatsgevonden. Zelfs aan de destijds strenge dioxinenorm bij afvalverbranding kon worden voldaan door het verbrandingsproces te optimaliseren. Die optimalisatie omvatte onder andere een betere vermenging van het afval, verbeterde luchtdosering en een verlaging van de temperatuur en verblijftijd van de rookgassen. Stringente wet- en regelgeving (bijvoorbeeld het verbod op PCB's en CFK's) heeft wel geleid tot de ontwikkeling van nieuwe technologieën. Subsidies voor investeringen en R&D hebben in Nederland in beperkte mate effect gehad en zijn slechts in een enkel geval van betekenis geweest. Mogelijk hebben de subsidies versnellend gewerkt hebben op de ontwikkeling van nieuwe technologieën, maar dit is onduidelijk. Er zijn wel aanwijzingen dat R&D subsidies van belang zijn geweest bij de ontwikkeling van de milieubiotechnologie.

Volgens Kemp is er geen bewijs dat convenanten gericht op substitutie van milieugevaarlijke stoffen in producten hebben geleid tot ontwikkeling van nieuwe technologieën. Een uitzondering vormt het KWS2000-programma gericht op de vermindering van de uitstoot van VOS. Dit programma heeft bijvoorbeeld geleid tot stimulering van het onderzoek naar VOS-arme verven. Ook is er tot 1995 geen geval bekend dat heffingen en verhandelbare emissierechten leiden tot de ontwikkeling van nieuwe technologieën, maar dit is mogelijk verklaarbaar door de beperkte inzet van deze instrumenten en het lage niveau van de heffingen of de hoge emissieplafonds bij verhandelbare emissierechten (in de periode voor 1995). Wel hebben heffingen de vergroting van de toepassing van bestaande technologieën beïnvloed (bijv. rwzi's). Kemp concludeert dat geen enkel instrument optimaal is. Alle instrumenten kunnen een rol spelen in het milieubeleid. In het algemeen vraagt het stimuleren van de ontwikkeling van nieuwe technologieën een mix van instrumenten, afhankelijk van de specifieke factoren en omstandigheden.

Enkele recentere binnenlandse studies schetsen een positiever beeld ten aanzien van de effectiviteit van R&D-subsidies. Uit een evaluatie van het Programma Milieutechnologie blijkt bijvoorbeeld dat de helft tot driekwart van de geënquêteerde bedrijven (respons 65%) zonder de subsidie de ontwikkeling niet zouden hebben gestart (Novem, 1996). Het Innovatiegericht Onderzoeksprogramma (kortweg IOP) heeft geleid tot toename van de researchactiviteiten door de toetreding van nieuwe spelers en tot netwerkvorming tussen ontwikkelaars (Willems & van den Wildenberg, 1999).

Mogelijk zijn de laatste jaren meer studies op dit terrein uitgevoerd (met name in het buitenland). Een onderzoek kan hierin meer inzicht verschaffen.

Effectiviteit beleid i.r.t. andere drijvende krachten

Verondersteld kan worden dat de effectiviteit van het beleid sterk samenhangt met de impuls die van de andere drijvende krachten uitgaat. Enkele voorbeelden kunnen dit illustreren.

Stel dat Nederland (of Europa in geval van Europees beleid) een afzetmarkt (potentiële toepassers) voor een technologie heeft, maar dat er geen organisatie aanwezig is die een belangrijke bijdrage aan de ontwikkeling van een technologie levert. Dan heeft het beleid het meeste effect als het gericht is op de factoren die betrekking hebben op die afzetmarkt, zoals bijv. marktpositie (met name de marktvoorkeur) en compatibiliteit (met name ontwikkeling kennis en vaardigheden bij toepassers). Als er daarnaast tevens belangrijke ontwikkelaars actief zijn, kan tevens de inzet (aandacht en competenties) van de ontwikkelaars (bijv. via R&D-subsidies) of de synergie tussen ontwikkelaars versterkt worden.

Als de markt in vergelijking tot publieke onderzoeksinstituten een grote rol speelt in de ontwikkeling zal de rol van het beleid anders zijn dan indien het omgekeerde het geval is. In het eerste geval is sturing via eisen aan performancekarakteristieken effectiever in het bereiken van eerste marktintroductie dan het subsidiëren van R&D-projecten. In het tweede geval kan stimulering van veelbelovende technologieën middels bedrijfsgerichte of op samenwerking tussen bedrijven en onderzoeksinstituten gerichte R&D-programma's daarentegen wel effectief zijn.

Als de ontwikkeling ter hand wordt genomen door marktpartijen die toeleveren aan potentiële toepassers kan het zinvol zijn subsidies voor praktijk-demo experimenten beschikbaar te stellen.

3. Praktijkgegevens lengte technologische ontwikkelingstrajecten

Om inzicht te krijgen in de kans waarmee en de termijn waarop een specifieke technologie tot eerste marktintroductie komt moet een totaalbeoordeling van de drijvende krachten gerelateerd worden aan ranges in waarden die voor deze kans en termijn in de praktijk gevonden worden. De totale termijn van een ontwikkelingstraject kan in de praktijk variëren van enkele jaren tot meerdere decennia. Dit grote verschil is in eerste benadering vooral gebaseerd op de mate van compatibiliteit van een nieuwe technologie met het huidige technologisch systeem. Bepalend hiervoor zijn de mate van fysieke inpasbaarheid, de mate waarin ontwikkeling van het vereiste niveau van kennis en vaardigheden geen obstakel vormt en de mate van bekendheid van de technologie in andere praktijktoepassingen.

Naast inzicht in de totale termijn van een ontwikkelingstraject is ook inzicht nodig in waar de beschouwde technologie zich op dit moment bevindt in dat traject. Correctie van de totale termijn met een termijn die gemiddeld nodig is voor het tot nu toe bereikte ontwikkelingsstadium levert inzicht op in de nog resterende ontwikkelingstermijn. Hiervoor is allereerst inzicht nodig in de mogelijkheid om in het ontwikkelingstraject momenten en perioden te onderscheiden die informatie verschaffen over de vorderingen die gemaakt zijn ('ontwikkelingsstadium' van de technologie). Waarschijnlijk zijn er perioden te onderscheiden waarin sprake is van uitvoering van verschillende hoogste schaalniveaus van R&D-activiteiten. Gelijktijdig kunnen nog steeds op lagere schaalniveaus experimenten uitgevoerd kunnen worden, bijv. ter ondersteuning van het hogere schaalniveau of omdat dit relatief goedkoper en makkelijker uitvoerbaar is. Als deze perioden onderscheiden kunnen worden is de volgende vraag welke ranges in praktijkwaarden gevonden worden voor de lengte van die perioden (in jaren). Omdat dit alles onbekend is, is een aantal historische casestudies uitgevoerd.

Doel van de casestudies is dus het verkrijgen van inzicht in het tijdsbeslag van de verschillende typen R&D-activiteiten binnen ontwikkelingstrajecten.

3.1 Aanpak

3.1.1 Afbakening

- De casestudies zijn gericht op historische technologische ontwikkelingen die inmiddels commerciële toepassing vinden (of zich op full-scale demo niveau bewezen hebben) en die (mede) tot een (aanzienlijke) verbetering van de milieu-performance hebben geleid. De ontwikkeling hoeft niet persé hoofdzakelijk vanuit milieu-overwegingen ingezet te zijn. Milieu-overwegingen kunnen een rol hebben gespeeld bij het in gang zetten van een ontwikkelingstraject, dit is echter geen voorwaarde voor de keuze van relevante cases. Het uiteindelijke resultaat van de ontwikkeling moet echter wel zijn dat een belangrijke milieuwinst wordt geboekt bij toepassing ervan.

- De case studies hebben betrekking op technologische ontwikkelingen die toepassing vinden in een industriële productiesector waarbij de milieuwinst ook in die toepassende sector wordt geboekt. Dus de productie van vernieuwde consumentenproducten waarbij milieuwinst hoofdzakelijk in de eindgebruiksfasen (tijdens gebruik door consument) wordt geboekt zijn niet meegenomen.
- De casestudies zijn gericht op technologische ontwikkelingen die leiden tot geheel nieuwe uitvoeringen van (onderdelen van) bestaande productieprocessen. Het kunnen ontwikkelingen van geheel nieuwe technologieën zijn of van technologieën die in een ander productieproces reeds toepassing vinden. Ontwikkelingen die leiden tot verbeteringen van huidige uitvoeringen van bestaande productieprocessen worden niet meegenomen.

3.1.2 Werkwijze

Vanwege het tijdrovende karakter van het verzamelen van informatie op basis van beschikbare literatuur is gekozen voor het interviewen van een aantal personen die direct betrokken zijn geweest bij de ontwikkeling van een specifieke technologie of bij het verzamelen van kennis daarover. Daarnaast is gebruik gemaakt van via deze personen direct beschikbare literatuur waarin de informatie over bijv. te onderscheiden perioden in specifieke ontwikkelingstrajecten is opgenomen.

Niveau

Technologische ontwikkelingstrajecten zijn op twee niveaus geanalyseerd. Allereerst op het niveau van individuele organisaties of een samenwerkingsverband daarvan. Daarnaast zijn ook enkele ontwikkelingstrajecten geanalyseerd op het niveau van een technologie die toepassing vindt binnen een sector (of een deel van de sector). Met name dit laatste type analyse leverde inzicht op in de gemiddelde duur van een ontwikkelingstraject (als gemiddelde van de verschillende trajecten t.g.v. de wereldwijde activiteiten van de individuele ontwikkelaars). Probleem is dat bij casestudies op niveau van de technologie veel informatie nodig is. Met name dient vastgesteld te worden welke de belangrijkste betrokkenen wereldwijd zijn geweest en hoe de individuele trajecten van die organisaties eruit zien. Dit betekende dat per case vaak meerdere personen geïnterviewd zouden moeten worden. Voor enkele cases kon gebruik gemaakt worden van informatie die door onderzoekers van de Universiteit Utrecht (Luiten, Harmsen en Stratenus) reeds verzameld en (deels) gerapporteerd was (Luiten, 1998 en Stratenus, 1999).

Rol ontwikkelaar

Er zijn casestudies uitgevoerd die betrekking hebben op bedrijven die een nieuwe technologie hebben ontwikkeld met het doel deze technologie zelf toe te passen. Daarnaast zijn ook casestudies uitgevoerd die betrekking hebben op organisaties (bedrijven of onderzoeksinstituten) die een nieuwe technologie hebben ontwikkeld als toeleverancier (van apparaten of kennis) aan de potentiële toepasser.

3.1.3 Beschrijving uitgewerkte casestudie

Deze paragraaf geeft een beschrijving van de uitgewerkte casestudies. Een overzicht staat in kader 6.

Kader 6 Overzicht uitgewerkte casestudies

Cases op niveau van individuele organisaties

1. Stripcasting staalproductie
 - a. Nippon Steel Corp/MHI
 - b. Usinor/Thyssen
 - c. AST/CSM
 - d. BHP/IHI
2. Membraanfiltratie productie complexvormers chemische industrie
3. MacroPorous Polymer Extraction voor zuivering grond- en proceswater (Akzo Nobel)
4. Bleachomatic textielindustrie (TNO-textiel en toeleveranciers apparatuur)
5. Hycon conversie olieraffinageresidu (Shell)
6. Shell High Activity Catalyst polypropyleenproductie (Shell)

Cases op niveau van een technologie (met specifieke toepassing in een sector)

7. Kolenvergassing elektriciteitsproductie
8. Impulsdroger papierproductie
9. Stripcasting staalproductie

Cases 2, 5 en 6 hebben betrekking op ontwikkelingen die geheel door een bedrijf zelf zijn uitgevoerd voor toepassing in eigen bedrijf. Bij de andere cases is de ontwikkeling meestal in een samenwerkingsverband van potentiële toepassers met hun toeleverancier(s) ter hand genomen.

1. Stripcasting staalproductie

Nippon Steel Corp heeft i.s.m. een machinebouwer een nieuw gietproces ontwikkeld dat het mogelijk maakt het energieverbruik tijdens dit onderdeel van de staalproductie aanzienlijk te verminderen. Het geproduceerde ruwstaal wordt bij het oude gietproces m.b.v. een continue gietmachine continu uitgegoten in een bepaalde gietvorm. Dit levert afhankelijk van de gietvorm plakken (slabs), knuppels of blokken op, die vervolgens (vaak na tussentijdse opslag en/of transport) naar de walserij gaan. Plakken worden daar heet verwalst van een dikte van 200 à 250 mm tot een dikte tussen de 1 tot 10 mm. Tot slot ondergaan de zo verkregen platen nog een koudebewerking. Om het continue proces (incl. walserijproces) te verkorten zijn er technieken ontwikkeld om i.p.v. dikke plakken dunnere plakken te gieten die veel dichter de dimensies van het eindproduct benaderen. Een van deze technologieën is stripcasting, gericht op productie van strips met een dikte die kan variëren tussen 1 en 8 mm en op productie van dunne strips (met een dikte van minder dan 1 mm). Bij stripcasting is geen hete verwalsing meer nodig; dit bespaart dus enorm veel tijd en energie. Er zijn verschillende uitvoeringsmogelijkheden van stripcasting. Deze case is gericht op de uitvoering waarbij het staal m.b.v. 1 of 2 draaiende rollen (single of twin roll caster) wordt gegoten.

Inmiddels hebben drie andere (samenwerkingsverbanden van) ontwikkelaars ook elk een (variant van het) stripcasting proces met succes op full-scale demo niveau gerealiseerd (Usinor/Thyssen, AST/CSM en BHP/IHI).

2. Membraanfiltratie productie complexvormers chemie

De ontwikkeling van een nieuwe membraanfiltratietechniek maakt de behandeling mogelijk van afvalwaterstromen die vrijkomen bij de chemische productie van complexvormers (chemische verbindingen die de metaalionen-concentratie in oplossing reguleren). In de afvalwaterstroom bevindt zich nog product dat grotendeels wordt teruggewonnen.

3. MacroPorous Polymer Extraction (MPPE) system voor extractie koolwaterstoffen uit grond- en proceswater (Akzo Nobel)

Akzo Nobel heeft een systeem ontwikkeld op basis van polymere bolletjes waarmee aromaten, gechloreerde koolwaterstoffen en PAK uit grond- of proceswater geëxtraheerd kunnen worden. De polymere bolletjes hebben een diameter van 0.5 tot 1.5 mm en zijn poreus, waarbij de holtes met elkaar in verbinding staan. De extractievloeistof wordt in de bolletjes geïmmobiliseerd.

4. Bleachomatic textielindustrie (TNO-textiel en toeleveranciers apparatuur)

TNO-textiel heeft i.s.m. een producent van apparatuur voor textielindustrie een apparaat ontwikkeld voor de optimale dosering van bleekchemicaliën (peroxide) op basis van de geleidbaarheid en pH. Milieuverdienste is de optimalisering van het peroxideverbruik. Daarnaast wordt ook de productkwaliteit geoptimaliseerd. Een te hoge peroxide concentratie geeft aanleiding tot een overmatige degradatie van het doek (wat leidt tot verminderde sterkte) en een te lage concentratie geeft onvoldoende witheid.

5. Hycon proces voor conversie van olieraffinageresidu (Shell)

Hycon is de naam van een proces dat een betere benutting van het zwaarste deel van de aardolie mogelijk maakt. Na destillatie worden producten als gas, benzine, kerosine en gasolie afgescheiden, waarna een zwaardere fractie, de zgn. stookolie overblijft. Uit de stookolie kan d.m.v. hoog vacuüm destillatie nog een fractie afgescheiden worden, die nog kan worden opgewerkt tot hoogwaardige producten zoals bijv. benzine. Het resterende residu kan vervolgens door thermisch kraken (sterke verhitting zonder zuurstof) deels worden omgezet in waardevolle producten, maar met het restant wat dan nog overblijft zijn weinig waardevolle toepassingen mogelijk. Het door Shell ontwikkelde Hydro Conversion proces (kortweg Hycon) is een proces waarbij door toevoer van waterstof en m.b.v. een katalysator tijdens het thermisch kraken onder hoge druk uit het overblijvende residu nog veel waardevolle producten afgescheiden kunnen worden. De milieuverdienste van Hycon is naast het beter benutten van de grondstof aardolie de verwijdering van de eventueel aanwezige zwavel en metalen zodat deze bij verbranding van de producten niet in de lucht terecht komen (en die vervolgens weer teruggewonnen en hergebruikt kunnen worden).

6. Shell High Activity Catalyst polypropyleenproductie (SHAC)

Door Shell is een nieuwe katalysator (SHAC) ontwikkeld voor de productie van polypropyleen. Deze katalysator had een activiteit die qua orde grootte een factor 10 hoger was dan de katalysator die tot dan toe gebruikt werd. Het aantal stappen in het proces werd behoorlijk teruggebracht, omdat de terugwinning van de katalysator achterwege kon blijven. Dit resulteerde uiteindelijk in een behoorlijke versimpeling van het proces. Dit ging gepaard met een aantal positieve milieu-effecten: vermindering van het chemicaliënverbruik, vermindering van emissies en afvalproductie en een aanzienlijke vermindering van het energieverbruik.

7. Kolenvergassing voor elektriciteitsproductie

Bij deze technologie worden kolen eerst vermalen en als stof in de vergasser geïnjecteerd. Vergassing vindt plaats onder hoge druk en temperatuur. Het kolengas wordt vervolgens na reiniging naar een gasturbine geleid. Daar vindt verbranding plaats en wordt elektriciteit opgewekt.

8. Impulsdroger bij papierproductie

Tijdens papierproductie wordt pulp in een aantal stappen ontwaterd. De laatste stap is droging d.m.v. verdamping en deze stap is tijdrovend en kost relatief veel energie. In de daaraan voorafgaande stap vindt mechanische ontwatering m.b.v. een ontwateringspers plaats. Een impulsdroger combineert deze beide stappen door tijdens het persen de druk en de temperatuur op te voeren. Het resultaat is een snellere droging tegen een aanzienlijk lager energieverbruik.

Bij deze ontwikkeling is nog geen sprake van realisatie van de technologie op full scale demo niveau. Het innovatietraject omvat tot nu toe vooral de R&D-activiteiten die hebben geleid tot realisatie van een succesvolle pilot-plant bij twee ontwikkelaars. Volgens deze ontwikkelaars is de technologie rijp genoeg om te starten met full-scale demo experimenten bij de papierproducenten.

3.2 Resultaten

Een algemene opmerking is dat bij de cases op het niveau van individuele organisaties interviews met personen werkzaam binnen bedrijven met eigen R&D vooral informatie opleveren over ontwikkelingen die redelijk tot goed compatibel met het huidige systeem zijn. Reden hiervoor is dat bij minder compatibele ontwikkelingen de ontwikkelingstrajecten veelal perioden van één of meer decennia omvatten. De personen die er iets over zouden kunnen vertellen zijn vaak niet meer binnen bedrijf werkzaam. Alleen in die gevallen waarbij de informatie goed is vastgelegd en toegankelijk is voor buitenstaanders kan ook over meer radicale ontwikkelingen informatie achterhaald worden (Hycon proces Shell bijv.).

3.2.1 Onderscheiden momenten en perioden in innovatietraject

Voor alle cases zijn de volgende gegevens verzameld en verwerkt:

- Startjaar van R&D-activiteiten
- Jaar van eerste commerciële toepassing innovatie of jaar waarin sprake is van realisatie van succesvolle full scale demo-installatie
- Tussenliggende perioden en/of momenten die in gehele traject onderscheiden kunnen worden, zoals

- perioden waarin sprake is van uitvoering van verschillende typen R&D-activiteiten, zoals literatuurstudie, marktonderzoek, uitvoering experimenten op verschillende schaalniveau (lab, pilot, fulscale-demo etc) en/of
- momenten waarop sprake is van de realisatie van een succesvolle lab-, pilot- of praktijkdemo-installatie of prototype of eerste commerciële toepassing resp. marktintroductie en/of
- momenten waarop bepaalde R&D-activiteiten voorlopig worden stopgezet (bijv. bij achterwege blijven van succes of om andere redenen) en/of
- momenten waarop de beslissing is genomen om ander type R&D-activiteiten op te starten (bijv. bij succes: start van R&D-activiteit op hoger schaalniveau; bij onvoldoende succes: start van R&D-activiteit op lager schaalniveau)

Cases op niveau van individuele organisaties

In tabel 1 zijn alle verzamelde gegevens over de startjaren van de te onderscheiden perioden in het innovatietraject van een 10-tal ontwikkelingstrajecten van individuele organisaties (bedrijven en onderzoeksinstituten) of samenwerkingsverbanden daarvan opgenomen. Onderscheid wordt gemaakt tussen lab-scale experimenten, pilot scale experimenten full-scale demo experimenten en eerste marktintroductie. Tijdens de onderscheiden perioden vinden niet uitsluitend op het bijbehorende schaalniveau experimenten plaats. Gelijktijdig kunnen nog steeds ook experimenten op lagere schaalniveaus worden uitgevoerd. De onderscheiden perioden hebben dus betrekking op het **hoogste schaalniveau** waarop experimenten plaatsvinden.

Literatuuronderzoek en marktonderzoek zijn niet als aparte activiteiten onderscheiden. Ze zijn veelal kortdurend en/of vallen grotendeels samen met de perioden waarin de onderscheiden typen R&D-experimenten plaatsvinden

Bij het verzamelen van de gegevens bleek het soms zinvol om binnen de onderscheiden schaalniveaus nadere opsplitsingen te hanteren. In de tabel is zichtbaar dat bijv. bij stripcasting voor pilot-scale experimenten gebruik gemaakt worden van een kleinere en een grotere pilot-installatie.

Het moment waarop in een organisatie het idee naar voren komt om een ontwikkelingstraject op te starten is niet altijd eenvoudig te achterhalen. In veel gevallen gaat de ontwikkeling van een idee vrijwel direct vooraf aan de experimentele fase. Soms is er sprake van ideeën die na enkele niet-succesvolle experimenten resulteren in een nieuw idee t.a.v. de specifieke toepassing dat wel tot marktintroductie van een nieuwe technologie heeft geleid (zoals bij MPPE).

Van de startjaren die zijn aangegeven is niet altijd duidelijk of dit inclusief of exclusief de tijd is die nodig is om de experimenten voor te bereiden (zoals bijv. ontwerp en bouw van benodigde equipment). Bij full-scale demo experimenten en eerste marktintroductie zijn soms wel gegevens beschikbaar over startjaren van ontwerp, bouw en testen van de installaties en over het jaar waarin sprake is van de realisatie van een succesvolle full-scale demo of eerste marktintroductie. Overigens kan niet altijd scherp onderscheid worden gemaakt tussen een full-scale demo en een eerste marktintroductie. Als een full-scale demo experiment met succes wordt uitgevoerd en leidt tot de productie van een verkoopbaar product wordt dit soms beschouwd als de eerste commerciële toepassing (cq. marktintroductie). Dit is bijv. het geval bij MPPE en stripcasting.

Tabel 1 Startjaren van verschillende typen R&D-activiteiten en totale lengte ontwikkelingstraject
Historische casestudies op het niveau van een aantal individuele organisaties

Technologie	Sector toepassing	Ontwikkende organisatie (s)	Startjaar (deel)trajecten technologische innovatie										Totaal aantal jaren		
			Idee	Lab-scale exp*	Pilot-scale exp*		Full-scale demo			Eerste marktintroductie**					
							ontwerp + bouw	Testen	Succes	Ontwerp	bouw	testen	Succes	O	B
MPPE (Akzo Nobel)	-procewaterzuivering farmacie, coatings, (petro-)chemie -grondwaterzuivering	Chemisch bedrijf (toeleverancier) i.s.m. toepassers	92 (90 ^b)	92	93		94			94 = full-scale demo				2	
Stripcasting 1-Nippon/MHI 2-Usinor/Thyssen 3-AST/CSM 4-BHP/IHI	Staalproductie (gietsproces)	-staalproducent en machinebouwer -2 staalproducenten en 2 researchinst. -researchinst. , staalproducent en machinebouwer -staalprod en machinebouwer		85	86	88 (89 exp)	96	97	98	98 (zie full-scale demo)				13	13
				82	86	91 (89 bouw)		95	95						14
				85	86	91	97	97	99						13
				86	87 ^b	90	94		98						
Membraanfiltratie	Chemie	Chemisch bedrijf	93 eind	94	94-mnd 3		95	96	96	96				2	
Hycon Shell	Raffinaderijen (conversie raffinageresidu)	Raffinaderij	67	67	71			g1: 73 (Z) g3: 83 (Ven)	85	g4: 85 (NI)	g4: 86 (NI)	g1: 76 (J) g2: 81 (J) g4: 88 (eind) begin 89 succes g5: '92??	g1: 9 g2: 14 g3: 18 g4: 22 g5: 25?		
Shell High Activity Catalyst g3***	Chemie (polypropyleenproductie)	Chemisch bedrijf	g3: 60 patent Shell	ca. 68? o.b.v. patent Montecatini en Mitsui			84 (Australië)			85 (VS)	85	87	g3: 27		
High Activity Catalyst g1 t/m g3 buiten Shell***	Chemie (polypropyleenproductie)		g1: 52 g3: 60 patent Shell	g1: 53 g3: 68 patent Monte- catini en Mitsu			g1: 55			g1: 57 (Montecatini) g2: 73 (Solvay) g3: 80 (Montecatini en Mitsui)				g1: 5 g2: 21 g3: 12-20	
Bleachomatic	Textielindustrie (bleekproces)	Instituut, 6 textiel- bedrijven, apparaatprod.	89	89	91		92		93	93		94	5		

Vervolg tabel 1: Toelichting

- * Binnen de onderscheiden schaalniveaus kan een verdere opsplitsing worden gemaakt voor kleine en grote installaties of al dan niet met proces geïntegreerde equipment
- ** Op full-scale demo niveau en eerste marktintroductie kan nader onderscheid tussen start ontwerp, bouw en testen worden gemaakt.
- *** gegevens deels ontleend aan literatuur: Cerruti, 1999.

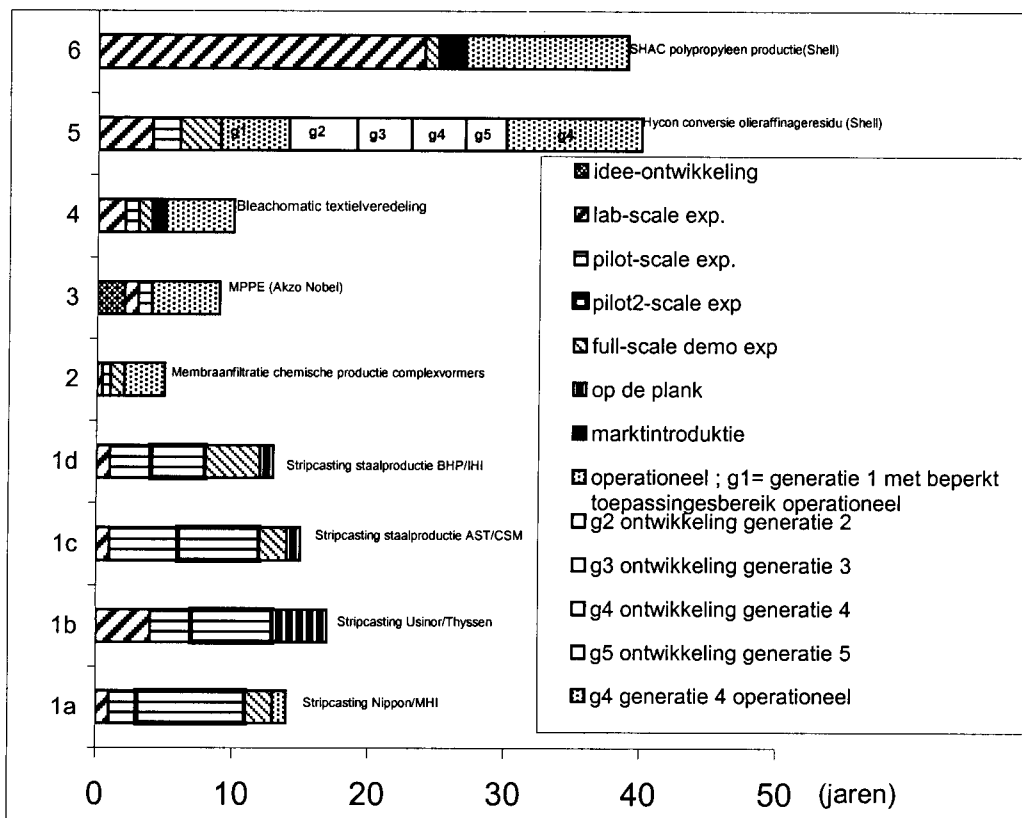
MPE (AKZO): a = in 1990 was het eerste idee om m.b.v. Macroporous Polymers in water gedispergeerde olie af te vangen, wat niet lukte
 Stripcasting BHP/IHI: b = Stratenus, 1998: p27 fig: 87 en p23 footnote: 89
 Hycon g1, g2 etc = er worden verschillende generaties technologieën binnen het totale ontwikkelingstraject onderscheiden die verschillen t.a.v. geschiktheid voor verwerking van qua samenstelling verschillende grondstoffen (raffinage-residuen); bij latere generatie breder toepassingsbereik
 opm g5: in '89 wordt in literatuur melding gemaakt van bereikte resultaten op pilot-nivo en ingeschat dat in '92 de volgende generatie commercieel beschikbaar zal zijn
 Katalysator g1, g2 etc: onderscheiden generaties katalysatoren die verschillen t.a.v. activiteit van de katalysator (latere generatie: hogere activiteit)
 (polypropyreenproductie) g3: 60: lab-scale act hebben geresulteerd in een patent in 1960 = basis voor g3, verdere optimalisatie (door verdere ontw op lab-scale?) heeft geresulteerd in patent 68

O = operationeel

B = bewezen full scale demo ('op de plank')

Bij het beschrijven van technologische ontwikkelingen zijn soms ook generaties van technologieën te onderscheiden, waarbij in latere generaties nog verdere ontwikkelingen hebben plaatsgevonden om de technologie voor het gehele productieproces toepasbaar te maken. Een voorbeeld is de Hycon van Shell, waarbij op beperkte schaal (voor grondstoffen waarbij samenstelling m.b.t. metalen- en zwavelgehalte en gewichtspercentage van oliefractie binnen bepaalde grenzen blijft) op zeker moment (binnen 9 jaar ontwikkelingstijd) al sprake is van commerciële toepassing. Vervolgens zijn experimenten op praktijkdemo- of pilot-scale uitgevoerd om de toepasbaarheid voor alle typen grondstoffen (oliefracties met andere samenstelling) te vergroten. Tot en met de vijfde generatie nam het totale ontwikkelingstraject zeker 25 jaar in beslag.

Op basis van gegevens uit tabel 1 is voor elke case de lengte van het innovatietraject en van de daarbinnen te onderscheiden perioden berekend. In figuur 3 worden de resultaten m.b.v. balkgrafieken gepresenteerd.



Figuur 3 Lengte van onderdelen van ontwikkelingstraject
Historische casestudies op het niveau van een aantal individuele organisaties

Cases op niveau van de technologie

In tabel 2 zijn per case op een meer geaggregeerd niveau de verzamelde gegevens opgenomen van ontwikkelingstrajecten op basis van de wereldwijde activiteiten van betrokken ontwikkelaars. Het gaat om gegevens die gebaseerd zijn op data over de belangrijkste ontwikkelingstrajecten, d.w.z. van organisaties die een centrale, dominante rol vervullen of vervuld hebben in de wereldwijde R&D-activiteiten. Er zijn per technologie meerdere belangrijke ontwikkelingstrajecten te onderscheiden die min of meer onafhankelijk van elkaar plaatsvinden elk met hun eigen startjaren en te onderscheiden perioden en momenten. In tabel 2a is per type R&D activiteiten het allereerste startjaar van die verschillende activiteiten weergegeven en het allereerste moment waarop sprake is van de realisatie van succesvolle installaties op verschillende schaalniveaus (dus ongeacht bij welke organisatie de R&D-activiteiten plaatsvinden). Ter aanvulling is in kader 7 een algemene beschrijving opgenomen van het ontwikkelingstraject van de stripcasting technologie (Stratenus, 1999).

Kader 7 Beschrijving ontwikkelingstraject stripcasting staalproductie (Stratenus, 1999)

Uitvinding in 1856 (eerste idee in 1846)

Stripcasting werd in 1856 bij toeval uitgevonden en in 1857 in een patent vastgelegd. Doel was niet om dunne i.p.v. dikke platen te gieten, maar om een continu gietproces te ontwikkelen (ter vervanging van het op dat moment toegepaste discontinue proces). Het idee hiervoor werd al in 1846 opgevat op basis van een patent dat betrekking had op productie van tinfolie en dunne loodplaten.

Start ontwikkeling vanaf 1980

Tussen jaar van uitvinding 1856 en 1980 (een periode van zo'n 124 jaar) zijn er weliswaar enkele researchactiviteiten geweest die waardevol zijn geweest voor het vergroten van de kennis t.a.v. stripcasting, maar deze researchactiviteiten zijn niet gericht geweest op het ontwikkelen van het stripcasting proces (het gieten van zeer dunne platen), net zomin als dat de uitvinder van de stripcaster voor ogen had een stripcasting technologie te ontwikkelen. Doelstelling was het ontwikkelen van een (variant van een) continu gietproces. De mogelijkheid van het gieten van zeer dunne platen was een (onbedoeld) nevenresultaat van deze researchactiviteiten. In 1946 wordt voor het eerst een continu gietproces ontwikkeld. Dit proces werkte niet op basis van 1 of 2 draaiende rollen (kenmerkend voor stripcaster), maar met behulp van een stationaire, verticale gietvorm. Er konden alleen dikke platen mee gegoten worden. T.b.v. staalproductie werden er vanaf dat moment nog nauwelijks researchactiviteiten gericht op stripcasting als zijnde een alternatief continu gietproces. (In de aluminiumindustrie daarentegen werd de technologie wel als veelbelovend beschouwd, o.a. vanwege lagere technologische en economische drempels (lagere temperatuur en lagere eisen t.a.v. rendement). Tussen 1950 en 1980 (dus binnen een periode van 30 jaar) ontwikkelden verschillende bedrijven een twin roll caster voor aluminium strip.

De research in de staalindustrie werd gericht op de verdere ontwikkeling van het op dat moment beschikbare continue gietproces (op basis van stationaire verticale gietvorm) Eind zeventiger jaren was dit proces behoorlijk geoptimaliseerd. Op dat moment was er in de staalproductie behoefte aan verdere verlaging van de kosten. Er waren slechts enkele mogelijkheden om het gietproces dusdanig te vernieuwen dat een behoorlijke besparing op kosten (energie, transport, opslag en rente). Stripcasting was een van die mogelijkheden naast thin slab-casting. Stripcasting is een complexer productieproces in vergelijking tot thin-slab casting (waarbij nog steeds hete verwalsing nodig is) maar brengt ook aanzienlijk grotere reducties in tijd en energie (en dus kosten) met zich mee

Tussen 1980 en 1985 is er sprake van een massale explosie van researchactiviteiten: er is vastgesteld dat er zo'n 100 pogingen zijn geweest van diverse onderzoeksgroepen om de ontwikkeling van stripcasting ter hand te nemen. In die periode zijn de meeste van de gestarte activiteiten stopgezet. Er zijn zo'n 11 belangrijke ontwikkelingstrajecten te onderscheiden, 8 daarvan lopen nog steeds.

Voor een overzicht van de verschillende trajecten: figuur 1 p27 Stratenus, 1999

Tabel 2a Startjaren en lengte van verschillende typen R&D-activiteiten
Historische casestudies op het niveau van een specifieke technologie

Technologie	Sector Toepassing	Startjaren (delen van) innovatietrajecten															
		Idee		Lab-scale exp	Pilot-scale exp			Full-scale demo		Succes fulldemo	operat ioneel	Aantal jaren					
								*	**	totaal	i-l	l-p	p-f		f-b		
Stripcasting (Stratenus, 1999)	Staal-Productie	1846 1856: patent	80	82 (1,2,3)	84 (1,5,11)		89 (6)	94 (10)	98 (6)	98 (6)	18 (>11 act.) 16 (11 act.) 14 (actor 6)	2	2	5	5	4	
												2	3	7	7	1	
Impulsdroger (Luiten et al, 1998)	Papier-Productie	71		71 (1)	85 (2)* 78**	88 (2)	95 (2)	98 mogelijk bij (2) en (3)			>27 >13 (2)	0	14	3	7	3... mogelijk 3...	?
Kolenvergas sing (Harmsen, mondelinge mededeling)	Electriciteit-Productie	73		73 ^b	73			78	84	97	98?	25	0	5	7	13	

Toelichting

Kolenvergassing:

^b ondersteunend aan pilot experimenten

Impulsdroger:

* losse pilot impulsdroger (niet geïntegreerd in papiermachine);

** in 1978 een eerste experiment op losse pilot impulsdroger (patent), product van zeer slechte kwaliteit; vervolgens tot 1985 geen activiteiten op pilot scale niveau

Stripcasting:

Armco is niet opgenomen in tabel

i-l: periode tussen startjaar idee en startjaar lab-scale experimenten

l-p: periode tussen startjaar lab-scale en startjaar pilot-scale experimenten

p-f: periode tussen startjaar pilot-scale en startjaar ful scale demo experimenten

f-b: periode tussen startjaar ful scale demo experimenten tot jaar waarin deze met succes worden afgesloten ('beschikbaar')

getallen tussen haakjes refereren aan een ontwikkelaar

Tabel 2b Variatie in aantallen ontwikkelaars en lengte van (delen van) ontwikkelingstraject bij stripcasting (ontleend aan Stratenus, 1999)

	Start lab-scale exp			Start pilot 1 scale exp			Start pilot-2 scale exp			Start ful scale demo exp			Beschikbaar	
	Periode	Totale lengte periode starten van activiteiten(jr)	variatie in lengte periode per actor (jr)	Periode	Totale lengte periode starten	Variatie lengte perioden per actor (jr)	Periode	totaal lengte periode starten	Variatie perioden per actor (jr)	Periode	totaal doorlooptijd (jr)	variatie perioden per actor (jr)	*	**
Aantal ontwikkelaars														
11	'82-'89	7	1 tot 4	'84-'91	7	2 tot 13								
9 ^a						2 tot 8	'89 - '94	5	3 tot 9					
8 ^b									3 tot 9					
4 ^c									4 tot 7	'94-'97	3	2 tot 5		
3 ^d												2 tot 5	'99	
1 ^d												2	'98	'98

^a: totaal 9 ontwikkelaars: 2 van de 11 ontwikkelaars van actoren blijven uitsluitend op pilot-scale 1 niveau experimenten uitvoeren (doel is ervaring opdoen met technologie, zodat als de technologie commercieel beschikbaar komt genoeg kennis is opgebouwd om technologie te implementeren; doel is niet om zelf stripcaster te ontwikkelen)

^b: totaal 8 ontwikkelaars: 2 van de 9 resterende ontwikkelaars zijn tussen in '91 samengegaan

^c: totaal 4 ontwikkelaars: van de resterende 8 ontwikkelaars:

- 2 stoppen in 1995 met de pilot-scale 2 activiteiten
- 1 voert in '99 nog steeds pilot 2 exp uit om 'bij te blijven' en dus niet om verder op te schalen en
- van 1 ontwikkelaar is onduidelijk of ze nog activiteiten ontwikkelen (het grote staalbedrijf dat tussentijds (1994) interesse toonde om deze technologie evt. toe te gaan passen heeft intussen (1996) besloten dat niet te doen).

^d: van de resterende 4 ontwikkelaars

- 3 zitten tegen commercialisatie aan: ze hebben zich bewezen op full-scale demo volgens ontwikkelaars; technologie ligt 'op de plank' (stap naar marktintroductie kan gezet worden)
- 1 ontwikkelaar is erin geslaagd tot commerciële toepassing te komen

* = bewezen op full-scale demo niveau

** = operationeel

In tabel 2b zijn voor 1 case (stripcasting) gegevens opgenomen die een indruk geven van de variatie die tussen de verschillende actoren kan optreden t.a.v. de lengte van de onderscheiden perioden in het innovatietraject. Wat opvalt is dat ontwikkelaars verschillende doelstellingen kunnen hebben om R&D-activiteiten uit te voeren. Het is niet vanzelfsprekend dat alle ontwikkelaars als doel hebben een technologie tot en met de commerciële toepassing te ontwikkelen. Uit de case over stripcasting blijkt dat drie van de elf oorspronkelijke ontwikkelaars experimenten op pilot scale niveau uitvoeren met het doel kennis over de technologie op peil te houden. Deze ontwikkelaars zijn potentiële toepassers die zich snel de technologie eigen kunnen maken zodra de technologie door activiteiten van andere ontwikkelaars commercieel beschikbaar komt. Voor het vaststellen van de gemiddelde lengte van een ontwikkelingstraject zouden de data gebaseerd op activiteiten van deze ontwikkelaars na de lab scale activiteiten niet meer meegenomen moeten worden.

3.3 Conclusies

3.3.1 Totale lengte ontwikkelingstrajecten

Een eerste conclusie uit tabel 1 en 2a is dat bij deze casestudies de lengte van het totale ontwikkelingstraject varieert van 2 tot >27 jaar. De fysieke inpasbaarheid van een technologie lijkt op het eerste gezicht bepalend te zijn voor de lengte van de trajecten. Bij de 3 casestudies gericht op technologieën die makkelijk aan het huidige systeem toe te voegen cq. in te passen zijn (cases 2, 3 en 4 uit kader 6) varieert de ontwikkelingstermijn van 2 tot 5 jaar. Bij de casestudies gericht op ontwikkelingen van nieuwe onderdelen van productieprocessen (1, 5, 7 en 8 uit kader 6) zijn er wat grotere verschillen. Bij stripcasting varieert de termijn voor de door vier individuele organisaties gerealiseerde ontwikkelingstrajecten van 12 tot 14 jaar. Uit de andere cases blijkt dat de ontwikkeling van een nieuw onderdeel van een productieproces ook aanzienlijk langer kan duren, variërend van 25 tot >27 jaar. In twee van de drie cases betreft het geheel nieuwe technologieën die moeten resulteren in praktijkinstallaties van een behoorlijk grote omvang (het Hyconproces van Shell en de kolenvergassingstechnologie). Stripcasting is een proces dat ook resulteert in installaties van een behoorlijke fysieke omvang, maar met deze technologie was al gedurende een langere periode ervaring opgedaan in andere toepassingen (aluminiumproductie). De impulsdroger heeft een minder grote fysieke omvang van de praktijkinstallaties dan de Hycon en kolenvergassingsinstallaties. Het betreft wel een nieuwe technologie waarvoor ook veel nieuwe basiskennis moest worden opgebouwd bij de ontwikkelaars (machinebouwers). Tevens is typisch voor deze ontwikkeling dat de potentiële toepassers nauwelijks bij de ontwikkeling betrokken (willen) zijn. Dit kan mogelijk verklaren waarom het traject al ruim 27 jaar in beslag neemt en pas in 1998 heeft geleid tot de succesvolle realisatie van twee pilot scale experimenten bij twee verschillende ontwikkelaars. Het traject is dus nog niet geheel doorlopen. Op dit moment zijn de ontwikkelaars op zoek naar een toepasser die een full-scale demo experiment wil uitvoeren. Bij de case die de ontwikkeling van een nieuw proces illustreert (case 6 in kader 6: nieuw proces voor polypropyleenproductie t.g.v. de ontwikkeling van een nieuwe katalysator) blijkt dat de ontwikkelingstijd in dit specifieke geval ca. 27 jaar bedraagt.

Samenvattend kan grofweg onderscheid gemaakt worden tussen technologieën die een redelijke tot grote mate van compatibiliteit vertonen met het huidige technologische systeem en technologieën waarbij dat veel minder het geval is. De eerste categorie technologieën heeft ontwikkelingstrajecten met een lengte van 2 tot <20 jaar en de tweede categorie van >20 jaar.

3.3.2 Niveau van analyse

De case over stripcasting geeft een aanwijzing dat bij een analyse op een hoger aggregatieniveau de totale termijn in geringe mate afwijkt van de termijnen die afgeleid worden uit casestudies die op niveau van individuele organisaties zijn gebaseerd. Op meer geaggregeerd niveau van de technologie (als gemiddelde van de verschillende trajecten t.g.v. de wereldwijde activiteiten van de belangrijkste 11 individuele ontwikkelaars) bedraagt deze termijn volgens tabel 2b 16 jaar. Uit de case studies gericht op individuele organisaties bedraagt deze termijn 12 tot 14 jaar, dus gemiddeld 13 jaar. Dat is dus een afwijking van ca. 20%. Dit beeld wordt bevestigd door de case over de ontwikkeling van een nieuwe katalysator voor de polypropyleenproductie. Naast Shell waren ook enkele andere ontwikkelaars op dit gebied actief (zie tabel 1). Bij Shell nam de ontwikkeling ca 27 jaar in beslag. Op niveau van de technologie heeft het traject ca. 30 jaar geduurd.

Bij de ontwikkeling van de impulsdroger is de afwijking tussen beide analyseniveaus aanzienlijk groter. Daar bedraagt de ontwikkelingstermijn tot en met de succesvolle realisatie van een pilot plant op niveau van de technologie 27 jaar, maar op niveau van een individuele ontwikkelaar (nr 2 = Beloit) circa 13 jaar (tabel 2a).

Een verklaring voor de langere doorlooptijd op het niveau van de technologie is dat de organisatie waar de ontwikkeling start niet dezelfde hoeft te zijn als de organisatie waar de eerste marktintroductie plaatsvindt. De laatste kan veel later van start zijn gegaan met de ontwikkeling en profiteren van reeds elders opgebouwde kennis en daardoor relatief sneller het einddoel bereiken. Het analyseren van ontwikkelingstrajecten op het niveau van enkele individuele organisaties geeft in deze gevallen een (veel) te optimistisch beeld van het totale ontwikkelingstraject. In andere gevallen kan een dergelijke analyse een te pessimistisch beeld geven, afhankelijk van de gekozen specifieke organisatie.

Samenvattend levert een analyse op het niveau van een technologie een betere benadering op van de lengte van een ontwikkelingstraject, omdat deze onafhankelijk is van de voortgang bij specifieke individuele organisaties.

3.3.3 Lengte onderscheiden perioden van R&D-activiteiten

Tabel 3a geeft een overzicht van het tijdsbeslag in jaren van verschillende typen R&D-activiteiten die in de casestudies onderscheiden kunnen worden. Het is niet goed mogelijk om een eenduidige conclusie te trekken ten aanzien van de tijd die verschillende typen R&D-activiteiten relatief ten opzichte van elkaar in beslag nemen. Allereerst valt op dat niet altijd alle typen R&D-activiteiten (o.b.v. verschillende schaalniveaus) voorkomen. Bijvoorbeeld in de case die betrekking heeft op de ontwikkeling van een nieuwe katalysator voor de polypropyleenproductie bestaat een groot deel van de research uit lab-scale experimenten die meteen worden gevolgd door een full-scale demo experiment. De case over kolenvergassing is daarentegen meteen gestart met pilot-scale experimenten. Lab-scale experimenten hebben wel plaatsgevonden, maar uitsluitend ondersteunend aan de pilot-scale experimenten.

Tabel 3a: Tijdsbeslag van verschillende typen R&D-activiteiten (in jaren) in een aantal historische casestudies

	Idee	lab-scale (incl. idee)	lab (incl. idee) + pilot- scale	pilot-scale	full-scale demo	full-scale demo + marktintro	Marktintro	Som i,l,p,f,m
Mppe	2	3	4	1	1	1	0	5
strip1	0	1	11	10	2	2	0	13
strip2	2	4	14	10	4	4	0	18
Mem	0	0.25	1	0.75	1	1	0	2
Bleach	0	2	3	1	1	2	1	5
Impuls	0	14	27	13	?	?	?	>27
hycon g1	0	4	6	2	1	3	2	9
Shac	8	24	24	0	1	3	2	27
Kolen	0	0	11	11	13	14	1	25

Toelichting: strip 2, impuls en kolen: zie tabel 2a
mppe, strip1, mem, bleach, hycon g1 en shac: zie tabel 1

Grofweg kunnen voor alle casestudies twee perioden van R&D-activiteiten onderscheiden worden. In de eerste periode vinden activiteiten op ofwel lab-scale (inclusief eventuele idee-ontwikkeling) ofwel pilot-scale ofwel beide niveaus plaats. In de tweede periode vinden full-scale demo experimenten plaats die bij succes ófwel direct uitmonden in eerste toepassing in de praktijk ófwel gevolgd worden door een periode van marktintroductie. R&D-activiteiten op lab- en pilot-scale niveau nemen tezamen in totaal bij deze casestudies tussen de 1 en 24 jaar in beslag. De ontwikkelingstermijn van full-scale demo experimenten en marktintroductie samen ligt voor deze casestudies tussen 1 en 14 jaar. Uit tabel 3b blijkt dat gemiddeld geldt dat grofweg 69% van het totale ontwikkelingstraject voor rekening is van R&D-activiteiten op lab- en pilot-scale niveau. De rest van het tijdsbeslag (circa 31%) is voor rekening van full-scale demo experimenten en marktintroductie. Daar zit wel enig spreiding in: voor beide typen activiteiten bedraagt de standaarddeviatie circa 17%.

Tabel 3b: Tijdsbeslag van lab- + pilot-scale experimenten en van full-scale demo experimenten + marktintroductie in een aantal historische casestudies (als aandeel in totale ontwikkelingstraject)

	lab- (incl. idee) + pilot-scale	full-scale demo + marktintro	som i,l,p,f,m
mppe	0.80	0.20	1.00
strip1	0.85	0.15	1.00
strip2	0.78	0.22	1.00
mem	0.50	0.50	1.00
bleach	0.60	0.40	1.00
hycon g1	0.67	0.33	1.00
shac	0.89	0.11	1.00
kolen	0.44	0.56	1.00
Gemiddeld	0.69	0.31	1.00
Stdev	0.17	0.17	
70%	0.52	0.48	
	0.86	0.48	

Toelichting: strip 2 en kolen: zie tabel 2a
mppe, strip1, mem, bleach, hycon g1 en shac: zie tabel 1

Bij de casestudies waar lab- en pilot-scale experimenten afzonderlijk en na elkaar plaatsvinden blijkt dat de periode van R&D-activiteiten op lab-scale niveau varieert tussen 0.25 en 4 jaar, terwijl de periode van R&D-activiteiten op pilot-scale niveau varieert tussen 1 en 14 jaar. Uit tabel 3c blijkt dat gemiddeld genomen bij deze cases van het totale ontwikkelingstraject circa 28% voor rekening is van R&D-activiteiten op lab-scale niveau en circa 42 % voor rekening van pilot-scale demo experimenten. De standaarddeviaties zijn daarbij respectievelijk 22 en 24%.

Tabel 3c: Tijdsbeslag van lab-scale experimenten en van pilot-scale in een aantal historische casestudies (als aandeel in totale ontwikkelingstraject)

	lab-scale (incl. idee)	pilot-scale
mppe	0.60	0.20
strip1	0.08	0.77
strip2	0.22	0.56
mem	0.13	0.38
bleach	0.40	0.20
Gemiddeld	0.28	0.42
stdev	0.22	0.24
70%	0.07	0.18
	0.50	0.66

Toelichting: strip 2: zie tabel 2a
mppe, strip1, mem, bleach: zie tabel 1

Onbekend is in hoeverre het geschetste beeld algemeen geldig is. Om hierin meer duidelijkheid te verschaffen is uitvoering van meer casestudies nodig.

3.4 Betekenis resultaten casestudies voor prognoses

Totale lengte van (delen van) ontwikkelingstrajecten

Op basis van de uitgevoerde casestudies lijkt de totale lengte van het ontwikkelingstraject sterk samen te hangen met de mate van compatibiliteit van de nieuwe technologie met het huidige technologische systeem. Meest bepalend voor de mate van compatibiliteit is de fysieke inpasbaarheid van de technologie. Daarnaast zijn ook de nieuwheid van een technologie en de mate waarin ontwikkelaars de benodigde basiskennis en vaardigheden bezitten dan wel zich deze snel eigen kunnen maken van belang. Bij technologieën met een grote tot redelijke mate van compatibiliteit ligt de totale ontwikkelingstermijn tussen 2 en 20 jaar. In andere gevallen kan de ontwikkelingstijd aanzienlijk langer zijn (tussen 21 en 50 jaar).

Wat betreft de tijd die verschillende typen R&D-activiteiten relatief ten opzichte van elkaar in beslag nemen is het wat lastiger op basis van de casestudies een eenduidige conclusie te trekken. Gemiddeld geldt dat grofweg 70% van het totale ontwikkelingstraject voor rekening is van R&D-activiteiten op lab- en pilot-scale niveau tezamen. De rest van het tijdsbeslag (circa 30%) is voor rekening van full-scale demo experimenten en marktintroductie samen. Bij casestudies waar lab- en pilot-scale experimenten afzonderlijk en na elkaar plaatsvinden blijkt dat grofweg van het totale ontwikkelingstraject 30% voor rekening is van R&D-

activiteiten op lab-scale niveau en 40 % voor rekening van pilot-scale experimenten. De gevonden gemiddelde basiswaarden kunnen met de bijbehorende standaarddeviatie voor prognosedoeleinden gebruikt worden (zie paragraaf 4.3)

Ontwikkelingsstadium van een technologie

Een analyse op het niveau van een technologie levert een betere benadering op van de lengte van een ontwikkelingstermijn, omdat deze onafhankelijk is van de voortgang bij specifieke individuele organisaties. Bovendien hoeft hiervoor alleen vastgesteld te worden in welk jaar voor het eerst experimenten op een bepaald schaalniveau gestart zijn en verder voortgang hebben gevonden. Het is niet nodig de innovatietrajecten van alle belangrijke ontwikkelaars tot in detail te bestuderen. Het vaststellen van het ontwikkelingsstadium van een technologie kan dus het beste op niveau van een technologie vastgesteld worden.

Het simpelweg constateren dat op zeker moment pilot-scale experimenten worden uitgevoerd voor een specifieke technologie zegt nog niets over het ontwikkelingsstadium van die technologie. Belangrijk is op welk experimenteel schaalniveau tot nu toe met succes experimenten zijn gerealiseerd. Een voorbeeld is de ontwikkeling van de impulsdroger, waarbij al in 1978 een eerste pilot scale experiment plaats vond. De productkwaliteit was echter ver onder de maat. Verdere ontwikkeling gebeurde vooral op lab-scale. Pas in 1985 werden pilot-scale experimenten opgestart die meer succesvol verliepen en daarom voortgezet werden.

Binnen een experimenteel schaalniveau kunnen tevens gradaties onderscheiden worden op basis van bijvoorbeeld het aantal tot op heden met succes gerealiseerde experimenten.

Technologische drempels

Deels kan uit de lengte van het reeds afgelegde technologietraject afgeleid worden hoe groot de technologische drempels zijn. Als er tot nu toe gedurende een relatief langere tijd zonder succes experimenten bijvoorbeeld op lab-scale niveau zijn uitgevoerd betekent dit dat de technologische drempels tamelijk hoog zijn. Ondanks de reeds verstreken termijn staat de technologie nog in de kinderschoenen en dus aan het begin van het betreffende schaalniveau (dit heeft dus ook een relatie met het hiervoor besproken ontwikkelingsstadium). Een voorbeeld van een dergelijke technologie is kernfusie.

4. Aanzet tot een methodiek

4.1 Ontwikkeling van een conceptueel model.

Uit hoofdstuk 2 blijkt dat de kans waarmee en de termijn waarop een technologie in ontwikkeling tot eerste marktintroductie komt samenhangt met de karakteristieken van die technologie en van de sociale omgeving waarin die technologie zich ontwikkelt. De sociale omgeving omvat de verschillende typen maatschappelijke groeperingen (actoren) die de ontwikkeling en eerste toepassing van een nieuwe technologie beïnvloeden. Dit zijn bijvoorbeeld bedrijven of onderzoeksinstituten die research uitvoeren om de technologie te ontwikkelen alsook bedrijven die een nieuwe technologie in potentie kunnen gaan toepassen. Andere voorbeelden van actoren zijn de overheid en maatschappelijke organisaties (milieubeweging, werknemersorganisaties, etc). De verschillende karakteristieken van de technologie en van de sociale omgeving zijn geaggregeerd tot een 8-tal drijvende krachten (zie kader 5 in hoofdstuk 2). De krachten zijn niet onafhankelijk van elkaar.

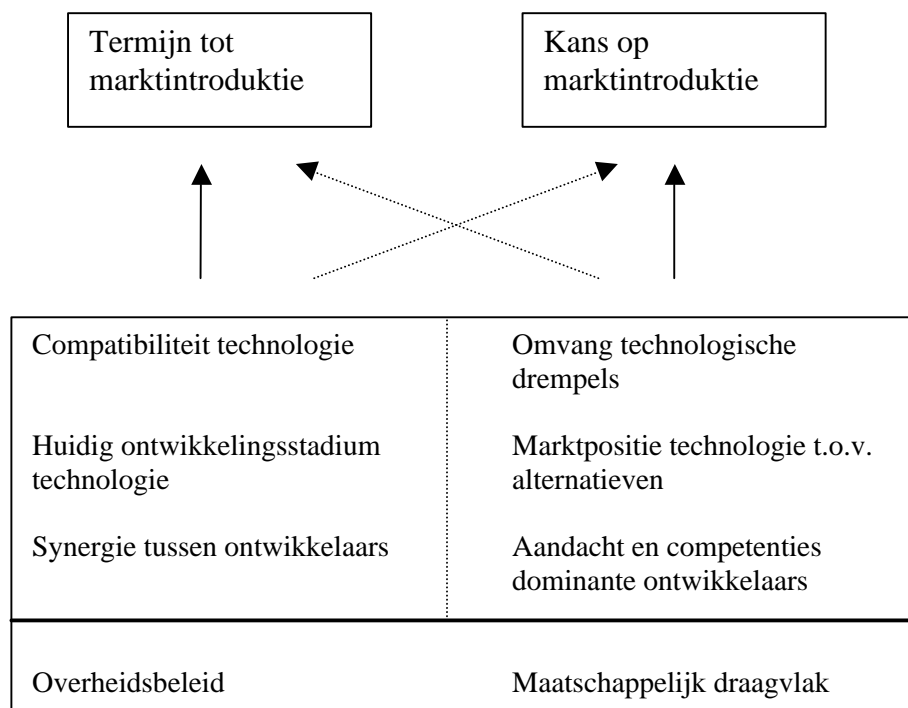
Om een eerste aanzet tot praktische toepassing van deze inzichten t.b.v. prognoses in het kader van MV te maken is het nodig in te schatten welke van de krachten het meest samenhangen met de *kans* dat een technologie x tot doorbraak komt en welke met de *termijn* waarop dit gebeurt.

Figuur 4.1 presenteert in een eenvoudig conceptueel model de relaties tussen de verschillende krachten. Hierin hangen de krachten die gerelateerd zijn aan specifieke karakteristieken van de technologie in wisselwerking met de krachten gerelateerd aan de ontwikkelaars en verschillende marktpartijen (o.a. de potentiële toepassers) direct samen met de kans waarmee en de termijn waarop een technologie x tot doorbraak komt. Overheidsbeleid en maatschappelijk draagvlak werken meer indirect en zijn in de andere krachten verdisconteerd.

De kans op doorbraak hangt in eerste benadering hoofdzakelijk samen met de omvang van de technologische drempel, de marktpositie van de technologie en de aandacht en competenties van ontwikkelaars. Een hogere technologische drempel, een slechte marktpositie van de beschouwde technologie t.o.v. concurrerende technologieën en een geringe mate van aandacht en competenties van ontwikkelaars t.o.v. de aandacht en competenties voor concurrerende technologieën verkleinen de kans. Dit betekent niet dat de andere krachten geen invloed hebben op de kans, maar verondersteld is dat deze invloed in eerste benadering verwaarloosbaar is.

De lengte van de termijn tot doorbraak hangt sterk samen met de compatibiliteit van de technologie. Een geheel nieuw technologisch systeem (inclusief nieuwe kennisbasis) ontwikkelen met grotendeels nieuwe productiestappen (ook bij toeleveranciers en afnemers) kost veel meer tijd dan een nieuw onderdeel ontwikkelen (bijv. een nieuw type luchtfilter) dat al in een andere sector een toepassing kent en dat aan een bestaand systeem toegevoegd kan worden zonder enige noemenswaardige wijzigingen in het huidige systeem aan te brengen. Het reeds bereikte ontwikkelingsstadium geeft aan hoe ver de ontwikkeling in het totale traject al gevorderd is. Hieruit kan de resterende ontwikkelingstermijn afgeleid worden. Vervolgens kan de synergie tussen de ontwikkelaars en de te ontwikkelen kennis en vaardigheden bij toepassers hierop nog corrigerend werken. Een geringe mate van synergie door bijv. grote belangentegenstellingen tussen ontwikkelaars en toepassers werkt mogelijk vertragend op de snelheid van ontwikkeling, waardoor de resterende termijn langer kan

worden. Ook hier geldt dat de andere krachten mogelijk ook van invloed zijn op maar dat verondersteld is dat deze invloed in eerste benadering verwaarloosbaar is.



Figuur 4.1 Krachten van invloed op termijn tot en kans op marktintroductie van technologie in ontwikkeling

Benadrukt wordt dat figuur 4.1 een momentopname van de drijvende krachten achter technologieontwikkeling (een 'toestand' van technologieontwikkeling) representeert. In de werkelijkheid is er in de loop van de tijd sprake van allerlei feedback mechanismen en onderlinge wisselwerkingen.

Een aantal voorbeelden. Nieuwe inzichten over maatschappelijk ongewenste neveneffecten van de technologie leiden er bijv. toe dat het maatschappelijk draagvlak vermindert. Dit kan vervolgens leiden tot nieuwe of aangescherpte regelgeving binnen het overheidsbeleid gericht op vermindering dan wel teniet doen van deze neveneffecten. Gevolg kan zijn dat het maatschappelijk draagvlak weer groter wordt. Een ander gevolg kan zijn dat er een verandering in de marktpositie van de technologie optreedt, doordat onder invloed van regelgeving bijvoorbeeld de marktvoorkeur en het technologieaanbod beter op elkaar afgestemd raken.

Beleid kan het maatschappelijk draagvlak ook vergroten door bijv. subsidies op ecoproducten of door compenserende maatregelen (geluidsisolatie, ongemaktoeslag). Een ander voorbeeld van een wisselwerking tussen de krachten is dat de ontwikkelingen in de marktpositie van een technologie van invloed zijn op de inzet (aandacht en competenties) die ontwikkelaars willen plegen t.a.v. de verdere ontwikkeling van een technologie.

Beoordeling van een specifieke technologische ontwikkeling middels het toekennen van kwalificaties aan de krachten leidt tot een inschatting van de kans op en termijn tot eerste marktintroductie. Met name bij de kracht marktpositie van de technologie moet voor het beoordelen van de mate waarin vraag en aanbod op elkaar zijn afgestemd moeten een aantal zaken die hierop betrekking hebben tegen elkaar afgewogen worden. Bij aanbod betreft het

4.2 Prognose van technologieontwikkeling in Milieuverkenningen

In het algemeen geldt dat technologieontwikkeling een internationaal gebeuren is en meestal niet aan landsgrenzen is gebonden. Toekenning van kwalificaties aan de drijvende krachten gebeurt daarom zoveel mogelijk in deze internationale context. Dit levert een indicatie op van de kans waarmee en de termijn waarop een technologie ergens ter wereld tot doorbraak komt.

Voor de MV is het van belang in te schatten wat de betekenis kan zijn van toekomstige technologische ontwikkelingen voor de ontwikkeling van de milieudruk in Nederland en welke rol het (Nederlandse) overheidsbeleid hierin kan spelen. Om het maken van een dergelijke inschatting te operationaliseren is het volgende nodig:

- inzicht in veranderingen in de kwalificaties van de drijvende krachten t.g.v. de vertaling van de internationale naar de Nederlandse context
- inzicht in veranderingen in kwalificaties van de drijvende krachten onder invloed van economische ontwikkelingen (zoals bijv. beschreven in CPB-scenario's), zowel in de nationale als de internationale context
- inzicht in de samenhang tussen de drijvende krachten en potentieel extra in te zetten typen (nationale) beleidsinstrumenten alsook in de effectiviteit van dat extra beleid

4.2.1 Vertaling naar de Nederlandse context

Er kunnen redenen zijn om de drijvende krachten in een nationale (of Europese) context anders te kwalificeren dan in een mondiale context.

Van de drie drijvende krachten die samenhangen met de kans op doorbraak is de technologische drempel hetzelfde op mondiaal of nationaal niveau. Wel kan er sprake zijn van een betere (of slechtere) marktpositie van de technologie in NL of EU, doordat de marktvaart in de nationale context beter (of slechter) aansluit bij het aanbod dan gemiddeld het geval is op mondiaal niveau. In een nationale context kan de kwalificatie van de marktvaart bijvoorbeeld o.i.v. het nationale beleid of het nationale maatschappelijke draagvlak afwijken van de mondiale kwalificatie. Ook wat betreft de aandacht en competenties van ontwikkelaars kan de kwalificatie voor Nederland anders zijn dan de gemiddelde mondiale kwalificatie. Deze kwalificatie kan beter zijn als er bijvoorbeeld in Nederland een dominante en competente toepasser is die zelf in de ontwikkeling van de technologie investeert (middels onderzoek) of als er dominante en competente ontwikkelaars (binnen of buiten NL) zijn die toeleveren aan Nederlandse toepassers.

Als de kwalificatie van de marktpositie van een technologie in Nederland slechter is dan in een mondiale context en/of als Nederland nauwelijks bij de ontwikkeling is betrokken dan is de kans groot dat de technologie buiten NL tot doorbraak komt. Dan is een inschatting nodig van de termijn die nodig is voor diffusie van de technologie naar Nederland boven op de inschatting van de termijn waarop op mondiaal niveau (buiten Nederland) een doorbraak kan optreden.

Ook t.a.v. de termijn tot doorbraak kan gelden dat op basis van kwalificaties van de achterliggende drijvende krachten in de Nederlandse context deze korter of langer kan zijn dan de termijn die afgeleid wordt op basis van kwalificaties van de drijvende krachten in een internationale context. Er kan bijv. sprake zijn van een grotere mate van compatibiliteit in NL t.g.v. het feit dat ontwikkeling van vereiste niveau van kennis en vaardigheden hier geen obstakel vormt, maar elders wel. Of van een grotere mate van synergie tussen ontwikkelaars

in NL t.o.v. de rest van de wereld. Het ontwikkelingsstadium is in de nationale context hetzelfde als in de internationale context.

In tabel 4.2 is samengevat voor welke drijvende krachten (en onder welke omstandigheden) kwalificaties in een nationale context kunnen afwijken van die in een internationale context.

Tabel 4.2 Drijvende krachten waarvan kwalificaties in een nationale context kunnen afwijken van die in een internationale context

	Drijvende kracht	Mogelijk afwijkende kwalificatie in een nationale context	Voorbeelden van mogelijke overwegingen
KANS	Omvang technologische drempel	Nee	n.v.t
	Marktpositie technologie	Ja	Marktvraag in nationale context sluit beter dan wel slechter aan op aanbod, bijv. o.i.v. huidige nationale beleid of maatschappelijk draagvlak
	Aandacht en competenties dominante ontwikkelaars	Ja	Aanwezigheid dan wel afwezigheid dominante en competente Nederlandse toepasser die in ontwikkeling investeert Aanwezigheid dan wel afwezigheid van dominante en competente ontwikkelaars (binnen of buiten NI) die toeleveren aan Nederlandse toepassers
TERMIJN	Compatibiliteit technologie	Ja (m.b.t. ontwikkeling kennis en vaardigheden)	Ontwikkeling vereiste niveau kennis en vaardigheden in Nederland makkelijker dan wel moeilijker dan elders
	Synergie ontwikkelaars	Ja	Synergie tussen ontwikkelaars die deel uitmaken van dan wel toeleveren (kennis of apparaten) aan Nederlandse markt sterker dan wel zwakker dan die tussen ontwikkelaars die opereren op buitenlandse markten
	Ontwikkelingsstadium	Nee	n.v.t.

4.2.2 Verschuivingen kwalificaties drijvende krachten in CPB-scenario's

De potentiële toekomstige ontwikkelingen van een technologie zijn afhankelijk van de kwalificaties van de drijvende krachten in het heden en in de toekomst. T.a.v. de toekomstige kwalificaties kunnen vele mogelijke combinaties optreden. Door gebruik te maken van de scenariomethodiek kan het aantal mogelijke toekomstige wijzigingen in de huidige kwalificaties van de drijvende krachten beperkt blijven.

In MV-kader wordt gebruik gemaakt van CPB-scenario's. In deze scenario's zijn veronderstellingen over algemene maatschappelijke drijfveren en trends opgenomen. Ook zitten er veronderstellingen in over de snelheid en de kans waarmee nieuwe technologische ontwikkelingen in het algemeen tot eerste marktintroductie kunnen leiden. Bij het inschatten van de verschuivingen in kwalificaties van de drijvende krachten achter de ontwikkeling van een specifieke technologie o.i.v. de CPB-scenariocontexten is het mogelijk om op verschillende manieren met deze veronderstellingen om te gaan. Eén benadering kan zijn dat de kwalificaties van alle drijvende krachten kunnen wijzigen. Een andere benadering

is te veronderstellen dat technische karakteristieken van specifieke technologieën, zoals ontwikkelingsstadium, technologische drempel, potentiële performanceverbeteringen en mate van fysieke inpasbaarheid in het huidige technologische systeem veranderen als gevolg van activiteiten die actoren ontplooiën (bijv. researchactiviteiten van ontwikkelaars). M.a.w. de potentiële ontwikkelingen van de technische karakteristieken zijn dan niet exogeen, zoals in de eerste benadering. Ze worden juist verklaard vanuit de ontwikkelingen in de meer actorgerelateerde drijvende krachten en zijn dus endogeen. Die actorgerelateerde drijvende krachten zijn de drijvende krachten die gerelateerd zijn aan de algemene karakteristieken van de actoren die direct bij een technologische ontwikkeling betrokken zijn (dus de actoren in de productieketen: de ontwikkelaars, potentiële toepassers en de toeleveranciers en afnemers van die toepassers). Tabel 4.3 beschrijft hoe in deze tweede benadering de kwalificaties van de drijvende krachten veranderen onder invloed van de 3 CPB-scenario's.

Tabel 4.3 Invloed CPB-scenario's op actorgerelateerde drijvende krachten

	CPB-scenario's en de corrigerende werking op drijvende krachten				
	DE		GC	EC	
	W	EU/NL		W	EU/NL
Termijn					
-huidig ontwikkelingsstadium	n.v.t.		n.v.t.	n.v.t.	
-compatibiliteit					
*fysieke inpasbaarheid	n.v.t.		n.v.t.	n.v.t.	
*kennis en vaardigheden	+	0/+	++	+	0
-synergie	0	0	+	+	++
Kans					
-impuls ontwikkelaars					
*aandacht	+	0/+	++	+	0/+
*competenties	+	0/-	++	+	0
-marktpositie: *(verwachtingen t.a.v.) performanceverbeteringen	n.v.t.		n.v.t.	n.v.t.	
*voorkeur markt t.a.v. performanceverbeteringen =milieu	0	0/-	0	+	++
=productkwaliteit	+	0	++	+	+
=kosten	+	+	++	+	0/+
-technologische drempel	n.v.t.		n.v.t.	n.v.t.	

DE = Divided Europe
GC = Global Competition
EU = European Coordination

W=Wereld
EU/NL= Europe/Nederland

n.v.t. = veronderstelling is dat drijvende krachten gerelateerd aan algemene technische karakteristieken van de technologie (bijvoorbeeld potentiële performanceverbeteringen en technologische drempels) zich niet exogeen ontwikkelen in de CPB-scenario's.

De verandering van de karakteristieken onder invloed van de CPB-scenario's is zowel op het niveau van de wereld als van Europa/Nl weergegeven om doorvertaling van de kwalificaties naar de Nederlandse context mogelijk te maken.

De CPB-scenario's werken corrigerend op de kans op doorbraak via de voorkeur van de markt t.a.v. de performancekarakteristieken en via de aandacht en competenties van de ontwikkelaars. Op enkele uitzonderingen na bestaat de corrigerende werking uit een (kleine) vergroting van de kans op doorbraak. Daarnaast werken de CPB-scenario's corrigerend op de termijn waarop doorbraak kan plaatsvinden via de compatibiliteit van de kennis en vaardigheden van ontwikkelaars en toepassers en via de mate van synergie tussen ontwikkelaars. De corrigerende werking bestaat hier uit een verkorting van de termijn, een enkele uitzondering daargelaten

4.2.3 Aangrijpingspunten overheidsbeleid

In tabel 4.4 is aangegeven welk type beleid (via welke typen beleidsinstrumenten) op nationaal (of Europees) niveau bij elke kracht kan worden ingezet. Het beleid is hierbij gericht op de drijvende krachten die gerelateerd zijn aan actoren die direct bij de ontwikkeling betrokken zijn (ontwikkelaars, potentiële toepassers en de toeleveranciers en afnemers van die potentiële toepassers). Daarnaast kan extra beleid zich ook richten op verhoging van het maatschappelijk draagvlak dat daar indirect op van invloed is. Ook kan extra beleid op nationaal of Europees niveau de impuls die uitgaat van krachten op mondiaal niveau beïnvloeden. Bijv. normstelling die leidt tot een goede afzetmarkt in Europa of Nederland kan de marktpositie op mondiaal niveau versterken.

Naast het beïnvloeden van drijvende krachten kan beleid ook de basis verschaffen voor een goed onderbouwde beoordeling van drijvende krachten. Bij onduidelijkheid over potentiële performanceverbeteringen bijvoorbeeld kunnen subsidies voor haalbaarheidsstudies of demonstratie experimenten hierin inzicht geven.

In de 3 CPB-scenario's is de invloed van het huidige beleid in de (inter)nationale context al verdisconteerd. Beleid (nationaal of Europees) gericht op de stimulering of bijsturing van de ontwikkeling van een specifieke technologie is dus beleid boven op het huidige beleid dat al van invloed is op de ontwikkeling van die specifieke technologie. Het gaat er dus om het potentieel in te zetten extra beleid te identificeren.

Effectiviteit

De in het kader van extra beleid denkbare in te zetten typen beleidsinstrumenten zijn niet allemaal even effectief in de verschillende scenario-contexten, omdat daar veronderstellingen over zijn opgenomen in de uitgangspunten van de scenario's. Afgezien van de scenariocontext hangt de effectiviteit van verschillende typen beleidsinstrumenten ook samen met de impuls die van de andere drijvende krachten uitgaat (zie paragraaf 2.3).

Tabel 4.4 *Aangrijpingspunten verschillende typen beleidsinstrumenten*

	Drijvende krachten	Verschillende typen beleidsinstrumenten
Termijn	-huidige ontwikkelingsstadium	n.v.t. (verandering van het ontwikkelingsstadium via de andere drijvende krachten)
	-compatibiliteit (van kennis en vaardigheden potentiële toepassers)	-subsidies voor om- en bijscholingsprogramma voor huidig personeel toepassers en ontwikkelaars -subsidies advies (expertise van buiten inhuren) -inrichting onderwijsprogramma's (technische) opleidingen (bijv. bredere basiskennis i.p.v. specialistische kennis) toekomstig personeel -subsidies voor uitvoering praktijkdemoexperimenten
	-synergie	-organisatie onderzoek aan universiteiten en researchinstituten, bijv. via onderzoeksscholen, aanwijzen prioritaire onderzoeksgebieden, derde geldstroom -koppeling ontwikkelaars en toepassers via voorwaarden in R&D programma's of via organisatie Strategische Conferenties -aandacht voor ketenrelaties in convenanten -via maatschappelijk draagvlak*
Kans	-impuls ontwikkelaars: aandacht en competenties	-subsidies R&D programma's gericht op spec. technologieën -uitvoeren technologieverkenningen -beschikbaar stellen risicokapitaal -regelingen intellectueel eigendom en patenten -prioritaire onderzoeksgebieden aanwijzen -organisatie workshops, platforms informatie-uitwisseling -via maatschappelijk draagvlak*
	-marktpositie: *verwachtingen t.a.v. performanceverbeteringen (aanbod) *voorkeur markt t.a.v. performanceverbeteringen =milieu =productkwaliteit =kosten	Via aanbod: n.v.t (verandering via andere drijvende krachten) Wel verbetering onderbouwing of verduidelijking beoordeling mogelijk, bijv. via haalbaarheidsstudies, demo-experimenten Via marktvoorkeur: -normstellingen, wet- en regelgeving milieu, arbo, vgz, etc, productvoorschriften -heffingen niet gewenste alternatieven -fiscale regelingen (arbeid relatief goedkoper dan grondstoffen) + BTW-verlaging ecoproducten -convenanten -via maatschappelijke draagvlak*
	-technologische drempel	n.v.t. (verandering via andere drijvende krachten)
* Indirect werkende kracht	Maatschappelijk draagvlak	-Wet- en regelgeving (milieu, arbo, vgz) -convenanten -voorlichting -fiscale regelingen, BTW-verlaging ecoproducten, arbeid relatief goedkoper dan grondstoffen -subsidies maatschappelijke organisaties, bijv. milieubeweging -subsidies compenserende maatregelen (geluidsisolatie bijv.) -subsidies milieuvriendelijke producten -ongemakkentoeslag

4.3 Stappenschema inschatting eerste marktintroductie technologie

Deze paragraaf beschrijft middels een stappenschema een eenvoudige methodiek die de doelgroepexperts binnen het LAE kan helpen bij het maken van een inschatting van de kans waarmee en de termijn waarop eerste commerciële toepassing (doorbraak) van een technologie in een specifieke toepassing kan optreden.

In bijlage 3 is ter illustratie een aantal voorbeelden uitgewerkt.

1. Kans op eerste marktintroductie

Stap 1: Hoe staat de techniek er op dit moment in de internationale context voor?

	Omvang technologische drempels	Marktpositie technologie* (zie tabel 4.1)	Aandacht en competenties ontwikkelaars*
Overwegingen			
Beoordeling ++ + 0 - --			

* = relatief t.o.v. alternatieve technologieën

+ = positief voor ontwikkeling, d.w.z. dat die drijvende kracht stimulerend dan wel niet belemmerend werkt

Stap 2: Zijn er redenen om de factoren in een Europese of nationale context anders te beoordelen? Bijv. een betere marktpositie van de technologie in EU of NI, onder meer onder invloed van het huidige beleid en maatschappelijk draagvlak. Of de aanwezigheid van dominante en competente Nederlandse toepasser(s) of diens toeleverancier(s) die investeren in ontwikkeling van de technologie.

	Omvang technologische drempels	Marktpositie technologie	Aandacht en competenties ontwikkelaars
Overwegingen (zie bijv. tabel 4.2)			
Bijgestelde beoordeling			

Stap 3: In hoeverre zijn de beoordelingen van de krachten afhankelijk van de context van het (economisch) scenario?

	Omvang technologische drempels	Marktpositie technologie		Aandacht en competenties ontwikkelaars	
		Wereld	EU/NL	Wereld	EU/NL
Correcties (zie bijv. tabel 4.3)					
Bijgestelde beoordeling					

Stap 4: Wat is de invloed van extra beleid (in Europese of nationale context)?

Extra beleid in een nationale of Europese context kan de marktpositie van een technologie in een mondiale, Europese dan wel nationale context beïnvloeden doordat bijv. door stringente normstelling de marktvoorkeur (in EU resp. NL) verandert. Extra beleid zal de aandacht en competenties van ontwikkelaars alleen in dezelfde context als die van het beleid kunnen veranderen.

De effectiviteit van extra beleid kan afhankelijk zijn van de scenariocontext en van de rol die andere drijvende krachten spelen in de ontwikkeling van de technologie (zie paragraaf 2.3)

	Omvang technologische drempels	Marktpositie technologie		Aandacht en competenties ontwikkelaars
		Wereld	EU/NL	EU/NL
Extra instrumenten (zie bijv. tabel 4.4)				
Eindbeoordeling (voor effectiviteit zie ook par. 2.3)				

Deze eindbeoordeling heeft een relatie met de kans, dat de technologie commercieel beschikbaar komt. Daarbij is sprake van een zekere hiërarchie tussen de drie achterliggende drijvende krachten t.a.v. het relatieve belang ervan voor de kans. Technologische drempel en marktpositie zijn zeer bepalend: de factor met de laagste kwalificatie is waarschijnlijk van doorslaggevend belang voor de kans. Aandacht en competenties van ontwikkelaars hebben een corrigerende werking op die kwalificatie.

De kans moet worden vertaald naar de beslissing om de betreffende technologie al dan niet mee te nemen in het maatregelbestand dat gebruikt wordt bij het uitvoeren van berekeningen van de toekomstige milieudrukontwikkelingen in Nederland in verschillende scenariocontexten.

2. Termijn, waarop diffusie kan beginnen

Stap 1: De **totale** ontwikkelingstermijn van een technologie hangt sterk samen met de compatibiliteit van die technologie met het huidige technologische systeem. Bij een inschatting hiervan bij de start van het ontwikkelingstraject in een internationale context worden de volgende elementen meegenomen:

COMPATIBILITEIT <u>START</u> ONTWIKKELINGSTRAJECT					
Groot				Klein	
<u>Nieuwheid/bekendheid technologie</u>					
Reeds andere toe- Passingen in verwante Processen		Een andere toepassing in andere sector bekend		Geen enkele andere toepassing bekend	
<u>Ontwikkeling kennis en vaardigheden ontwikkelaars</u>					
Geen probleem		Niet onoverkomelijk		Groot probleem	
<u>Fysieke inpasbaarheid in huidig technologisch systeem</u>					
Gemakkelijk toe- te voegen		Deels mogelijk (wel vervanging deelproces)		Vervanging productieproces -systeem	
<u>TOTALE</u> ONTWIKKELINGSTERMIJN IN JAREN					
2	10	20	30	40	50
		----- ↑ -----			

Op basis van de resultaten van de casestudies uit hoofdstuk 3 lijkt de fysieke inpasbaarheid het meest bepalend te zijn voor de totale ontwikkelingstermijn, terwijl de andere factoren vooral corrigerend hierop werken.

Stap 2: De gemiddelde resterende ontwikkelingstermijn die nog tot eerste marktintroductie doorlopen moet worden hangt sterk samen met het *huidige ontwikkelingsstadium*. Een hoger ontwikkelingsstadium impliceert dat een relatief groter deel van de ontwikkeling al is volbracht en de resterende termijn tot eerste marktintroductie relatief korter wordt. De totaal benodigde tijd tot eerste marktintroductie kan verkort worden met de tijd die gemiddeld genomen in de praktijk nodig is tot en met succesvolle realisatie van het betreffende ontwikkelingsstadium. Deze gemiddelde praktijkwaarden zijn gebaseerd op de lengte van (delen van) ontwikkelingstrajecten zoals vastgesteld in een aantal case studies (hoofdstuk 3). Mede op basis van de resultaten van deze case studies wordt verondersteld dat het relatieve aandeel van de verschillende ontwikkelingsstadia in de totale tijdspanne voor lab-scale experimenten 30% (+/- 20%), voor pilot-scale experimenten 40% (+/- 25%) en voor full-scale demo experimenten (incl. eventuele marktintroductie) 30% (+/- 15%) bedraagt.

Een mogelijke operationalisatie is de volgende:

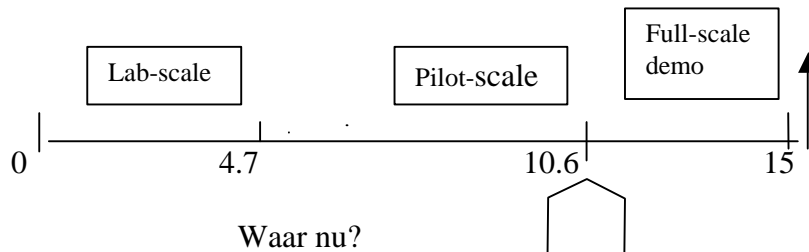
Voorbeeld 1

Totale ontwikkelingstermijn: verhouding tijdsbeslag tussen het starten van verschillende typen R&D-activiteiten = 30 (+/-20) : 40 (+/-25): 30 (+/-15)

(tussen haakjes: standaarddeviaties o.b.v. casestudies)

-totale ontwikkelingstermijn in jaren wordt op basis van compatibiliteit ingeschat op 15 jaar

-op dit moment laatste stadium van pilot-scale experimenten (meerdere successen)



Resterende termijn: 4.7 jaar (+/- 2.4 jaar*) = 2.3 tot 7.1 jaar (dus 2 tot 7 jaar)

*30% +/- 15% = 4.7 +/- 2.4

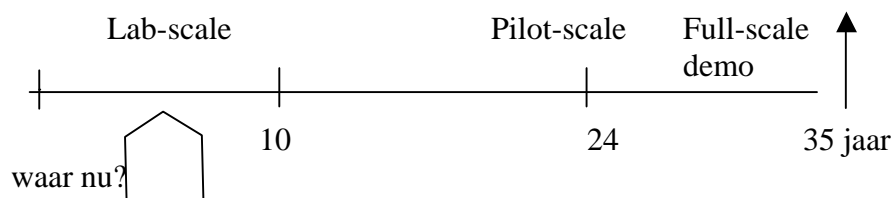
Voorbeeld 2

Totale ontwikkelingstermijn: verhouding tijdsbeslag tussen het starten van verschillende typen R&D-activiteiten = 30 (+/-20) : 40 (+/-25): 30 (+/-15)

(tussen haakjes: standaarddeviaties o.b.v. casestudies)

-totale ontwikkelingstermijn in jaren wordt op basis van compatibiliteit ingeschat op 35 jaar

-op dit moment ongeveer halverwege lab-scale experimenten



Resterende termijn: 30 jaar (+/- 10.5 jaar*) = 19.5 tot 41.5 jaar

*standaarddeviatie afleiden door van nog te doorlopen ontwikkelingsstadia bijv. wortel uit som van de kwadraten van de afzonderlijke standaarddeviaties gedeeld door aantal standaarddeviaties te nemen

$30 (+/- \text{wortel}[(4.7^2 + 8.8^2 + 3.5^2)/3]) = 30 +/- 6$

Dit resulteert in een resterende ontwikkelingstijd in jaren.

Er zijn natuurlijk andere operationalisaties mogelijk o.b.v. kennis over de gemiddelde lengte van delen van een ontwikkelingstraject

Stap 3: Of de ondergrens dan wel de bovengrens van de resterende ontwikkelingstijd (na stap 2) de beste benadering is hangt sterk samen met de mate van synergie tussen de ontwikkelaars en potentiële toepassers en met de mate van compatibiliteit van de technologie. Wat betreft de mate van compatibiliteit gaat het dan om de mate waarin er bij ontwikkelaars en potentiële toepassers geen problemen zijn om de nog benodigde kennis en vaardigheden m.b.t. technologie te ontwikkelen. Beoordeling van synergie en compatibiliteit vindt in een internationale context plaats. Daarnaast kan een beoordeling in de nationale context zinvol

zijn als de kans dat eerste marktintroductie in NI plaatsvindt groter of gelijk is aan de kans op marktintroductie buiten NI.

Afhankelijk van de beoordeling van de synergie en mogelijkheden van de ontwikkeling van kennis en vaardigheden van de ontwikkelaars en toepassers kan de resterende ontwikkelingstijd korter of langer duren. Verder zijn ook de scenariocontext en het eventueel in te zetten extra beleid hierop van invloed. Beleid speelt onder meer in op die synergie en op de compatibiliteit van het door toepassers te ontwikkelen niveau van kennis en vaardigheden.

	Beoordeling (++ + 0 - --)		
	Internationale context		Nationale context**
	Wereld	EU	
Huidige synergie ontwikkelaars		*	*
Potenties t.a.v. te ontwikkelen kennis en vaardigheden: .ontwikkelaars .toepassers			
Invloed scenariocontext (zie tabel 4.3) .synergie .kennis en vaardigheden toepassers: -ontwikkelaars -toepassers		*	*
Invloed extra beleid (zie tabel 4.4): .synergie .kennis en vaardigheden toepasser -ontwikkelaars -toepassers	(n.v.t.)	*	*
Eindbeoordeling resterende termijn			

*Alleen invullen indien er dominante ontwikkelaars in EU resp. Nederland zijn

** Kan afwijken van kwalificatie in internationale context indien kans marktintroductie in NL groter of gelijk is aan kans op marktintroductie buiten Nederland (zie eindbeoordeling kans p51)

Op basis van de gegeven eindbeoordeling kan de meest waarschijnlijke resterende ontwikkelingstijd worden ingeschat (bijv. in de buurt van het gemiddelde of meer in de buurt van de boven- of ondergrens na stap 2).

Stap 4: Als de kans op eerste marktintroductie in NI kleiner is dan buiten NI (zie stap 4 bij kans op marktintroductie) kan er rekening worden gehouden met een extra termijn van diffusie naar NI.

De lengte van deze extra termijn hangt o.a. samen met de mate waarin er sprake is van kennisuitwisseling tussen de potentiële toepasser in Nederland en buitenlandse ontwikkelaars en van de innovatiebereidheid van die sector.

Deze exercitie resulteert in een termijn waarop de technologie commercieel beschikbaar kan komen in Nederland. Als besloten is op basis van de kans op doorbraak de technologie mee te nemen in het maatregelpakket kan de ingeschatte termijn in de vorm van een introductiejaar worden opgenomen.

Literatuur

- Booij H., J.P.M. Ros, M.W. van Schijndel & J. Slootweg, 1999. Beschrijving Model Effectiviteit Instrumenten versie 1.0 (MEI 1.0). RIVM rapport 778011001
- Cerruti, L. (1999) Historical and philosophical remarks on Ziegeler-Natta Catalysts. HYLE- an international journal for the philosophy of chemistry, no 1, p3-41.
- Christianson, L. (1995) Diffusion and learning curves of renewable energy technologies (International Institute for Applied Systems Analysis in Austria, Working paper WP-95-126)
- Geels, F. (1997) Met de blik vooruit. Op weg naar socio-technische scenario's. Rapport in het kader van de Mumford-projecten (Universiteit Twente)
- Kemp, R. (1995) Environmental policy and technical change. A comparison of the technological impact of policy instruments (Maastricht University, academic thesis)
- Luiten, E. and Blok, (1998) Strategies for stimulating the development of energy efficient technologies in industry – A case study of Impulse technology, Proceedings of the European conference on Industrial Energy Efficiency “Success Stories” (Vienna, Energieverwertungsagentur pp 583-605, July
- Luiten, E. and Harmsen, R. (1999) “A conceptual model for understanding technology development”, paper presented at the International Summer Academy on Technology Studies, deutschlandberg(Austria), 11-16 July
- Messner, S. (1997) Endogenized technological learning in an energy systems model Journal of Evolutionary Economics 1997
- Nakicenovic, N. (1996) Technological change and learning
In: *Climate change: Integrating Science, Economics and Policy*, N. Nakicenovic et al (eds.), CP-96-1(International Institute for Applied Systems Analysis in Austria
- Neij, L. (1999) Dynamics of Energy Systems. Methods of analysing technology change (Lund University Sweden, academic thesis)
- Novem (1996) Monitoring Programma Milieutechnologie
- Schaeffer, G.J. (1998) Fuel cells for the future: a contribution to technology forecasting from a technology dynamics perspective (Twente University, academic thesis)
- Schijndel, M.W. van, P.H. Groeneveld, R.P.M. Kemp, C.J. Peek, J.W. Schot, M. Schipper en E.R. Soczo, 1996. De penetratie van milieutechnische maatregelen. RIVM-rapport 776101007
- Schot, J. (1991) Maatschappelijke sturing van technische ontwikkeling. Constructief Technology Assessment als hedendaags Luddisme (Universiteit Twente, proefschrift)
- Shell (1984, 1986, 1989) The Hycon process. Brochures and Selected Papers

Stratenus, L. (1999) The historical development of strip casting. An assessment of the possible role of government funding in technology development. Rapport nr 99023 Utrecht University

Willems & van den Wildenberg bv (1999) Evaluatie van 20 jaar IOP instrument Innovatiegerichte Onderzoeks Programma's

Bijlage 1 Review of existing theories on technology development

(uit Luiten et al, 1999)

Since the early seventies a lot of research has been done which can be put under the heading of technology studies. In this section, technology study literature in economy, sociology, and history is briefly discussed to illustrate the common and complementary insights of these approaches. Keeping in mind the aim of developing a framework, the key concepts and suggested mechanisms explaining technological development are marked with bold numbers [i].

1. Economists on innovation

For a long time, neo-classical economists considered technology development as an exogenous factor (as was autonomous science) which could not be influenced by actors. Therefore, it did not need to be studied by itself. Since Abramowitz (1956) and Solow (1957), neo-classical economists increasingly consider technological progress as being important for economic growth. Technological progress is interpreted as a residual: That is what is left to explain economic growth in the production function, after the effects of labour and capital have been accounted for (see also Coombs, 1987). The more recent new growth theory (see e.g. Lucas, 1986; Romer, 1988) includes knowledge generation and technological progress as part of their economic models.

One of the early exceptions was Schumpeter. He was one of the first who focused on the innovation process, perceiving innovation as being crucial for economic growth by constituting major breaks (Schumpeter, 1939). By stressing the importance of technological discontinuities that lead to a higher level of incomes, output and, presumably, well-being, he made a clear distinction between invention, innovation and diffusion. At the invention stage the technology is made technologically feasible. When entering the innovation stage, the technology is suitable for commercial use and waiting for an *entrepreneur* [1] who grabs its (economic) possibilities. According to Schumpeter diffusion is in essence a process of technical imitation. Schumpeter considered innovations as the driving force of the evolution of economic systems, though he did not study their development explicitly. Rosenberg was one of the first economists, who criticised the three stage Schumpeter's invention-innovation-diffusion model. Rosenberg focused on the actual generation process of innovations and strongly emphasised the incremental and evolutionary character of technological development (Rosenberg, 1976; Rosenberg, 1982). He stressed the presence of ongoing technological development both at the development stage and the diffusion stage due to its location specific character. After innovation, learning processes occur leading to improvements of the technology. Supporting his argument, Rosenberg introduced the concepts of *learning-by-doing* [2] and *learning-by-using* (diffusion oriented) and stressed the importance of *complementary knowledge* [3] within development trajectories.

Inspired by Schumpeter's ideas and Rosenberg's attempt to look "inside the black box" the evolutionary economic school of thinking arose. Within this school another direction was taken attempting to endogenise technical change. Its theories are in fact an alternative to neo-classical economics (see e.g. Dosi, 1988).

The evolutionary economists started empirical studies on the behaviour of innovative firms and innovation. In their view, technology is developed by firms in order to get an advantage over competing firms, which is only worth the trouble if the newly developed

technology is not available to all other firms. Not all firms have the same source of knowledge, skills or resources to actually develop or implement new technologies inducing differences in growth.

Nelson and Winter (1977) strongly opposed the idea that the development of new technologies can be understood in terms of a cost-benefit calculation, in which the expected payoffs from innovations are simply compared to the estimated costs of producing the innovation. They started with the uncertainty firms are confronted with: Firms do not know beforehand which technology will be successful, they lack the possibility to check all technological alternatives and, therefore, their behaviour cannot be understood as “maximising” as it is in neo-classical economy. Because of the uncertainty involved, firms will disagree whether and when to invest in R&D (Nelson and Winter, 1977).

In order to deal with uncertainties, firms tend to innovate along certain familiar and known paths. Based on this, Nelson and Winter stated that firms apply *heuristic search routines* [4]. These search routines establish the dominant search directions and guide the occurrence of *technological trajectories* [5], that is, distinct paths of technological development. The cognitive frames of reference, which induce patterns in technological development, were indicated by Nelson and Winter as a *technological regime*, by Dosi (1982) as a *technological paradigm*, and by Sahal (1985) as a *technological guidepost*. The existence of a technological paradigm and thus the occurrence of a technological trajectory leads to the *exclusion* [6] of other developments (Dosi, 1982).

Influenced by the heuristic search routines, firms produce new *variations* [7], which may or may not succeed in a *selection* [8] environment. Nelson and Winter (1977) already stressed that the selection environment does not only comprise the neo-classical market concept (such as prices and market structure), but also institutional structures (such as regulation and geographical factors). They chose “selection environment instead of “market” to emphasise the institutions involved and the mechanisms behind the selection of a new technology. Institutional structures are often quite complex within an economic sector and vary significantly among economic sectors (Nelson and Winter, 1977). According to evolutionary economists, the concepts of variation and selection are central in the process of technological development.

The ideas of the evolutionary economists gave rise to various new strands. Authors as, for example, Belt and Rip (1987), which have a sociological rather than an economic background, stressed in addition to the evolutionary approach that variation (development oriented) and selection (diffusion oriented) are not independent. They shifted the research focus from a firm oriented perspective to a more technology / society oriented perspective (see section 1.2).¹

David (1986) and Arthur (1988) stressed, in addition to other evolutionary economists, the occurrence of non-optimal outcomes. Their pioneering work on respectively *path dependency* [9] and *increasing returns to adoption* questions the idea that market selection will guarantee the convergence to an optimal dominant design: A technology is not chosen because it is efficient, it becomes efficient once it has been chosen. Both authors highlight the extent to which actors build their decisions on their existing (often tacit) knowledge bases, limiting their patterns of search within local knowledge domains. The existing specific technological knowledge, the existing infrastructure and the vested *interests* [10] make it hard to deviate from a chosen path. Arthur’s notion of increasing returns to adoption (or positive feedback) implies that technologies typically improve as more firms adopt them and these firms gain experience that guides further development (Arthur, 1990). Increasing returns to adoption can be explained by, for example, learning by using

¹ This school of thinking is called the quasi-evolutionary economics.

(Rosenberg, 1982) (the more a technology is adopted, the more it is used, learned about and, thus, better known and understood, resulting in scale economies); network externalities (Katz and Shapiro, 1985) (the more other users there are, the more likely it is that these will benefit from others' experiences and development activities); and *technological interrelatedness* [11] (Frankel, 1955) (adopted technologies are embedded in the existing technological system, whereas new technologies may require (a partial) dismantling of this existing system).

As some new technologies fit better into the existing technological system and others appear to be radically different, several economists (see e.g. Abernathy and Clark, 1985; Freeman and Perez, 1988) proposed a taxonomy of innovations. Freeman and Perez define incremental innovations as relatively minor changes of processes and products that occur more or less continuously. They may often occur, not so much as the result of deliberate R&D, but stemming from experiences from engineers in the production process or as a result of initiatives and suggestions by users. Although, their combined effort is important, no single incremental innovation has large effects. Radical innovations are discontinuous events and are usually the result of deliberate R&D activities in firms and research institutes and universities. Over a period of decades radical innovations may have a large effect. They may bring about structural change, but in terms of their aggregate economic impact they are relatively small and localised, unless a whole cluster of radical innovations are linked together (Freeman and Perez, 1988).²

Whilst the earlier work of Nelson and Winter emphasised the role of the firm in the variation and selection process, later economic contributions focused on other *institutional elements*. Such national innovation systems (NIS) have been identified at the national level (see e.g. Freeman, 1987; Lundvall, 1988; Nelson, 1993) and at the regional level (see e.g. Grabher, 1993). The systemic integration of national science and technology systems in larger, institutional, cultural and industrial structures of a national economy is stressed. Freeman defined the concept NIS as the network of institutions in public and private sectors whose activities and interactions initiate, import, modify and diffuse new technologies (Freeman, 1987). Within the system concept, learning processes amongst actors (*learning by interacting* [12]) are regarded as being crucial, especially those among the users and suppliers of new technologies (Lundvall, 1988). Innovation is seen as a social process, which evolves most successfully in networks with an intensive interaction between the suppliers and buyers of goods, services, technology and knowledge, including public knowledge infrastructure organisations such as universities and semi-public research institutes. The system concept shifts the focus of technology policy towards the interplay between institutions, looking at interactive processes both in the creation of knowledge and in its diffusion and application.

In the economic network literature, (industrial) networks are seen as a special form of economic organisation between markets and hierarchies (see e.g. Powell, 1988; Williamson, 1985; Håkansson and Snehota, 1995). They provide co-ordination mechanisms since economic actors are bound together in many ways. In addition to the anonymous relationships in the market and the formal, unequal relationships in a hierarchy, networks also emphasise the informal links between equal and partially *interdependent* [13] actors. Network members are socially embedded through exchange relationships. The reason for an actor to maintain its networks is to create direct and indirect access to critical resources (whether money or knowledge) of other members which they do not possess by themselves. Although

² Freeman and Perez distinguished two other levels in their taxonomy, which are beyond the scope of this article: new technology systems and techno-economic paradigms. While new technology systems affect several sectors in the economy and give rise to entirely new sectors, a techno-economic paradigm involves a combination of interrelated product, process, technical, organisational and managerial innovations, embodying a quantum jump in potential productivity for all or most of the economy and opening a wide range of investment and profit opportunities.

networks can be based on legal contracts, their stability is mainly derived from the establishment of trust and reliability, reputation and customary rules to which members of the network comply.

The network literature deals in various ways with themes such as learning and innovation (Oerlemans, 1996; Håkansson and Snehota, 1995). It is linked to a business administration perspective which explores the impact of the context of firms on their innovativeness (see e.g. Porter, 1990), but also the way firms should be organised to optimise their innovative behaviour. For example, Håkansson (1987) linked his organisational focus to the industrial network firms operate in, by exploring their relations with research institutes, supplying companies or customers: Firms are actors who possess and use *resources* [14] (such as knowledge, skills, money) to perform their activities. In doing this they are linked to other actors in a network structure. Technologies are shaped through interaction between actors because essential processes in technology development - knowledge production, resource mobilisation and resource co-ordination – occur between different actors (Håkansson, 1989).

2. Sociologists on innovation

Technology development has also been studied by sociologists, as it reflects not only economic but also social processes. The focus of their research is on the nature and characteristics of social interactions, which underlie technological change.

Detailed analysis of the context of technology development is performed by, for example, Pinch and Bijker using the *social construction of technology* (SCOT) approach (Pinch and Bijker, 1987), Law with his *heterogeneous network* approach (Law, 1987) and Callon with respectively his *actor-network* (Callon, 1987) and *techno-economic network* approaches (TEN) (Callon et al., 1992).

According to SCOT, technological artefacts have an *interpretative flexibility* (Pinch and Bijker, 1987; Bijker, 1990): Different actors give different interpretations to the same artefacts and, therefore, they have different *problem definitions* [15]. The interpretative flexibility remains as long as none of the interpretations becomes dominant, that is, as long as a problem definition is not sufficiently stabilised around one interpretation. The idea is that *closure* [16] of interpretations should lead to innovation. Through this process of growing dominance of the interpretation by one social group, a *technological frame* [17] is formed. Although a particular frame can become dominant, not all actors or groups of actors need to be equally involved in this frame. Different degrees of *inclusion* [18] may exist. Actors with a high inclusion will be focused on solving problems by incremental improvements, while actors with a low inclusion in a technological frame will introduce radically different solutions.

According to the actor-network approach (Callon, 1987) every form of change, including technological change, is a change of actor-networks. Actor-networks comprise *heterogeneous entities* in which the technical is not clearly separated from the social, the cultural or the economic. A priori there is no difference between human and non-human actors.³ The development of technologies is considered to be the development of the actor-network. Actors *enrol* [19] and *translate* [20] other actors, values, and interests in such a way that links between different actors are established, strengthened or broken (see also Callon and Law, 1982). The *translator* [21] or prime mover is the dominant actor causing the dynamics in the actor-network. Through mobilisation of other entities in the actor-network

³ As opposed to Callon's actor-network approach we use the word "actor" only for firms, organisations and institutions and not for artefacts such as (part of a) technology.

this translator tries to solve a specific problem. The developed technology is the result of the interaction between the different heterogeneous actors in the network. The basis for selection is a consensus among the relevant actors on problems and solutions. The result is a (powerful) configuration. The *robustness* [22] of this configuration is explained by a detailed description of the mechanisms by which it was constructed.

In Callon's more recent work (Callon et al., 1992) the emergence, patterns and dynamics of networks are again the central focus of attention. However, actor-networks have turned into techno-economic networks, TENS. Whilst Callon earlier focused on translation, that is, the elementary interaction between actors as a core concept, now the definitions - materialised descriptions of the world - are a central issue of his work. The important shift is from actors as a key unit of attention towards materialised "texts", that is, statements, acts and artefacts, readable by others and relatively independent of the intentions of the "author" of the text. The interpretation of others after "reading" such *intermediaries* forces them to act in a certain way. TENS are about intermediaries that *align* [23] and *aggregate* [24]. These intermediaries circulate among the heterogeneous actors who make up a network. The TENS are organised around three main *poles*: the *scientific*, the *technical* and the *market* pole. The poles can be distinguished by the identity of the actors constituting them and by the types of intermediaries that these actors put into circulation.

The quasi-evolutionary economy has already been referred to under the economic strands and is represented by the work of, for example, Rip (1995), Schot (1991), Lente (1993), Rip and Kemp (1998), Kemp et al. (1998) and Schaeffer (1998). The quasi-evolutionary economists moved the conceptual framework of the evolutionary economists away from the narrow focus on firms: They are more interested in the dynamics of technology development rather than economic processes.

Generators of new variations anticipate on the expected selection environment. The role of expectations [25] – guiding the activities and interactions between actors - and promises [26] was introduced (Lente, 1993). Expectations play a role in coupling variation and selection. If these expectations are shared by many - then, a strong *actor-interrelatedness* [27] is developed (Schaeffer, 1998) - they may dominate the *agenda* [28] of activities (Lente, 1993). The linkages between variation and selection occur for example in a *nexus*, an institution or department which carries and shapes the interaction between societal and market requirements and technological opportunities (Belt and Rip, 1987; Schot, 1991).

Recently Rip and Kemp (1998) and Kemp et al. (1998) stressed the influence of a *technological regime* in enabling or constraining the way in which actors operate. The quasi-evolutionary technological regime (defined differently than the regime of Nelson and Winter (1977)) comprises both the cognitive aspects of problem-solving activities of engineers and the wider economic and other social factors that force technological problem solving in certain directions. The existing technological regime may actively be modified in order to increase the survival chances of a technology (Rip and Kemp, 1998).

The quasi-evolutionary economists launched the idea of strategic *niche* management: Create temporary protected *niches* [29] which function as a local breeding space through which social learning among actors occurs. Niches are areas in which a variation (and the expectations linked to it) is protected against too rapid and rigid selection. The quasi-evolutionary approach provides a framework for recognising relevant processes at different levels, that is, micro, meso and macro (see Rip and Kemp, 1998; Lente, 1993).

3. Historians on innovation

The application of the system metaphor in technology studies is mainly coming from the work of historians. The study of the evolution and transformation of large *socio-technical systems* such as energy supply, telecommunications or transport from a more historical perspective has shown that *technological interdependencies* [30] and *momentum* [31] can be strong determinants and constraints of future technological pathways. The historical approaches are inspired to a large extent by the work of Hughes (Hughes, 1983; Hughes, 1987). His system approach considers technological development as the development and growth of a system of *heterogeneous* (technical, social, juridical, geographical) *components*, which are related to each other. These components constitute a so-called *seamless web*. Changes in one component will affect the other elements of the system. The growth of a system is not regular, though it has an inherent logic. Components, which hinder the growth of the whole system are called *reverse salients* [32]. These reverse salients can rise due to internal (inside the boundaries of the system) or external (outside the boundaries of the system) factors. These reverse salients are the essence of the creative process. *System builders* [33] (leaders or promoters of the system which are typically technical professionals with excellent *entrepreneurial* capabilities) translate these reverse salients into *critical problems* [34]. Above a certain size, a technological system acquires its own dynamic. The other side of the coin is that this so-called momentum may result in system's inertia. The technological system is embedded through the investments in capital, through the way actors involved are organised and through the knowledge and practices which are common to operating within that system.

Bijlage 2 Leercurven en prognoses

Voor prognosedoeleinden kan in verschillende scenariocontexten nagegaan worden in welke mogelijke richtingen een technologie zich in de toekomst kan ontwikkelen. Bijv. bij (te voorziene of te veronderstellen) verdere stabilisatie van de huidige ontwikkelingsrichting kan de huidige richting worden vastgehouden en kunnen huidige trends t.a.v. performanceverbeteringen op basis van leercurve-effecten doorgetrokken worden. Leercurve-effecten zijn dynamische schaal- en leereffecten die optreden naarmate er meer ervaring wordt opgedaan met de productie van een technologie. De meeste leercurve-effecten hebben betrekking op procentuele kostendalingen die optreden bij elke verdubbeling van de productie. Van dit type leercurven zijn voor verschillende technologieën historische praktijkwaarden verzameld en geïntegreerd. (Voor een overzicht zie Kemp, 1995). In het verleden blijken de potentiële kostendalingen bij elke verdubbeling van de productie te variëren van 5 tot 40%. De potentiële kostendalingen zijn voor een belangrijk deel gerelateerd aan opschalingmogelijkheden bij toename van de productie. Deze potentiële opschalingeffecten variëren bij verschillende typen productietechnologieën (kapitaalgoederen). Neij stelt dat productietechnologieën cq kapitaalgoederen die bestaan uit grote, enkelvoudige productie-eenheden zoals kolencentrales en kerncentrales veel minder opschalingmogelijkheden hebben dan die productietechnologieën waar de massaproductie van productie-eenheden (module technologieën) mogelijk is (Neij, 1999). Enkele voorbeelden van het laatste zijn elektronica en duurzame consumentenproducten (wit- en bruingoed bijv.). Productietechnologieën die deze beide karakteristieken combineren zijn procestechologieën voor de productie van bijv. chemicaliën en materialen.

Neij onderscheidt een drietal categorieën technologieën met elk hun eigen potentiële opschalingmogelijkheden en in het verlengde daarvan elk met hun eigen range in de bereikte kostendalingen bij elke verdubbeling van de productie. Onderstaande tabel (gebaseerd op Neij, 1999) geeft een overzicht.

Bron: Neij, 1999

	Voorbeelden	Gem. kostendaling bij verdubbeling productiecapaciteit (%)
Categorieën productietechnologieën (kapitaalgoederen)		
Enkelvoudige productie-units -grote -kleine	Productie elektriciteit d.m.v.: -kolencentrale, kerncentrale -gasturbines, stoomturbines	10 (van <0 tot 18) <0 (dus kostenstijging) 13
Meerdere identieke modules	Productie elektronica en duurzame consumentenproducten	20 (van 5 tot 30)
Meerdere modules in meerdere enkelvoudige productie-units	Productie olieproducten, chemicaliën en materialen	22 (van 10 tot 36)

Meer specifiek zijn er voor een aantal energietechnologieën kostendalingpercentages vastgesteld (Nakicenovic, 1996; Christianson, 1995; Messner, 1997). Tijdens de ontwikkeling van gasturbines, van windmolens en pv-cellen voordat sprake is van commerciële toepassing zijn kostendalingen van 16-19% bij elke verdubbeling van het aantal productie-eenheden waargenomen. In de tijd gezien betekende dit voor windmolens een kostendaling van ca. 10% per jaar (in 6 jaar in totaal 66%). Voor pv-cellen was de jaarlijkse kostendaling in de VS ca 5.5% (in 16 jaar 88%) en in Japan ca. 10% (in 9 jaar 88%). Tijdens de commercialisatie (vergroting van de toepassing) van gasturbines is bij elke verdubbeling van het aantal productie-eenheden een gem. kostendaling van 7% opgetreden.

De (categorieën van) praktijkwaarden kunnen gebruikt worden bij het maken van inschattingen van potentiële kostendalingen bij vergroting van de toepassing van bestaande technologieën.

Op dit moment worden leercurven gebruikt om de karakteristieken van de toekomstige technieken te bepalen, bijv. op het gebied van energietechnologieën. Er wordt echter geen rekening gehouden met het effect van die leerprocessen tijdens het traject dat naar de toekomst toe wordt afgelegd. Een voorbeeld hiervan vormen prognoses van toekomstige ontwikkelingen van het energievoorzieningsstelsel, waarbij voor begin en eindsituatie een kostenoptimale samenstelling van de verschillende specifieke energietechnologieën wordt berekend op basis van bijv. geschatte toekomstige kosten en prestaties van die energietechnologieën. Onlangs zijn met name door IIASA pogingen gedaan om het effect van leerprocessen meer te internaliseren in de modellen die gebruikt worden voor prognose van ontwikkelingen van het energievoorzieningsstelsel (Nakicenovic, 1996 en Messner, 1997).

Bijlage 3 Illustratie van toepassing methodiek in 4.3

Voorbeeld 1

Kristallisatiereactor voor terugwinning van zware metalen in de galvanische industrie (verklaring historische ontwikkeling)

expert: Jan Ros (RIVM/LAE)

Enkele kenmerken:

- Het basisidee van de techniek is dat de omstandigheden zodanig worden gekozen, dat zware metalen uit oplossingen worden verwijderd door kristallisatie (als metaalhydroxiden of metaalcarbonaten) in een fluidized bed op basis van zandkorrels met daarop entmateriaal. Hierin diende het contact tussen vloeistaf en vast oppervlak te worden geoptimaliseerd.
- Het idee van deze technologie kwam uit de drinkwaterbereiding, waar de techniek werd toegepast voor ontharding (kristallisatie van calciumcarbonaat); dit was een Nederlandse ontwikkeling
- De techniek was niet bekend in de branche
- Er waren concurrerende technieken in ontwikkeling (en deels al op de markt) met dezelfde doeleinden; sommige daarvan bekender voor de branche (indampen en elektrolyse)
- Onderzoek m.b.t. procesoptimalisatie en gedrag van verontreinigingen vroeg de nodige tijd.
- Er is beperkte overheidssteun geweest voor toegepast onderzoek bij een consultant (waar het idee vandaan kwam)
- Er is eenmalig een demonstratieproject bij een bedrijf opgezet, ondersteund met overheidsgeld. Er is ook veel overheidssteun geweest voor de alternatieven.
- Het overheidsbeleid was vooral gericht op afvalwaterlozingen (en op technologische opties, die niet op het proces ingrepen) en veel minder op preventie.

Kans op eerste marktintroductie

Marktpositie

	Performanceverbeteringen (t.o.v.. huidige technologie)				Marktpositie (aanbod * vraag)				
	Verwachtingen ontwikkelaars (aanbod)			Marktvoorkeur (vraag)	X	alt 1	alt 2		
	Techn. x	Alt. 1	Alt. 2						
Milieu	+	++	+	3		3	6	3	
Productkwaliteit	-	0	0	1		-1	0	0	
Kosten	0	-	0	2		0	-2	0	
					Totaal	2	4	3	
EINDOORDEEL MARKTPOSITIE						-	+	0	

Toelichting: Techn x = kristallisatiereactor; Alt 1= end-of-pipe technologie, Alt 2 = elektrolyse

Aanbod: ++ sterke performanceverbetering t.o.v. huidige productieproces
 + redelijke performanceverbetering t.o.v. huidige productieproces
 0 zelfde performance als huidige productieproces
 - performanceverslechtering t.o.v. huidige productieproces

Vraag: 0 enige performanceverslechtering geen probleem
 1 performance moet zelfde blijven
 2 enige performanceverbetering gewenst
 3 sterke performanceverbetering gewenst

EINDOORDEEL MARKTPOSITIE: Score marktvoorkeur wordt vermenigvuldigd met aantal plussen, minnen of met 0 uit de aanbodkolommen. Per technologie worden de scores van de performancekarakteristieken bij elkaar opgeteld. Deze totaalscores worden onderling vergeleken en vertaald naar een eindbeoordeling in de vorm van + 0 of -

	Omvang technologische drempels	Marktpositie technologie	Aandacht en competentie ontwikkelaars
Algemeen	-/0	-	-
In Nederland	n.v.t.	-	0
In scenario	n.v.t.	-	0 (NI)
Invloed beleid	n.v.t.	-	0
Eindconclusie	- : kans op doorbraak gering		

n.v.t. = veronderstelling is dat drijvende krachten gerelateerd aan algemene technische karakteristieken van de technologie (bijvoorbeeld potentiële performanceverbeteringen en technologische drempels) zich niet exogeen ontwikkelen in de CPB-scenario's.

Voorbeeld 2**Impulsdroger voor ontwatering pulp bij papierproductie
(prognose toekomstige ontwikkeling)**

expert: Esther Luiten (UU)

1. Kans op eerste marktintroductieStap 1: Hoe staat de techniek er op dit moment in de internationale context voor?

Marktpositie technologie

	Performanceverbeteringen (t.o.v.. huidige technologie)				Marktpositie (aanbod * vraag)				
	Verwachtingen ontwikkelaars (aanbod)			Marktvoorkeur (vraag)					
	Techn. x	Alt. 1	Alt. 2		X	alt 1	alt 2		
Milieu	+	++	+	1		1	2	1	
Productkwaliteit	+	+	0	3		3	3	0	
Kosten	-/0/+*	+	+	3		-3-3	3	3	
					Totaal	1-7	8	4	
EINDOORDEEL MARKTPOSITIE						?*	+	0	

Toelichting: Techn x = impulsdroger; Alt 1= schoenpers, Alt 2 = verdamping d.m.v. verbranding

Aanbod: ++ sterke performanceverbetering t.o.v. huidige productieproces
 + redelijke performanceverbetering t.o.v. huidige productieproces
 0 zelfde performance als huidige productieproces
 - performanceverslechtering t.o.v. huidige productieproces

Vraag: 0 enige performanceverslechtering geen probleem
 1 performance moet zelfde blijven
 2 enige performanceverbetering gewenst
 3 sterke performanceverbetering gewenst

EINDOORDEEL MARKTPOSITIE: Score marktvoorkeur wordt vermenigvuldigd met aantal plussen, minnen of met 0 uit de aanbodkolommen. Per technologie worden de scores van de performancekarakteristieken bij elkaar opgeteld. Deze totaalscores worden onderling vergeleken en vertaald naar een eindbeoordeling in de vorm van + 0 of -

*door hoger elektriciteitsverbruik stijgen de kosten, door besparing op aardgas, betere productkwaliteit (sterker) en minder grondstoffenverbruik per eenheid product (vezels en hulpstoffen) dalen de kosten. Onbekend is wat dit netto voor de kosten betekent. Bij een relatief hoge elektriciteitsprijs kunnen de netto kosten negatief uitvallen (dus hoger worden), bij een relatief lage elektriciteitsprijs kunnen de netto kosten mogelijk positief uitvallen (dus lager uitvallen)

	Omvang technologische drempels	Marktpositie technologie	Aandacht en competentie ontwikkelaars
Algemeen	++	?	0/+
In Nederland	n.v.t.	?	n.v.t.
In scenario	n.v.t	?	0/+ (Wereld)
Invloed beleid	n.v.t	meer inzicht	0/+
Eindconclusie	onbekende kans op doorbraak; door beleid (bijv. subsidie praktijkdemo experiment) inzicht te vergroten		

n.v.t. = veronderstelling is dat drijvende krachten gerelateerd aan algemene technische karakteristieken van de technologie (bijvoorbeeld potentiële performanceverbeteringen en technologische drempels) zich niet exogeen ontwikkelen in de CPB-scenario's.

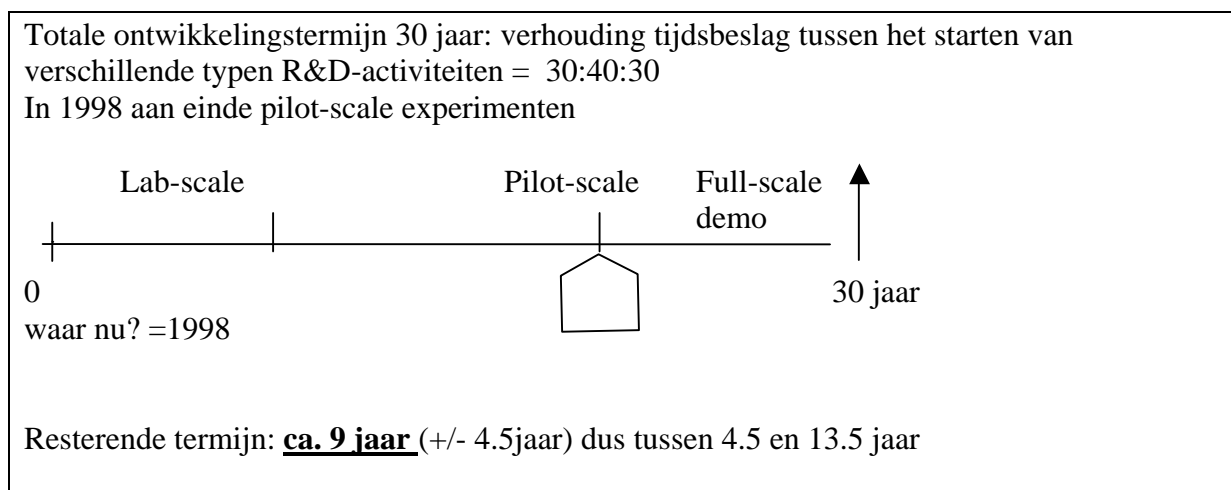
2. Termijn, waarop diffusie kan beginnen

Stap 1: De **totale** ontwikkelingstermijn van een technologie hangt sterk samen met de compatibiliteit van die technologie met het huidige technologische systeem. Bij een inschatting hiervan bij de start van het ontwikkelingstraject in een internationale context worden de volgende elementen meegenomen:

COMPATIBILITEIT <u>START</u> ONTWIKKELINGSTRAJECT					
Groot		Klein			
<u>Nieuwheid/bekendheid technologie</u>					
Reeds andere toe- Passingen in verwante Processen	Een andere toepassing in andere sector bekend	<i>Geen enkele andere toepassing bekend</i>			
<u>Ontwikkeling kennis en vaardigheden ontwikkelaars</u>					
Geen probleem	Niet onoverkomelijk	<i>Groot probleem</i>			
<u>Fysieke inpasbaarheid in huidig technologisch systeem</u>					
Gemakkelijk toe- te voegen	<i>Deels mogelijk (wel vervanging deelproces)</i>	Vervanging productieproces -systeem			
<u>TOTALE</u> ONTWIKKELINGSTERMIJN IN JAREN					
2	10	20	30	40	50
			----- ↑ -----		

Totale ontwikkelingstermijn: 30 jaar

Stap 2: Het *huidige ontwikkelingsstadium* is vervolgens bepalend voor de gemiddelde resterende ontwikkelingstermijn die nog tot eerste marktintroductie doorlopen moet worden.



Stap 3: De mate van synergie tussen de ontwikkelaars en ook de mate van compatibiliteit van de technologie bepalen of de ondergrens dan wel de bovengrens van de resterende ontwikkelingstijd de beste benadering is. Wat betreft de mate van compatibiliteit gaat het in dit voorbeeld vanwege het reeds bereikte ontwikkelingsstadium vooral om de mate waarin er met name bij potentiële toepassers geen problemen zijn om benodigde kennis en vaardigheden m.b.t. technologie te ontwikkelen.

	Beoordeling (++ + 0 - --)		
	Internationale context		Nationale context
	Wereld	EU	
Huidige synergie ontwikkelaars	-/0	n.v.t.*	n.v.t.
Potenties toepassers t.a.v. te ontwikkelen kennis en vaardigheden	-/0	-/0	-/0
Invloed scenariocontext (zie tabel 4.3) -synergie -kennis en vaardigheden toepassers	GC: -/0 EC: -/0	* n.v.t.	n.v.t.
	GC:0 EC:-/0	GC:0 EC:-/0	Idem EU
Invloed extra beleid (zie tabel 4.4): -synergie -kennis en vaardigheden toepasser	(n.v.t.?)	* n.v.t.	n.v.t
	(n.v.t.?)	GC: 0/+ EC: 0	GC: 0/+ EC: 0
Eindbeoordeling resterende termijn: technologie in 'eind' stadium ontwikkeling: kennis en vaardigheden toepasser meer doorslaggevend dan synergie ontwikkelaars:	GC: 0 EC: -/0	GC: 0/+ EC: 0	GC: 0/+ EC: 0
Resterende ontwikkelingstijd in jaren: (vanaf 1998)	GC: 9 EC: 11.8	GC: 6.2 EC: 9	GC: 6.2 EC: 9

*Alleen invullen indien er dominante ontwikkelaars in Nederland resp. EU zijn

Zonder rekening te houden met de scenariocontext en extra beleid worden de synergie tussen de ontwikkelaars en het probleem dat toepassers hebben t.a.v. te ontwikkelen kennis beiden als -/0 beoordeeld. De scenariocontext van GC werkt enigszins corrigerend op de kennis en vaardigheden, zodat deze niet meer belemmerend zijn. Maar de synergie wordt er niet door beïnvloed; deze blijft wat negatief in beide scenariocontexten. Extra beleid kan de synergie evenmin beïnvloeden. Wel kan er d.m.v. extra Europees of nationaal beleid sprake zijn van een verbetering van de kennis en vaardigheden bij de toepasser in EU of NI.

Samenvattend kan gezegd worden dat o.i.v. extra beleid gericht op kennis en vaardigheden in het GC-scenario de resterende termijn (vanaf 1998) minder dan 9 jaar (bijv. ruim 6 jaar) kan bedragen, terwijl dit in het EC-scenario zo'n 9 jaar zal zijn. Dus in GC scenario kan als introductiejaar 1998+6 = 2004 gekozen worden en in EC-scenario 1998+9= 2007.

Stap 4: Als de kans op eerste marktintroductie in NI kleiner is dan buiten NI (zie stap 4 bij kans op marktintroductie) kan er rekening worden gehouden met een extra termijn van diffusie naar NI. Dit is niet het geval en dus niet nodig.

Verzendlijst

1. Directeur-generaal RIVM
2. Prof. Ir N.D. van Egmond – directeur Milieu
3. Ir L. van Damme, Ministerie van Economische Zaken, Den Haag
4. Dr F.A. Vollenbroek, Directoraat Generaal Milieubeheer, Den Haag
5. Drs C.A.M. Baas, Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen,
Zoetermeer
6. Dr K. Blok, Universiteit Utrecht, Utrecht
7. Drs E. Luiten, Universiteit Utrecht, Utrecht
8. Drs R. Harmsen, Universiteit Utrecht, Utrecht
9. W.J.T.M.Appelman, Akzonobel
10. Ir J. Sluys, Akzonobel
11. Ir M. Braber, Shell
12. Drs A. Luiken, TNO
13. Depot Nederlandse Publicaties en Nederlandse Bibliografie, Den Haag
14. Ir F. Langeweg – sectordirecteur Milieu
15. Dr J.A Hoekstra, labhoofd LAE
16. Drs R.J.M Maas, hoofd MNV
17. Ir R. van den Berg
18. Ir A.H.M. Bresser
19. Ir D. van Lith
20. Ir K. Visscher
21. Dr T.G. Aalbers
22. Drs ing W.F. Blom
23. H. Booij
24. Dr L.C. Braat
25. Dr E. Drissen
26. Mr. G.L.Duvoort
27. Dr. H.E. Elzenga
28. Ir R.F.J.M. Engelen
29. Drs A.H. Hanemaaijer
30. Ir.N.P.J. Hoogervorst
31. Dr Ir A.M. Idenburg
32. Dr M.A. J Kuijpers-Linde
33. Ir J.M.H. Mülschlegel
34. Drs D. Nagelhout
35. Drs J.G.J Olivier
36. Ing C.J. Peek
37. Dr R. Thomas
38. Drs J.A. Oude Lohuis
39. Prof Dr G.P. van Wee

-
- 40. Dr ir L.G. Wesselink
 - 41. Ir K. Wieringa
 - 42. Dr H.C. Wilting
 - 43. Drs J.J. van Wijk
 - 44. R.A. van den Wijngaart
 - 45-46. Auteurs
 - 47. SBD/Voorlichting & Public Relations
 - 48. Bureau Rapportenregistratie
 - 49. Bibliotheek RIVM
 - 50-70. Rapportenbeheer
 - 71-80. Extra exemplaren