

ORATIE

Marko P. Hekkert



Marko Hekkert (1971) studeerde scheikunde aan de Universiteit Utrecht, specialiseerde in Natuurwetenschap en Samenleving en promoveerde op het proefschrift 'Improving Material Management to Reduce Greenhouse Gas Emissions'. Gedurende zijn promotie kreeg hij het inzicht dat veel studies aangeven dat er ruim voldoende technologisch potentieel is om milieuproblemen aan te pakken maar dat er in de praktijk dit potentieel maar in zeer kleine mate wordt benut. De interesse in het vakgebied innovatiewetenschap was toen geboren. In plaats van door te rekenen aan wat er technologisch mogelijk is besloot hij te bestuderen hoe technologische verandering plaatsvindt en welke factoren hierop van grote invloed zijn. Dit heeft hij negen jaar gedaan als (senior) docent-onderzoeker bij het department Innovatie en Milieuwetenschappen, faculteit Geowetenschappen en was hij verbonden aan de opleiding Natuurwetenschap en Innovatiemanagement.

In zijn oratie gaat hij in op de generieke problemen waarmee duurzame innovaties te maken krijgen, welke problemen specifiek zijn voor het realiseren van duurzame innovaties in Nederland en introduceert hij het analysekader 'technologische innovatiesystemen' om duurzame innovatietrajecten beter te begrijpen waardoor effectievere interventies mogelijk worden.

Naar een duurzaam innovatieklimaat

Universiteit Utrecht



Naar een duurzaam innovatieklimaat

Inaugurale rede in verkorte vorm uitgesproken
op 21 oktober 2008 bij de aanvaarding van het
ambt van hoogleraar 'dynamiek van innovatiesystemen'
aan de faculteit Geowetenschappen.

Marko P. Hekkert

Universiteit Utrecht



COLOFON

ISBN

97890

Uitgave

Universiteit Utrecht, 2008

Grafische verzorging

Geomedia – Faculteit Geowetenschappen – Universiteit Utrecht

Druk

Bergdrukkerij – Amersfoort

Mijnheer de rector, geachte aanwezigen,

De meeste van u zijn, zo ik mag hopen, hier gekomen met de verwachting een aangename middag door te brengen in dit prachtige academiegebouw. Toch wil ik beginnen met een onaangename boodschap.

Wij spelen als samenleving met vuur. Dit mag u in dit geval ook vrij letterlijk opvatten. Om te voorzien in onze dagelijkse behoeften en welvaart verbranden we met ons allen gigantische hoeveelheden energie en gebruiken we grote hoeveelheden materialen. Dit gaat gepaard met enorme emissies van broeikasgassen waarvan koolstofdioxide, CO₂, de belangrijkste is. Het wordt steeds duidelijker en zekerder dat dit grote effecten heeft op de opwarming van het klimaat. Al jaren waarschuwt de wetenschap voor de mogelijke effecten van een mondiale stijging van de temperatuur op aarde. U kent de verhalen over stijgende zeespiegels, warme zomers en grotere kansen op stormen. Dit is natuurlijk vervelend maar met wat dijkverhogingen, airconditioning en goed ontworpen gebouwen kunnen we dit gevaar wel keren denkt u misschien. Waar blijft nu die onaangename boodschap?

Wel nu, het wordt steeds duidelijker dat de opwarming van de aarde groter zal zijn dan eerder werd gedacht en dat dit zeer grote aantallen mensen zal bedreigen in hun voortbestaan. Onderzoek van Parry en collega's (2001) laat zien dat bij een mondiale stijging van de temperatuur met twee graden het leven van 50 miljoen mensen wordt bedreigd door hongersnood en kustoverstromingen¹. Het leven van nog eens 200 miljoen mensen wordt bedreigd door malaria, maar de echt grote risico's komen van dreigend watertekort. Het leven van mogelijk een tot drie *miljard* mensen wordt bedreigd wegens watertekorten die gaan ontstaan door opwarming van de aarde. Dit wordt met name veroorzaakt door de locatie van een aantal Chinese megasteden die maakt dat zij erg veel last van watertekorten zullen krijgen. Het drama zal zich niet beperken tot de Chinese regio als die mensen zich gaan oriënteren op betere plekken om te gaan wonen. Ik wil u niet bang maken door een beeld op te roepen van miljoenen chinezen die aan de grens staan te kloppen maar we zullen er serieus rekening mee dienen te houden dat klimaatverandering gaat zorgen voor grote sociaal-economische effecten. De meest recente klimaatscenario's laten zien dat een stijging van de

temperatuur van twee graden eigenlijk nauwelijks te voorkomen is en dat we dus serieus rekening moeten gaan houden met dit type gevolgen. Niet voor niets coördineert de faculteit Geowetenschappen een groot onderzoeksprogramma ‘kennis voor klimaat’ dat zich richt op adaptatiestrategieën.

De sceptici onder u zullen misschien denken. Ach weer zo’n milieuprobleem. We zijn tot nu toe toch heel succesvol geweest in het oplossen van allerlei milieuproblemen? Zo hadden we een groot probleem met de ozonlaag. We hebben toen CFK’s als koelmiddel verboden en het probleem was opgelost. Ook hadden we veel last van zure regen met als gevolg doodgaande bossen (Das grosse Waldsterben). Echter, na het ontzwellen van brandstoffen en door het aanbrengen van goede rookgasreiniginginstallaties was dat probleem ook opgelost. Ook hadden we last van te veel lood in het milieu dat kankerverwekkend bleek, maar loodvrije benzine heeft dat probleem verholpen. Een laatste voorbeeld dat misschien nog vers in uw geheugen ligt is de enorme toename van algengroei in oppervlaktewater – eutrofiering – waardoor massale vissterfte optrad. In dit geval bleken onze wasmiddelen de boosdoener en na het verwijderen van fosfaten uit wasmiddelen gaat het weer prima met de visstand. Kortom, zo redeneert u misschien, we maken er als mensen soms een zootje van, maar we zijn gelukkig ook in staat om de problemen weer snel op te lossen.

Wat maakt dit probleem van klimaatverandering anders, naast de al geconstateerde enorme impact? In tegenstelling tot de zo juist genoemde milieuproblemen is de menselijke bijdrage aan klimaatverandering verbonden met elk denkbaar stukje van onze economie en samenleving. Wat we ook doen – voortbewegen, werken, wonen, kleden, eten, televisie kijken, lezen, slapen, sporten – voor alles gebruiken we dan wel energie dan wel materiaal waarvoor ook weer energie nodig was om dit te maken. Het echt serieus aanpakken van het klimaatprobleem vraagt dus om grote veranderingen in alle sectoren in onze samenleving. Dit is heel anders dan het geval was bij de eerdere genoemde milieuproblemen waarbij maar een klein stukje van de economie diende te veranderen om het probleem op te lossen. In het geval van de eutrofiering van oppervlaktewater bijvoorbeeld, was een goede afspraak met een paar bedrijven zoals Unilever en Procter & Gamble voldoende om een groot deel van het probleem op te lossen.

Om maatschappelijke problemen zoals klimaatverandering het hoofd te bieden dienen we dus de functies in onze maatschappij die wij belangrijk vinden zoals mobiliteit, energievoorziening, voedselvoorziening, en wonen op een dusdanige manier in te vullen dat de negatieve invloed op milieu en maatschappij minimaal is. Dit vraagt om grote veranderingen in technologie, maar ook in gedrag van consumenten, in regelgeving en manieren van produceren. Dit soort veranderingsprocessen zullen verschillende generaties de tijd vergen en worden aangeduid als technologische transitie²⁻⁵. De laatste jaren krijgt het bestuderen van technologische transitie veel aandacht. In Nederland werken veel onderzoekers, waaronder wij in Utrecht, op dit thema samen binnen het Kennisnetwerk Systeeminnovaties (KSI). Gezien de omvang van de problemen waar we voor staan is deze aandacht zeker terecht. Het is echter geen makkelijk fenomeen om te onderzoeken. Zowel de enorme omvang als de tijdschaal maakt het een lastig onderwerp van studie.

In Utrecht hebben we er daarom gekozen om een klein stukje van deze technologische transitieprocessen beter te begrijpen. Wij focussen op een van de processen die erg belangrijk is binnen technologische transitie, en dat is duurzame innovatie. Innoveren is het succesvol ontwikkelen en toepassen van nieuwe kennis, producten of technologie. Met duurzame innovatie bedoel ik succesvol toegepaste nieuwe kennis dat bijdraagt aan het verkleinen van de negatieve impact van onze activiteiten op milieu en samenleving ten opzichte van de bestaande situatie.

Dit proces van duurzame innovatie of duurzame technologische verandering kan niet worden begrepen zonder de wisselwerking met de samenleving mee te nemen. Nieuwe technologie heeft namelijk een grote invloed op hoe wij ons gedragen. Zo was het niet zo lang geleden volstrekt normaal dat iemand telefonisch onbereikbaar was aangezien de persoon in kwestie niet thuis was. Met de komst van de mobiele telefoon zijn de verwachtingen over bereikbaarheid sterk veranderd. Aan de andere kant bepalen preferenties van gebruikers en gedeelde normen en waarden in de maatschappij welke innovaties al dan niet een succes worden. Was er vroeger één type standaard fiets, tegenwoordig hebben de verschillende behoeften van fietsers geleid

tot een hele range aan fietstypen zoals ligfietsen, bakfietsen voor het vervoer van kinderen, elektrische fietsen, hybride fietsen, enzovoorts. Veranderingen in fietstechnologie leiden weer tot andere gebruikerspraktijken. Ben je net gewend aan mountainbikers tijdens boswandelingen, dien je tegenwoordig ook tijdens het bergwandelen op steile onverharde bergpaadjes uit te kijken voor zogenaamde down-hill fietsers. Een typisch voorbeeld dat technologische vooruitgang niet altijd goed is. Omdat technologie en maatschappij elkaar sterk beïnvloeden gedurende hun ontwikkeling, men spreekt hier over co-evolutie⁶, is het eigenlijk niet juist om te praten over technologische verandering. Beter is socio-technologische verandering^{3,7-9}. Aangezien dat een hele mond vol is, gebruik ik in deze rede toch de term technologische verandering maar nu weet u dat dit een afkorting betreft.

Duurzame technologische verandering ten behoeve van het oplossen van maatschappelijke problemen blijkt geen eenvoudig proces. Zo voeren we in Nederland al sinds 1990 klimaatbeleid met het gevolg dat nu ongeveer 3% van onze energievoorziening bestaat uit duurzame energie. Dit is natuurlijk een droevig resultaat. Een ander voorbeeld dat dit soort duurzame technologische verandering een moeizaam proces is komt uit Californië. Autofabrikanten worden sinds 1990 door de staat Californië onder druk gezet om zogenaamde nul emissie auto's te produceren. Als fabrikanten niet aan de norm voldoen is de uiterste consequentie dat ze worden geweerd van de Californische markt. De omvang van de automarkt in Californië is gigantisch en dus is het de autobedrijven er veel aan gelegen om op deze markt actief te blijven. Uit ons onderzoek blijkt dat deze regelgeving weliswaar heeft geleid tot meer onderzoeksactiviteiten op het terrein van emissiearme en zuinige auto's maar dat tevens heel veel aandacht is gericht op het afzwakken van de Californische regels^{10,11}. Met succes overigens. Bijna 20 jaar later rijden er nog nauwelijks nul emissie auto's rond in Californië. Sterker nog, de trend de afgelopen jaren was vooral gericht op het op de markt brengen van SUV's met hoog brandstofgebruik. De hoge olieprijs hebben Amerikaanse autobedrijven eindelijk het licht doen laten zien. Recentelijk is tot 50 miljard aan zachte leningen aangevraagd bij de Amerikaanse overheid om energiezuinige technologie te ontwikkelen¹². Het is ongelofelijk dat de bestuurders van deze gigantische bedrijven niet in staat zijn geweest de trend naar zuinigere

autotechnologie zelf te zien aankomen en dat terwijl Californië een niet te misstaan signaal heeft gegeven.

Een centrale missie van deze leerstoel is dan ook te begrijpen waarom duurzame innovaties zo moeilijk tot stand komen en wat betrokken partijen er aan kunnen doen om dit te verbeteren. Natuurlijk zijn een aantal generieke mechanismen wel bekend.

De eerste reden waarom het niet gemakkelijk is om de richting van technologische ontwikkeling of innovatie te veranderen is het feit dat innovatie een padafhankelijk proces is. U moet het innovatieproces eigenlijk zien als een zoekproces. Ingenieurs en wetenschappers die bezig zijn met vernieuwing hanteren impliciete zoekregels. Deze zoekregels dicteren hoe bepaalde problemen opgelost dienen te worden¹³. Men spreekt ook wel van een technologisch paradigma waarbinnen naar oplossingen wordt gezocht¹⁴. Een belangrijk paradigma binnen de auto-industrie is dat de aandrijving plaatsvindt door een interne verbrandingsmotor. Dit heeft tot gevolg dat nieuwe ontwikkelingsrichtingen vaak niet worden overwogen. We spreken dan van padafhankelijkheid. Als een pad ver genoeg wordt doorgezet ontstaan allerlei schaalvoordelen waardoor de technologie in kwestie steeds goedkoper wordt¹⁵. Ook ontstaan er allerlei wisselwerkingprocessen tussen de nieuwe technologie en de maatschappij. Om het auto voorbeeld weer aan te halen. Een ottomotor draait op benzine wat tot gevolg heeft gehad dat er een hele op olie gebaseerde raffinage industrie is ontstaan om benzine te leveren middels een zeer fijnmazig distributienetwerk. Een deel van de Nederlandse begroting is afhankelijk van de belastinginkomsten op benzine en de hele kennisbasis van onderhoudsmonteurs is gebaseerd de interne verbrandingsmotor. De enorme interactie tussen technologie en allerlei partijen en instituties wordt ook wel aangeduid als een techno-institutioneel complex¹⁶. Het gevolg is het wel bekende fenomeen van lock-in¹⁷. Doormiddel van de term lock-in, geven we aan dat we vast zitten in een technologisch traject. Dit hoeft op zich natuurlijk geen probleem te zijn maar als het een niet duurzaam traject betreft, dan hebben we een probleem.

Een tweede reden betreft de duurzame innovatie zelf. In eerste instantie kan deze op bijna geen enkel vlak concurreren met bestaande technologie. De

bestaande technologie heeft namelijk een lange leercurve doorlopen¹⁸⁻²⁰. Door grote productieaantallen hebben allerlei leerprocessen plaatsgevonden waardoor de technologie goedkoop is geworden en optimaal aangepast aan de wensen en behoeften van de klant. De nieuwe technologie bevat weliswaar de belofte van schone technologie, maar het is nog zo duur en vol met gebreken dat concurrentie met bestaande technologie bijna ondoenlijk is. Een aardige term die dit probleem kernachtig samenvat is dat de innovatie getypeerd kan worden als een 'hopeful monstrosity'²¹.

Een bijkomend punt hierbij is dat de gevolgen van nieuwe technologie niet gemakkelijk zijn te overzien. Hierdoor is het niet zeker of de nieuwe technologie wel een duurzame technologie is. Ik vertelde al dat we een tijd geleden lood uit benzine hebben gehaald en vervangen door loodvervangers, omdat lood kankerverwekkend blijkt te zijn. Nu blijken deze ook weer kankerverwekkend te zijn. We zullen dus op zoek moeten naar vervangers van de loodvervangers. Ook veilige technologie in auto's bijvoorbeeld is niet zonder neveneffecten. Door al deze toeters en bellen zijn de auto's enerzijds een stuk veiliger geworden met minder dodelijke ongelukken tot gevolg maar anderzijds zijn de auto's ook een stuk zwaarder geworden waardoor het brandstofgebruik van een auto nauwelijks is teruggedrongen de afgelopen decennia. We noemen dit 'rebound effecten'. Het is dan ook om deze reden dat Technology Assessment een belangrijk thema is in onze groep en onderwijsprogramma. Middels Technology Assessment probeert men in een vroegtijdig stadium inzicht te krijgen in de mogelijke effecten van nieuwe technologie en wordt gezocht naar strategieën die leiden tot een goede inpassing van technologie in onze samenleving^{22, 23}.

Een derde reden voor de ongelijke strijd is dat radicaal andere technologieën vaak erg bedreigend voor gevestigde bedrijven die actief zijn in dezelfde markt. Ze zijn vaak niet in staat om de nieuwe technologie snel eigen te maken, terwijl deze wel sterk concurreert met hun eigen technologie en hun marktaandeel onder druk zet. Wat we dan ook vaak observeren is dat gevestigde bedrijven allerlei strategieën gaan hanteren om het de nieuwe technologie moeilijk te maken. U kunt hierbij denken aan het uitvergroten van de negatieve kanten van de nieuwe technologie en het beïnvloeden van beleidsmakers om bestaande regels vooral niet aan te passen ten gunste van de nieuwe technologie^{11, 24, 25}.

Samenvattend kunnen we dus stellen dat een snelle ontwikkeling en diffusie van duurzame technologie wordt gehinderd door de onvolmaaktheid van de technologie zelf, de inbedding van bestaande niet duurzame technologie in onze samenleving en de onmacht dan wel onwil van gevestigde bedrijven om succesvol op dit nieuwe traject in te springen.

Om de ontwikkeling en diffusie van duurzame innovaties te versnellen zijn deze algemene inzichten volstrekt onvoldoende. We zullen met meer detail en diepgang moeten begrijpen waar het precies fout gaat in de ontwikkeling en toepassing van duurzame innovaties zodat we hele gerichte aanbevelingen kunnen doen om dit proces te versnellen.

Ik ga u nu dan ook vertellen wat de kern is van deze leerstoel en op welke wetenschappelijke uitgangspunten deze is gebaseerd. Een van de meest dominante theoretische perspectieven in innovatiewetenschappen is dat van de innovatiesystemen. Dit perspectief is voortgekomen als reactie op de beperkte waarde van het tot dan toe standaard model van innovatie, namelijk het lineaire model^{26,27}. Het lineaire model stelt het innovatieproces voor als een op elkaar voortbouwende set van activiteiten. Eerst is er onderzoek, dit leidt tot nieuwe kennis, de ingenieurs bouwen op basis hiervan een prototype nieuwe technologie, dat wordt getest en indien goed bevonden wordt dit door de industrie op de markt gebracht waarna de consument het graag wil hebben. Ondanks het feit dat in veel innovatie processen een aantal van deze fasen zijn te herkennen onderbelicht het lineaire model de afhankelijkheden tussen wetenschap en technologie, tussen technologie en de economie maar ook tussen technologie en cultuur en politiek²⁸. In het innovatiesysteem raamwerk wordt de invloed van politieke, economische en culturele instituties op innovatie sterk benadrukt²⁷. Het innovatiesysteem bestaat uit drie verschillende componenten, namelijk partijen die in het bezit zijn van bepaalde competenties, kennisuitwisselingsrelaties tussen partijen en uit formele en informele regels. Het is de complexe interactie tussen deze componenten dat van grote invloed is op de snelheid en de richting van innovaties. Dit raamwerk is heel goed aangeslagen bij beleidsmakers. Dit is logisch aangezien het innovatiesysteemraamwerk een grote belofte in zich bergt. De belofte is als volgt: het is mogelijk om innovatie te

stimuleren doormiddel van beleid dat gericht is op het beter laten functioneren van het innovatiesysteem.

Door deze krachtige belofte is het innovatiesysteemraamwerk heel snel opgenomen in allerlei innovatiebeleidsdocumenten van de OECD, de Europese Unie en in veel Nationaal innovatiebeleid. Immers, innovatie is momenteel het toverwoord in het debat over langdurige economische groei. Ook binnen ons ministerie van Economische Zaken wordt gedacht in termen van innovatiesystemen bij het vormgeven van innovatiebeleid. We hebben het dan vooral over het nationale innovatiesysteem. Dit focusteert op de nationale condities voor innovatie.

Niet alleen binnen de beleidswereld is het snel gegaan met dit raamwerk, ook in de wetenschap wordt dit raamwerk veel gebruikt als leidend perspectief bij het beantwoorden van onderzoeksvragen. Wetenschappers buigen zich over de vraag waarom het ene land beter is in innovatie dan het andere, en onderzoeken hoe de structuur van het nationale innovatiesysteem dit kan verklaren²⁹⁻⁴⁰. Populair is ook de vraag waarom specifieke regio's het beter doen dan andere regio's. Dit heeft tot het concept regionale innovatiesystemen geleid⁴¹⁻⁴⁶. Iedere zich zelf respecterende regio roept zichzelf tegenwoordig uit tot een 'valley' of cluster, in navolging van Silicon Valley of de clusters van Porter⁴⁷. Zo hebben we in Nederland 'Energy Valley' rond Groningen en 'Food Valley' rond Wageningen en het 'High Tech cluster' rond Eindhoven, tegenwoordig ook 'Brainport' genoemd. In Utrecht zijn we wat bescheidener en noemen we onze trots op dit terrein een 'Science Park'. Het centrale idee is dat door de nabije aanwezigheid van een set bedrijven en kennisinstellingen, samen met lokaal aanwezig stimulerend beleid, er betere condities ontstaan voor innoveren.

De basisgedachte achter het innovatiesysteemdenken en het grote succes ervan maakt het logisch om dit concept te gebruiken voor het bestuderen van duurzame innovatie processen. Echter het raamwerk heeft een aantal beperkingen.

Ten eerste is de regionale afbakening van deze innovatiesystemen niet zo geschikt voor het bestuderen van specifieke technologische innovaties aangezien

in veel verschillende landen aan dezelfde nieuwe technologie wordt gewerkt. Het innovatiesysteem rond een technologie strekt zich dus uit over meerdere landen. Bovendien is maar een klein stukje van een Nationaal Innovatiesysteem van belang indien je als onderzoeker in een specifieke technologie bent geïnteresseerd. Zo is maar een klein deel van de aanwezige actoren, netwerken en regels van invloed op de ontwikkeling van een specifieke technologie. Gelukkig hebben goede collega's dit ook onderkend en hebben het idee van een technologisch innovatiesysteem ontwikkeld^{48, 49}. De afbakening van dit systeem is gelimiteerd tot die actoren, relaties en regels die specifiek van invloed zijn op de technologie in kwestie. Hiermee is deze beperking dan ook opgelost. In mijn onderzoek bestuur ik duurzame innovaties gebruik makend van het technologisch innovatiesysteem als leidend raamwerk.

Er zijn echter nog wat andere beperkingen die wél aandacht vragen. Het bijdragen of oplossen van deze beperkingen is een belangrijke wetenschappelijke uitdaging van mijn leerstoel. Het is u misschien opgevallen dat ik het steeds heb over het innovatiesysteem *raamwerk* of *concept*. Dit is nogal vaag denkt u misschien. Waarom is het geen theorie? Wel nu, de kennisbasis over innovatiesystemen is nog niet voldoende ontwikkeld dat we hypothesen toetsend onderzoek hebben kunnen doen naar de relatie tussen de 'structuur dan wel het functioneren van een innovatiesysteem' aan de ene kant en het 'succes op innovatie' aan de andere kant. Aan het oplossen van deze beperking wil ik graag een bijdrage leveren.

Een volgende beperking is dat het innovatiesysteem vooral wordt gebruikt als statisch concept. Er is veel aandacht voor het bestuderen van de structuur van een innovatiesysteem op een bepaald moment in de tijd. Er is nauwelijks aandacht voor hoe een innovatiesysteem ontstaat en opbouwt. Ook aan het oplossen van deze beperking wil ik een bijdrage leveren door de dynamiek van innovatiesystemen te bestuderen.

De laatste beperking ten slotte, is dat er veel te weinig aandacht binnen de innovatiesysteemstudies is voor de microlaag. Hiermee bedoel ik het gedrag van ondernemers en bedrijven. Het is juist de wisselwerking tussen het gedrag van ondernemers en de institutionele context die bepalend is voor hoe een innovatiesysteem functioneert en verandert. Door sommige wetenschappers

wordt het innovatieconcept verlaten omdat ze het te institutioneel van karakter vinden met te weinig aandacht voor gedragingen van ondernemers. Dit leidt dan weer tot een wildgroei van nieuwe concepten zoals innovatie ecosystemen. Ik wil dan ook graag bijdragen aan het oplossen van deze beperking door het versterken van de microkant van innovatiesystemen.

Door bij te dragen aan kennisontwikkeling ten aanzien van deze drie beperkingen, dus: gebrek aan theoretische kracht, te weinig aandacht voor dynamiek en voor het micro niveau, hopen we in Utrecht een belangrijke bijdrage te leveren aan theorieontwikkeling op het terrein van innovatiesystemen zodat we op basis hiervan een zinnige bijdrage kunnen leveren aan kennis over interventiestrategieën zodat de slagingskans van duurzame innovaties wordt vergroot. Uiteindelijk moet dit bijdragen aan de transitie naar een beter en duurzamere samenleving.

Hoe doen we dit?

Wel, door gebruik te maken van, in mijn ogen, de belangrijkste theoretische bijdrage aan het innovatiesysteemraamwerk van de afgelopen jaren: de zogenaamde ‘functies van innovatiesystemen’. Ik heb dit helaas niet zelf bedacht. Nee, de eer komt toe aan een Zweedse promovenda, Anna Bergek, die middels uitgebreid literatuuronderzoek een voorstel heeft gedaan ten aanzien van welke activiteiten in een innovatiesysteem dienen plaats te vinden zodat een innovatiesysteem opbouwt en de ontwikkeling en toepassing van innovaties optimaal wordt ondersteund⁵⁰. Kortom: wat dient er in een innovatiesysteem te gebeuren wil een innovatiesysteem optimaal functioneren? In verschillende metastudies wordt deze aanpak toegejuicht aangezien het elementen uit de systeemdynamica gebruikt om te komen tot theorieontwikkeling^{51,52}. Tot dan toe werd er eigenlijk geen gebruik gemaakt van inzichten uit systeemdynamica om het innovatiesysteem concept te verbeteren.

Aangezien we dit in Utrecht niet zelf hebben bedacht, hebben we een Japanse innovatiestrategie gevolgd: kopiëren en beter maken. In nauwe samenwerking met de Zweden en aanvullend literatuuronderzoek zijn wij op de volgende functies van innovatiesystemen uitgekomen (zie tabel 1).

Tabel 1: *Functies van Innovatiesystemen*

- F1: Experimenten door ondernemers
- F2: Kennisontwikkeling
- F3: Kennisuitwisseling
- F4: Richting geven aan het zoekproces
- F5: Marktformatie
- F6: Mobiliseren van middelen
- F7: Creëren van legitimiteit/doorbreken van weerstand tegen verandering

Ten eerste zijn experimenten door ondernemers erg belangrijk. Zonder ondernemers die risico durven te nemen en actief experimenteren met nieuwe technologie is er eigenlijk geen sprake van een innovatiesysteem. Deze experimenten kunnen worden verricht door startende ondernemers die volledig gericht zijn op de nieuwe technologie of door gevestigde bedrijven die hun portfolio van producten diversifiëren.

Ten tweede is het belangrijk dat er voldoende kennis wordt ontwikkeld ten aanzien van de nieuwe technologie. Dit kan fundamentele of toegepaste kennisontwikkeling zijn over hoe de technologie werkt, maar ook kennisontwikkeling over hoe technologie het best kan worden ingepast in bestaande gebruikerssituaties. Ook kennisontwikkeling waarbij de input van gebruikers centraal staat valt hieronder.

Het is belangrijk dat de opgedane kennis toegankelijk is voor meerdere partijen in het innovatiesysteem en dat er van elkaar wordt geleerd. De derde functie is dan ook kennisuitwisseling.

De vierde functie is richting geven aan het zoekproces. Eerder heb ik het begrip padafhankelijkheid uitgelegd. Het is mogelijk van bestaande paden af te wijken als alternatieve paden ook zichtbaar zijn. Door het creëren van verwachtingen over nieuwe technologische routes en door het stellen van ambitieuze doelen die een nieuwe richting aangeven worden verschillende partijen verleid om in het nieuwe traject te stappen.

Voor nieuwe producten is een markt nodig, dit is functie vijf. Zonder markt, geen winst voor ondernemers en dus zal er weinig animo zijn bij ondernemers om in het nieuwe traject te investeren. In het begin van een nieuw technologisch

traject is de markt vaak erg klein omdat de innovatie vaak relatief duur is en ook qua functionaliteit nog lang niet is geoptimaliseerd, zoals ik eerder heb uitgelegd. Toch is er vaak een kleine groep consumenten die bereid zijn veel geld te betalen voor het nieuwe product omdat zij wel de voordelen van het nieuwe product inzien en een voorliefde hebben voor nieuwe technologie⁵³. We noemen dit een nichemarkt. Deze kleine markt kan vervolgens worden gebruikt om te leren, productieprocessen te optimaliseren waardoor het product goedkoper en beter wordt. Dan wordt het ook interessant voor grotere groepen consumenten waardoor de markt groeit. Voor duurzame producten werkt dit helaas anders. Ook hier is er vaak sprake van een kleine groep consumenten die uit idealistische overwegingen bereid is duurzame innovaties te adopteren. Voor duurzame innovaties is het echter vaak moeilijk om de grote groep consumenten te bereiken omdat de voordelen van de nieuwe technologie in eerste instantie het milieu ten goede komen en niet direct de behoeften van de consument. Als de prijs dan toch hoger is dan concurrerende, niet duurzame producten, dan blijft het markt aandeel klein. Het blijft dus een nichemarkt. Er is dan ook in veel gevallen hulp nodig van een overheid die met behulp van verschillende instrumenten de mogelijkheid heeft om markten te creëren voor duurzame innovaties. Zo kan de overheid zelf duurzame innovaties inkopen, dit noemen we 'launching customer', ze kan ook quota vaststellen die gehaald dienen te worden, dit is gebeurd met biobrandstoffen, of de overheid kan producten subsidiëren dan wel de niet duurzame producten extra belasten.

De zesde functie is het mobiliseren van voldoende middelen, zowel geld als menselijk kapitaal. Het ontwikkelen en produceren van nieuwe technologie kost veel geld en vereist goed opgeleide mensen. Veel innovaties lopen vast omdat deze middelen in onvoldoende mate beschikbaar zijn voor de innovatie in kwestie. Steeds meer sectoren halen tegenwoordig de krant met een noodkreet om goed opgeleid personeel, zie bijvoorbeeld⁵⁴.

Ten slotte is het belangrijk dat de weerstand van de gevestigde belangen wordt doorbroken. Ik ben eerder in mijn betoog ingegaan op de oorzaken en gevolgen van deze weerstand. Het doorbreken hiervan vereist zorgvuldige lobby acties, goed georganiseerde netwerken van partijen die de nieuwe technologie verder willen brengen en het vraagt om het verrichten van allerlei activiteiten die de legitimiteit van de nieuwe technologie verhogen.

Een belangrijke toegevoegde waarde van het onderzoek in Utrecht is dat wij hebben aangetoond dat deze zeven functies van het innovatiesysteem inderdaad cruciaal zijn voor de ontwikkeling van het systeem. Het afwezig blijven van bepaalde functies leidde tot stagnatie in de ontwikkeling van de innovatiesystemen terwijl het aanwezig zijn van deze functies leidde tot een groei van het innovatiesysteem en een sterke diffusie van de technologie in kwestie⁵⁵. Waar de Zweden van begin af aan zijn uitgegaan van het juist zijn van deze theorie, hebben wij de empirische onderbouwing geleverd, zie onder andere^{24,55-62}.

Een tweede belangrijke toevoeging aan de bestaande kennisbasis is dat we hebben geleerd is dat de functies elkaar beïnvloeden waardoor zelfversterkende cycli van gebeurtenissen ontstaan. Het is de complexe interactie tussen de functies die uiteindelijk de dynamiek van innovatiesystemen bepaalt. Deze verwachting was ook al door de Zweden opgeschreven (geen wonder dat we Prof. Jacobsson naar Utrecht hebben gehaald als visiting professor) maar ook nu weer als hypothese en weer niet netjes empirisch onderbouwd en aangetoond.

Ik zal nu een hypothetisch voorbeeld geven hoe functies elkaar kunnen beïnvloeden. Doordat de technologische verwachtingen rond een nieuwe technologie hooggespannen zijn, stappen meer onderzoekers en ondernemers in het technologische traject. Door hun betrokkenheid nemen de beschikbare middelen toe. De instroom van de partijen versterkt de verwachtingen dat dit nieuwe traject een succes zou kunnen worden. De hogere verwachtingen rond de nieuwe technologie, gepaard gaand met lobby acties van de ondernemers doet de overheid besluiten maatregelen te nemen waardoor een eerste markt voor de nieuwe technologie ontstaat. Dit is vervolgens weer een signaal voor nieuwe ondernemers om ook dit traject in te stappen, en zo verder. De ene gebeurtenis heeft in dit fictieve voorbeeld een positief effect op de volgende waardoor de snelheid van gebeurtenissen toeneemt en acceleratie van de opbouw van het innovatie systeem ontstaat. We noemen deze zelfversterkende cycli ook wel cumulatieve causatie of motoren van verandering⁶³.

Het is ook mogelijk dat functies zo slecht worden vervuld dat ze andere functies in het innovatiesysteem negatief beïnvloeden. Het uitblijven van een markt,

kan investeerders schuw maken, waardoor ondernemers moeten stoppen met experimenteren en de verwachtingen rond de nieuwe technologie helemaal inzakken.

Het feit dat we deze bijdragen hebben kunnen leveren komt doordat we een zeer strak research design hebben toegepast bij het analyseren van de historische ontwikkeling van innovatiesystemen rond duurzame innovaties. Door te spitten in allerlei archieven zijn per duurzame innovatie zoveel mogelijk gebeurtenissen die in het verleden hebben plaatsgevonden boven tafel gehaald. Deze gebeurtenissen zijn opgeslagen in databases, waarbij ze op chronologische volgorde zijn geordend. Zo'n database bestaat uit honderden tot niet duizenden gebeurtenissen. We hebben onderzocht of het mogelijk was om de grote set aan gebeurtenissen te verbinden met de verschillende functies van innovatiesystemen. Dit bleek heel goed mogelijk te zijn en zo hebben we onze bijdrage geleverd aan de empirische validatie van de theoretische set functies. Doordat de gebeurtenissen chronologisch zijn gecategoriseerd, hebben we ook inzicht weten te krijgen in hoe de verschillende functies elkaar beïnvloeden en hebben we de aanwezigheid van motoren van verandering in groeiende innovatiesystemen empirisch kunnen aantonen. Momenteel zijn we bezig om te komen tot een typologie van veel voorkomende motoren. Dit wordt in ons wetenschappelijke veld met grote belangstelling gevolgd aangezien we middels deze motoren een belangrijk mechanisme in beeld hebben dat de dynamiek van innovatiesystemen bepaalt.

De reden dat de Zweedse collega's deze methode niet hebben toegepast is de enorme bewerkelijkheid ervan. Ik kom daar in mijn dankwoord op terug, maar dankzij monnikenwerk van AiO's en studenten hebben we ons in dit opzicht weten te onderscheiden van veel andere studies op dit terrein.

Het is denk ik tijd voor een voorbeeldje om te laten zien wat we kunnen leren van dit type analyses. Ik zal daartoe inzoomen op de ontwikkeling van vloeibare biobrandstoffen als autobrandstof in Nederland. Biobrandstoffen staan momenteel erg in belangstelling van de pers en u zult allen bekend zijn met dit fenomeen. In feite komt het neer op het gebruik van plantaardig materiaal als grondstof voor brandstof.

Onze analyse laat zien dat het rond 1990 was dat biobrandstoffen voor het eerst op belangstelling konden rekenen in Nederland. Dit was onder invloed van richting gevende regels vanuit de Europese Unie die biobrandstoffen promootten. Het was niet de Nederlandse overheid die dit thema oppikte maar met name allerlei ondernemers en gemeenten. Zij wilden graag experimenteren en lobbyden in Den Haag voor belastingvrijstelling op biobrandstoffen om het betaalbaar te krijgen. De Nederlandse overheid wist niet goed wat ze aan moesten met deze ontwikkeling. Aan de ene kant leek het een mooie route naar het gebruik van meer hernieuwbare energie maar de tegenlobby vanuit de wetenschap en milieubeweging wees op de beperkte milieuvordelen en aanzienlijke aanslag op landgebruik. Deze ambigue vorm van richting geven leidde tot de situatie dat projecten op individuele basis beoordeeld werden voor belastingvrijstelling en dat er geen generieke regeling werd getroffen. Dit leidde tot veel onzekerheid bij ondernemers en leidde tot de situatie dat er wel her en der projecten plaatsvonden maar niet een snelle diffusie zoals in Duitsland het geval was. Hier werden wel generieke belastingvrijstellingen verstrekt. In Nederland trok de regering ondertussen geld uit voor de kennisontwikkeling op het terrein van de zogenaamde tweede generatie biobrandstoffen. Deze worden gemaakt uit houtachtige gewassen waardoor ze een veel hogere opbrengst hebben per hectare en nauwelijks concurreren met voedsel. Onderzoek naar het verbeteren van de eerste generatie biobrandstoffen werd bewust niet gefinancierd. Na jaren onderzoek waren er verschillende technologische doorbraken en de Nederlandse overheid probeerde bedrijven te verleiden te experimenteren door te investeren in een proeffabriek. Hiervoor waren middelen beschikbaar gesteld. Geen van de bedrijven was geïnteresseerd aangezien de markt voor biobrandstoffen in Nederland nog niet van de grond was gekomen en dit investeringen in een fabriek veel te onzeker maakten. Mede door deze teleurstelling stakte de ontwikkeling van tweede generatie biobrandstoffen binnen dit onderzoeksprogramma. Ondertussen werd het richting geven door de EU versterkt en de druk om biobrandstoffen daadwerkelijk te gaan gebruiken nam toe. De Nederlandse overheid realiseerde zich dat ze niet op de tweede generatie kon wachten en begon alsnog de eerste generatie alternatieven te stimuleren middels onderzoeksgeld. Uiteindelijk is aan de Europese verplichtingen voldaan door een bijmengverplichting in te stellen, maar het resultaat hiervan is dat het overgrote merendeel van de biobrandstoffen worden

geïmporteerd zonder veel toegevoegde waarde voor Nederlandse ondernemers. Het innovatiesysteem in Nederland was overduidelijk nog niet klaar om aan deze markt vraag te kunnen voldoen. Indien de overheid vanaf het begin de eerste generatie had gezien als een opstapje naar de tweede generatie dan had de situatie er nu heel anders uit gezien.

Toch is de aarzeling van de Nederlandse overheid wel te begrijpen gezien de zeer heftige debatten rond biobrandstoffen gedurende het afgelopen jaar. Hierin hebben we een sterke kentering waargenomen in het richting geven aan het zoekproces waardoor de publieke opinie over biobrandstoffen drastisch is veranderd. Door een ijzersterke lobby van de milieubeweging worden biobrandstoffen momenteel geassocieerd met kaalkap van tropische regenwouden en worden ze gezien als belangrijkste oorzaak van de stijgende voedselprijzen. Eerste generatie biobrandstoffen hebben afgedaan en de hoop is nu gevestigd op de tweede generatie. Het tragische aan dit verhaal is dat het hele innovatiesysteem rond biobrandstoffen een enorme knauw heeft gekregen van de heftige lobby tegen de eerste generatie biobrandstoffen. De politiek durft het onderwerp biobrandstoffen niet meer aan te raken, investeerders schrikken terug van de emotionele reacties in de samenleving en ondernemers schatten de markt nu als zeer volatiel en risicovol in. Dit alles is ook negatief voor de tweede generatie biobrandstoffen. Veel innovatiesysteemfuncties die nodig zijn om het innovatiesysteem rond tweede generatiebiobrandstoffen op te bouwen hebben langdurige schade ondervonden van de recente negatieve media-aandacht. In mijn bescheiden mening heeft de harde en gepolariseerde antilobby de weg naar een duurzaam brandstoffensysteem om deze reden alleen maar opgebroken in plaats van verkort.

Ik heb de werkelijkheid natuurlijk te kort gedaan door 20 jaar geschiedenis van biobrandstoffen samen te vatten in een paar minuten. Ik verwijz u naar de uitgebreidere publicaties van ons voor een genuanceerder beeld^{61,62}. Wat ik nu zal doen is op basis van ons onderzoek naar biobrandstoffen, maar ook op basis van de andere case studies lessen trekken over de typische dynamiek van de ontwikkeling van duurzame innovatiesystemen in Nederland.

Ten eerste valt op dat wij een echt onderzoekslandje zijn. We zijn altijd op zoek naar betere opties. Het liefst utopische opties. Met betrekking tot duurzame

technologie kiezen we liever niet voor een nog niet ideale technologie. Liever wachten we op een volgende generatie die beter is. In het biobrandstoffen voorbeeld werd dit krachtig aangeduid als eerste versus tweede generatie. We geloven dus meer in onderzoek en ontwikkeling dan in 'leren door te doen'. We vinden het blijkbaar moeilijk om verbeteringen voor te stellen in nieuwe technologie. In de media worden de prestaties van nieuwe technologie één op één vergeleken met de prestaties van bestaande uitontwikkelde technologie. Zo zijn biobrandstoffen veel te duur vergeleken met gewone brandstoffen of gebruiken ze veel te veel kunstmest waardoor de energiebalans niet goed is. Echter, op het moment dat we technologieën gaan gebruiken worden ze goedkoper en efficiënter. Wat we in Nederland veel te veel doen is elke technologie doodrekenen op basis van de huidige prestaties. Het ultieme gevolg is natuurlijk dat er eigenlijk niets gebeurt, behalve meer kennisontwikkeling. U snapt natuurlijk wel, als we echt iets aan het klimaatprobleem willen doen dan moeten we emissie arme technologie gaan *gebruiken*, en niet alleen ontwikkelen. Ik heb u eerder uitgelegd dat nieuwe technologie vaak nog verre van volmaakt is, aangeduid als 'hopeful monstrosities'. Dit is nu eenmaal een karakteristiek van innovaties. Uit de innovatietheorie weten we dat 'leren door te doen' altijd nodig is om producten te verbeteren en goedkoper te krijgen. Eerder onderzoek uit onze groep door Linda Kamp heeft laten zien dat de Denen succesvoller zijn geweest in de opbouw van een windenergie sector doordat ze zich sterk hebben toegelegd op het leren van gebruikerservaringen⁶⁴. Zie ook het werk van Garud en Karnoe⁶⁵. Ze zijn begonnen met kleine, eenvoudige, windturbines die ze geleidelijk aan hebben verbeterd. Nederland kon zich beroepen op kennis van aerodynamica en vliegtuigbouw en richtte zich op de ontwikkeling van zeer grote geavanceerde turbines. Leren door te doen speelde in Nederland bijna geen rol. Het gevolg kennen we. Nederland, fameus om zijn windmolens moet het nog steeds hebben van kinderdijk in plaats van een bloeiende windindustrie. Dus les 1 voor Nederland: zet in op een 'leren door te doen' strategie voor duurzame innovaties. Gebruik investeringen in onderzoek en ontwikkeling niet als een afstelstrategie.

Mijn tweede observatie: De tijdsperiode die nodig is voor innovatie wordt in Nederland schromelijk onderschat. We hebben in het biobrandstoffenvoorbeeld gezien dat tweede generatie biobrandstoffen niet zo snel ontwikkeld konden

worden als werd gedacht of gehoopt. Dit fenomeen komen we tegen in bijna al onze studies. Vaak duurt het meerdere decennia voordat het innovatiesysteem en de technologie zo goed is ontwikkeld dat grootschalige diffusie plaatsvindt. Doordat we dit onderschatten raken we te snel teleurgesteld in de voortgang en neemt enthousiasme bij beleidsmakers af om de technologie te ondersteunen. Ook het mislukken van projecten wordt eigenlijk niet aanvaard. Een paar projecten die niet goed gaan en de nieuwe technologie wordt zo goed als afgeschreven. Echter, innovatie en mislukkingen gaan hand in hand. Zonder mislukkingen geen innovatie. Les twee is dan ook: geef innovatie de tijd, accepteer falende projecten en leer hiervan.

Mijn derde observatie: in Nederland wordt technologie niet gezien als mensenwerk. De analyse van innovatiesystemen laat zien dat het succes van technologie wordt bepaald door mensen die werken aan de ontwikkeling van de technologie, mensen die bedrijvigheid durven op te starten, mensen die de technologie durven te kopen en mensen die bereid zijn te kapitaal te verstrekken. Wat deze mensen drijft zijn positieve verwachtingen ten aanzien van het slagen van deze technologie. Wanneer technologieontwikkeling wordt gezien als de uitkomst van een sociaal proces dan ligt continue stimuleringsbeleid voor de hand. Een te sterk fluctuerend beleid maakt mensen gefrustreerd en onzeker. Te hoge onzekerheden blijken funest te zijn voor het enthousiasme van mensen om door te gaan met werken aan nieuwe technologie. Uit ons onderzoek komt zeer sterk naar voren dat het energie-innovatiebeleid in Nederland zeer sterk fluctueert. Regelingen komen en regelingen gaan. Op zich is dit logisch te verklaren. Ik heb net gezegd dat innovatie een langdurig proces is. In het ideale geval wordt het innovatiesysteem gedurende deze lange periode geflankeerd met consistent en opbouwend beleid. Dit ideaal staat echter haaks op de snel wisselende politieke realiteit. Toch laat de praktijk in de ons omringende landen zien dat het wel mogelijk is: consistent beleid ondanks wisselende regeringscoalities. Les drie is dan ook: zorg voor een consistent beleid ten aanzien van duurzame innovaties.

Mijn vierde observatie: We vinden het in Nederland erg moeilijk om de zogenoemde vallei des doods, dit is de stap tussen onderzoek en marktintroductie,

goed te faciliteren. In de literatuur wordt dit de vallei des doods genoemd omdat juist in deze fase heel veel innovatieprojecten sneuvelen. In deze fase is veel kapitaal nodig voor het bouwen van productiefaciliteiten terwijl de onzekerheid over slagingskans erg groot is. Een grote kapitaalbehoefte gekoppeld aan een grote onzekerheid blijkt een slechte combinatie. In Nederland zijn we goed in het stimuleren van onderzoek, ook hebben we bij tijd en wijlen goede marktinstrumenten maar voor technologieën die daar tussenin zitten is er weinig. Op dit moment wordt er weliswaar hard gewerkt aan een setje instrumenten die dit kunnen versterken maar wat ontbreekt is kennis over hoe een innovatiesysteem functioneert als de technologie zich nog in de onderzoeksfase bevindt en hoe dit verandert op het moment dat marktintroductie wordt overwogen. Het gaat om andere partijen, veelal ondernemers, andere interacties, andere onzekerheden en daardoor andere wensen ten aanzien van beleid. Les vier is dan ook: Creëer een goed klimaat voor ondernemers gebaseerd op kennis over innovatiesysteemdynamiek.

Mijn vijfde observatie: Er is matige samenwerking tussen ondernemers wat leidt tot slecht functionerende innovatiesystemen. Het doorbreken van weerstand tegen verandering vraagt om een eenduidige boodschap vanuit het nieuwe veld. Het blijkt dat ondernemers die elkaar weten te vinden, samen lobbyen bij de overheid en de publieke opinie gezamenlijk beïnvloeden meer kans hebben op succes dan de slecht georganiseerde ondernemers. Wat ook opvalt, is de onderlinge strijd tussen ondernemers die betrokken zijn bij duurzame technologie. In plaats van samen op te trekken tegen de gangbare niet duurzame technologie wordt er fanatiek strijd geleverd over welke nieuwe technologie de beste oplossing is voor onze maatschappelijke problemen. In de Nederlandse context leidt dit vaak tot ellenlange maatschappelijke discussies over welke technologie de beste is en welke technologie nu wel of niet gestimuleerd dient te worden. Wat deze partijen dus doen is proberen de taart in hun voordeel verdeeld te krijgen. Wat ze dienen te doen is de taart groter maken. In plaats van tegen elkaar te concurreren dienen ze samen op te trekken om de lock-in situatie van bestaande, niet duurzame technologie te doorbreken. 'Running in packs' wordt dit genoemd door de vooraanstaande innovatiewetenschapper VandeVen⁶⁶. Het idee van running in packs komt uit de wielerved. Als wielrenners een etappe willen winnen dan proberen ze te ontsnappen uit het peloton met een groepje

sterke collega-wielrenners. Ze kunnen elkaar dan uit de wind houden tot vlak voor de eindstreep. Dit is over het algemeen een betere strategie dan alleen voor het peloton uitrijden. Nederlandse aanhangers van duurzame technologie kiezen massaal voor deze laatste route. Les vijf is dan ook: duurzame technologie ondernemers in Nederland moeten veel meer gezamenlijk lobbyen om meer politieke aandacht, middelen en ondersteunende regulering af te dwingen ten koste van bestaande niet duurzame technologie.

Mijn zesde observatie is dat het over het algemeen droevig is gesteld met de uitwisseling van kennis. Met name de uitwisseling van kennis tussen kennisinstellingen en ondernemers is zwak. De technologische problemen waar ondernemers voor staan zouden veel vaker startpunt moeten zijn voor kennisontwikkelingstrajecten. Er zou veel meer in gezamenlijke consortia van kennisinstellingen en ondernemers gewerkt dienen te worden aan de ontwikkeling en toepassing van nieuwe technologie. Ondernemerschap en wetenschap zijn nu nog steeds te veel losstaande activiteiten.

De zevende en laatste observatie is dat alle eerdere observaties voortkomen uit een gebrekkige kennis bij overheden, kennisinstellingen en ondernemers over de samenhang tussen geslaagde duurzame innovaties en het functioneren van innovatiesystemen. Dit is niet raar gezien de jonge leeftijd van dit vakgebied maar het is wel mijn streven dit de komende jaren sterk te beïnvloeden.

Dit zijn de belangrijkste observaties op hoofdlijnen die volgen uit ons onderzoek naar de dynamiek van innovatiesystemen. Maar deze oratie is natuurlijk het startpunt van nog veel meer onderzoek op dit terrein. Ik ben tot slot van rekening pas 37 en heb dus hopelijk nog even te gaan. Ik ga u nu dan ook vertellen wat ik de komende dertig jaren ga doen. Dit is natuurlijk niet waar; het leuke van wetenschap is dat het telkens voortbouwt op nieuwe inzichten en dat het zich dus moeilijk laat voorspellen. Laat ik u dan vertellen waar ik de komende paar jaar aan ga werken.

We weten dus dat de zeven functies belangrijk zijn voor de ontwikkeling van het innovatiesysteem en dat het optreden van motoren cruciaal is voor het verkrijgen van positieve systeemdynamiek. Er staan nog een aantal belangrijke vragen open:

Ten eerste. Welke functionele patronen nu horen bij welke fase van ontwikkeling van het innovatiesysteem? We verwachten dat in de beginperiode van het innovatiesysteem andere functies overheersen dan in latere perioden. Het gevolg hiervan is dat het innovatiesysteem andere eisen stelt aan beleid afhankelijk van de fase waarin het zich bevindt. Om innovatiebeleid goed te kunnen ondersteunen moeten we deze dynamiek dus erg goed snappen. Ook theoretisch is dit een belangrijke bijdrage. Zo weten we heel veel van industriële dynamiek. We snappen welke patronen typisch zijn voor de verschillende fasen in de opkomst en ondergang van industriële sectoren. Dit niveau van theorieontwikkeling hebben we nog lang niet bereikt op het vlak van innovatiesystemen. Dit is een uitdaging dat vele jaren onderzoek zal vergen.

Ten tweede. Welke typen motoren van verandering zien we vaak optreden in innovatiesystemen? Zijn deze motoren specifiek voor de fase van ontwikkeling? Zijn ze misschien afhankelijk van het type technologie? Ik zal de komende jaren werken aan een typologie die verschillende motoren van verandering karakteriseert. Theoretisch is dit interessant omdat dit het interne mechanisme is dat de dynamiek van innovatiesystemen verklaart. Beleidsmatig is dit interessant omdat afhankelijk van de situatie beleid zich kan richten op het versterken van specifieke motoren van verandering. Roald Suurs hoopt in maart 2009 zijn proefschrift te verdedigen waar een eerste voorstel wordt gedaan voor een dergelijke typologie.

Ten derde. Hoe beïnvloeden verschillende technologische innovatiesystemen elkaar? Tot nu toe hebben we netjes de ontwikkeling van individuele innovatiesystemen bestudeerd. Maar in elke case studie zien we dat het traject van studie ook wordt beïnvloed door andere trajecten. Regelmatig worden we geconfronteerd met de kritiek dat we dit soort dynamiek niet voldoende meenemen. Onze repliek is altijd dat we graag klein beginnen om het vervolgens uit te breiden. Indien we dus veel individuele analyses hebben gedaan wordt het tijd voor de meer omvattende studies waarin de ontwikkeling van portfolio's van nieuwe technologie in samenhang wordt bestudeerd.

Naast het begrijpen van systeemdynamiek per fase willen we tevens inzoomen op een aantal functies die erg dominant blijken te zijn in de ontwikkeling van

innovatiesystemen. Zo blijkt uit ons onderzoek dat ondernemers een zeer centrale rol hebben in het innovatiesysteem. We willen de wisselwerking tussen de activiteiten die ondernemers ontwikkelen en het functioneren van het innovatiesysteem beter begrijpen. Welke strategieën hanteren ondernemers om het innovatiesysteem te beïnvloeden? Welke blijken succesvol en welke niet? We zijn ook hier al een eindje op weg. Eerder onderzoek heeft ons gewezen op de mogelijkheid om onderscheid te maken tussen twee typen betrokken actoren: de insiders en de outsiders⁶⁷. De insiders hebben hun lot verbonden aan het succes van de nieuwe technologie. Zij zijn dan ook zeer gemotiveerd om de technologie tot een succes te maken. De outsiders daarentegen staan relatief neutraal ten opzichte van de nieuwe technologie maar besluiten wel in te stappen op het moment dat ze daar voordeel in zien. Ze stappen echter ook makkelijker weer uit als de omstandigheden veranderen. Het instappen van outsiders gaat gepaard met een enorme impuls van middelen en vaak veranderen de condities in het innovatiesysteem dan ten gunste. Om die reden worden de outsiders dan ook wel selectors genoemd. Vanuit een insider perspectief is het dus zaak om op het juiste moment de selectors in het systeem te krijgen en daarin te houden. De vraag is dan hoe dit het beste te doen is. Ook deze inzichten maken het mogelijk om op een hoog niveau strategisch advies te geven aan ondernemers en overheden.

Een tweede functie die veel aandacht krijgt in onze groep is het richting geven aan het zoekproces, en dan meer specifiek de rol van verwachtingen. Collega van Lente is hier beroemd mee geworden en het is dan ook niet meer dan logisch om deze lijn binnen de sectie innovatiewetenschap uit te bouwen. We zien ook dat er veel maatschappelijke discussies zijn rond duurzame technologieën. Verschillende partijen proberen de ontwikkeling te beïnvloeden door zich kritisch of lovend uit te laten over de nieuwe technologie in allerlei media. Recent hebben we gezien dat biobrandstoffen in de media zodanig negatief zijn belicht dat het hele ondernemersklimaat rond deze technologie is veranderd van zeer positief tot uiterst negatief. Het proces waarmee deze zogenaamde ‘discourses’ verlopen willen we graag beter begrijpen.

Dit is gerelateerd aan de volgende functie die we beter willen begrijpen, namelijk het doorbreken van de weerstand tegen verandering. Hierin spelen netwerken

en macht een belangrijke rol. Tot nu toe hebben we sterk gefocuseerd op de opbouw van innovatiesystemen. We kijken als het ware door de bril van vernieuwers. Wat we hieraan willen toevoegen is dat we ook eens willen kijken door de bril van de gevestigde belangen. Hoe houden zij verandering tegen? Welke strategieën hanteren zij? Dit is lastig onderzoek aangezien veel van de machtspelletjes zich onttrekken aan de ogen van het publiek. We broeden momenteel op onderzoeksmethoden om hier toch inzicht in te krijgen.

Op het moment dat we meer empirische kennis hebben van de opbouw van innovatiesystemen of belangrijke processen hierbinnen wordt het ook mogelijk om wat meer generieke inzichten op te doen door de stap te maken naar formelere modellen. Op dit moment zijn we bezig om met behulp van agent-based simulatiemodellen meer inzicht te krijgen in bepaalde stukjes systeemdynamiek. De drijvende kracht achter deze ontwikkeling in onze groep is collega Floortje Alkemade die dankzij een Veni beurs de komende jaren nog meer tijd heeft om deze rol te vervullen.

Tenslotte hebben we in de groep onder leiding van dr. Ellen Moors al veel kennis opgedaan over de interactie tussen gebruikers van kennis en producten en de aanbieders hiervan. Dit valt onder de functie kennisuitwisseling. Het blijkt dat innovatoren enorm veel baat kunnen hebben bij het luisteren naar gebruikers. Met name een goede articulatie van gebruikersbehoeften en feedback van gebruikerservaringen kan de kans op succesvolle innovatie vergroten. Deze interactie is nog steeds onderbelicht in de literatuur en ook hier willen we de komende jaren aan werken.

Waar moet dit alles toe leiden? Wat is de ambitie die ik heb met deze leerstoel? Ik wil graag de theorieontwikkeling over de zeer complexe dynamiek van emergente technologische innovatiesystemen op een zodanig hoog niveau krijgen dat de kwaliteit van strategische interventies in deze systemen door alle mogelijke actoren, met een beetje extra aandacht voor de overheid, wordt verbeterd. Dit is mijn eerste bijdrage aan een duurzamer innovatieklimaat. Gelukkig kan ik hierin samenwerken met collega hoogleraar Ruud Smits die als geen ander inzicht heeft wat nodig is voor succesvol innovatiebeleid. Gezien deze ambitie ben ik dan ook erg blij dat onze groep een bijdrage heeft mogen

leveren aan de innovatieagenda energie die deze zomer door Minister Van der Hoeven aan de tweede kamer is aangeboden. Als u deze innovatieagenda leest zult merken dat veel van de inzichten die ik u zojuist heb verteld terugkomen in deze nota.

Een andere manier om bij te dragen aan een duurzaam innovatieklimaat is het opleiden van mensen die kennis en vaardigheden bezitten om complexe innovatiedynamiek te kunnen doorzien en in staat zijn deze op een slimme manier te beïnvloeden. De behoefte aan deze mensen is enorm. Zowel bedrijven als overheden bevinden zich in een complexe, snel veranderende omgeving qua kennisbasis, netwerken, consumentenpreferenties, regels en maatschappelijke waarden. We hebben mensen nodig die middels goede analyses richting kunnen geven aan besluitvormingsprocessen. Deze mensen dienen nieuwe technologie te snappen (Waar dient het toe?, wat kan het?, wat kost het?, hoe gaat het zich ontwikkelen?) maar ook kennis hebben van innovatietheorie (waarom mislukken innovaties zo vaak? Wat kunnen we doen om de succeskans te vergroten?) en tenslotte dienen ze over de academische en communicatieve vaardigheden te beschikken om goede analyses te kunnen uitvoeren en deze helder te kunnen communiceren. U begrijpt: deze mensen zijn zeldzaam. Een slimme bèta kan dit niet. Deze mist de innovatietheoretische kennis. Een econoom of bedrijfskundige kan dit ook niet. Die staat te veel los van de technologie en begrijpt de insiders niet. Gelukkig heeft de Universiteit Utrecht zich bijna 20 jaar geleden gerealiseerd dat het belangrijk is deze bèta/gamma mensen op te leiden. Door deze beslissing hebben we in Utrecht nu een goed lopende bacheloropleiding Natuurwetenschap en Innovatiemanagement en een tweejarige research master Science and Innovation Management. De koppeling met onderzoek is uitstekend geregeld aangezien alle docent-onderzoekers van de sectie innovatiewetenschappen tevens doceren aan deze twee opleidingen. Ik zal in mijn functie als hoogleraar mijn uiterste best doen om de koppeling onderzoek – onderwijs zo sterk mogelijk te houden zodat de studenten die wij opleiden zo optimaal mogelijk geëquipeerd zijn om hun uitdagende rol in het innovatiesysteem te vervullen.

Het inhoudelijke gedeelte is klaar. U zult nu allemaal wel zin hebben gekregen in de borrel. Ik laat u zo gaan, maar niet zonder mijn dank uit te spreken

ten aanzien van een aantal mensen hier aanwezig. Dat ik hier nu sta is ook sterk bepaald door vele padafhankelijke factoren. Er is echter een 'event' dat uitsteekt boven alle anderen die tot deze leerstoel hebben geleid. Een goede vriend van mij, Robert Harmsen, solliciteerde op de functie van UD bij innovatiewetenschappen en dat leek mij in eerste instantie niks. Veel te weinig bèta, veel te vaag. Hij heeft me toch overtuigd om te solliciteren en dat heb ik op het allerlaatste moment gedaan. Robert, bedankt voor de tip. Je ziet waar het toe heeft geleid en fijn dat we nu allebei doen waar we goed in zijn en wat we leuk vinden.

De doorgroei van UD naar hoogleraar is niet vanzelfsprekend, helemaal niet binnen dezelfde groep. Dit vereist een strategie. Ik wil professor Tejo Spit, die een tijdje mijn baas en mentor is geweest, dan ook hartelijk bedanken voor zijn gouden tip: 'Marko, focus, kies een niche waarmee je opvalt en succes krijgt'. Beste Tejo, zoals je ziet heeft de strategie gewerkt, de niche is uitgegroeid tot een internationaal zichtbare onderzoekslijn en kom me nu snel eens vertellen wanneer het tijd is om te diversifiëren.

Ik wil Professor Ruud Smits bedanken voor de support en het vertrouwen dat ik vanaf dag 1 van hem heb ontvangen. Ruud, we hebben de afgelopen tien jaar samen al veel meegemaakt. We hebben lastige perioden meegemaakt maar ook veel succes gehad, zo is de sectie innovatiewetenschappen van een kleine onderzoeksgroep in de marge uitgegroeid tot een succesvolle groep met ruim voldoende kritische massa. Ik verheug me erop om samen leiding te geven aan de talentvolle sectie innovatiewetenschappen zodat deze mag uitgroeien tot een gerespecteerde groep met internationaal aanzien.

Een andere zeer belangrijke factor die heeft bijgedragen tot het verkrijgen van deze leerstoel is het team van zeer getalenteerde onderzoekers waarmee ik intensief heb samengewerkt en die zo veel van het empirische en theoretische werk hebben gedaan. Floortje, Simona, Ineke, Maryse, Roald, Klaas, en alle afgestudeerden op dit thema, zonder jullie was dit nooit gelukt. Heel erg bedankt.

Heren professoren Bert van der Zwaan, Pieter Hooijmeijer, Ron Boschma, en Peter Driessen, bedankt voor jullie vertrouwen in een jonge wetenschapper uit eigen kweek. Ik zal mijn best doen dit vertrouwen niet te beschamen.

Pa en ma, bedankt voor jullie steun en nooit aflatende vertrouwen in mijn kunnen. Ik val dagelijks terug op de basis die jullie hebben gelegd.

Marjan, getrouwd zijn met een ambitieuze wetenschapper is lang niet altijd makkelijk. Soms zelfs erg vervelend. Zeker met twee lieve koters erbij en veel eigen ambitie voor professionele en persoonlijke ontwikkeling. Dank dat je me zo hebt gesteund de afgelopen jaren en voor de kansen die je me keer op keer hebt gegeven. Je bent m'n beste maatje.

Collega's binnen het departement Innovatie en Milieuwetenschappen, het Copernicus Instituut, de Faculteit Geowetenschappen en buiten de Universiteit Utrecht op de vakgebieden milieukunde, innovatiewetenschap, energiestudies, systeeminnovatie en transitie-onderzoek, bestuurskunde en technologiedynamica, u hebt mijn plannen gehoord. Ik verheug me op de toekomstige samenwerking met u allen. Alleen door gezamenlijk op te trekken en vanuit verschillende disciplines inzichten samen te brengen kunnen we de noodzakelijke kennis produceren die nodig is om een duurzaam ontwikkelingsproces vorm te geven.

Ik wil u hartelijk danken voor uw aandacht.

Referenties

1. Parry, M. *et al.* Millions at risk: Defining critical climate change threats and targets. *Global Environmental Change* **11**, 181-183 (2001).
2. Geels, F.W. Processes and patterns in transitions and system innovations: Refining the co-evolutionary multi-level perspective. *Technological Forecasting and Social Change* **72**, 681-696 (2005).
3. Geels, F.W. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: A multi-level perspective and a case-study. *Research Policy* **31**, 1257-1274 (2002).
4. Kemp, R., Loorbach, D. & Rotmans, J. Transition management as a model for managing processes of co-evolution towards sustainable development. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology* **14**, 78-91 (2007).
5. Rotmans, J., Kemp, R. & Van Asselt, M. More evolution than revolution: Transition management in public policy. *Foresight* **3**, 15-31 (2001).
6. Van Den Bergh, J. C. J. M. Evolutionary thinking in environmental economics. *Journal of Evolutionary Economics* **17**, 521-549 (2007).
7. Geels, F.W. From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research Policy* **33**, 897-920 (2004).
8. Markard, J. & Truffer, B. Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework. *Research Policy* **37**, 596-615 (2008).
9. Smith, A., Stirling, A. & Berkhout, F. The governance of sustainable socio-technical transitions. *Research Policy* **34**, 1491-1510 (2005).
10. Frenken, K., Hekkert, M. & Godfroij, P. R&D portfolios in environmentally friendly automotive propulsion: Variety, competition and policy implications. *Technological Forecasting and Social Change* **71**, 485-507 (2004).
11. Hekkert, M. & van de Hoed, R. Competing technologies and the struggle towards a new dominant design: The emergence of the hybrid vehicle at the expense of the fuel cell vehicle? *Greener Management International*, 29-43 (2004).
12. Autobouwers VS vragen om leningen tot 50 miljard. *Trouw*, 8 september (2008).

13. Nelson, R. R. & Winter, S. G. In search of useful theory of innovation. *Research Policy* 6, 36-76 (1977).
14. Dosi, G. Technological paradigms and technological trajectories. A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy* 11, 147-162 (1982).
15. Kemp, R., Schot, J. & Hoogma, R. Regime shifts to sustainability through processes of niche formation: The approach of strategic niche management. *Technology Analysis and Strategic Management* 10, 175-195 (1998).
16. Unruh, G. C. Understanding carbon lock-in. *Energy Policy* 28, 817-830 (2000).
17. Arthur, W. B. Increasing returns and the new world of business. *Harvard business review* 74, 100-109 (1996).
18. Neij, L. The development of the experience curve concept and its application in energy policy assessment. *International Journal of Energy Technology and Policy* 2, 3-14 (2004).
19. Neij, L. Use of experience curves to analyse the prospects for diffusion and adoption of renewable energy technology. *Energy Policy* 25, 1099-1107 (1997).
20. Junginger, M. et al. Technological learning in bioenergy systems. *Energy Policy* 34, 4024-4041 (2006).
21. Mokyr, J. High technology in the low countries: Geschiedenis van de techniek in Nederland. *Technology and Culture* 42, 133-136 (2001).
22. Smits, R. & den Hertog, P. TA and the management of innovation in economy and society. *International Journal of Foresight and Innovation Policy* 3, 28-52 (2007).
23. van Merkerk, R. O. & Smits, R. E. H. M. Tailoring CTA for emerging technologies. *Technological Forecasting and Social Change* 75, 312-333 (2008).
24. Hekkert, M. P., Harmsen, R. & de Jong, A. Explaining the rapid diffusion of Dutch cogeneration by innovation system functioning. *Energy Policy* 35, 4677-4687 (2007).
25. Hekkert, M. P., Van Giessel, J. -, Ros, M., Wietschel, M. & Meeus, M. T. H. The evolution of hydrogen research: Is Germany heading for an early lock-in? *International Journal of Hydrogen Energy* 30, 1045-1052 (2005).
26. Lundvall, B. -. National innovation systems – Analytical concept and development tool. *Industry and Innovation* 14, 95-119 (2007).

27. Lundvall, B. -, Johnson, B., Andersen, E. S. & Dalum, B. National systems of production, innovation and competence building. *Research Policy* 31, 213-231 (2002).
28. Freeman, C. The diversity of national Research systems (Economica International, Paris, 1997).
29. Fukuda, K. & Watanabe, C. Japanese and US perspectives on the National Innovation Ecosystem. *Technology in Society* 30, 49-63 (2008).
30. Hutschenreiter, G. & Zhang, G. China's quest for innovation-driven growth – The policy dimension. *Journal of Industry, Competition and Trade* 7, 245-254 (2007).
31. Lingela, V., Buys, A. & Shimozawa, T. *Managing factors limiting national competitiveness to improve productivity in developing countries*, in: Portland International Conf. on Man. of Eng. and Technology 2024-2030 (2007).
32. Liu, X. & White, S. Comparing innovation systems: A framework and application to China's transitional context. *Research Policy* 30, 1091-1114 (2001).
33. Lundvall, B. -. Why study national systems and national styles of innovation? *Technology Analysis and Strategic Management* 10, 407-421 (1998).
34. Martin, B. R. & Johnston, R. Technology foresight for wiring up the national innovation system: Experiences in Britain, Australia, and New Zealand. *Technological Forecasting and Social Change* 60, 37-54 (1999).
35. Motohashi, K. Growing R&D collaboration of Japanese firms and policy implications for reforming the national innovation system. *Asia Pacific Business Review* 14, 339-361 (2008).
36. Motohashi, K. & Yun, X. China's innovation system reform and growing industry and science linkages. *Research Policy* 36, 1251-1260 (2007).
37. Niosi, J., Saviotti, P., Bellon, B. & Crow, M. National systems of innovation: in search of a workable concept. *Technology in Society* 15, 207-227 (1993).
38. Solleiro, J. L., Luna, R. C. K., Herrera, A. & Montiel, M. *A comparative analysis of innovation policy in Mexico, Spain, Chile and Korea*, 2007).
39. Varblane, U., Dyker, D., Tamm, D. & von Tunzelmann, N. Can the national innovation systems of the new EU member states be improved? *Post-Communist Economies* 19, 399-416 (2007).
40. Edquist, C. & Lundvall, B. A. in *National Innovation Systems* (ed Nelson, R.) (Oxford University Press, New York, 1993).

41. Breschi, S. & Lissoni, F. Knowledge spillovers and local innovation systems: A critical survey. *Industrial and Corporate Change* 10, 975-1005 (2001).
42. Bunnell, T. G. & Coe, N. M. Spaces and scales of innovation. *Progress in Human Geography* 25, 569-589 (2001).
43. Cooke, P. Regional innovation systems, clusters, and the knowledge economy. *Industrial and Corporate Change* 10, 945-974 (2001).
44. Cooke, P., Uranga, M. G. & Etxebarria, G. Regional systems of innovation: an evolutionary perspective. *Environment and Planning A* 30, 1563-1584 (1998).
45. Cooke, P., Uranga, M. G. & Etxebarria, G. Regional innovation systems: Institutional and organisational dimensions. *Research Policy* 26, 475-491 (1997).
46. Malmberg, A. & Maskell, P. Towards an explanation of regional specialization and industry agglomeration. *European Planning Studies* 5, 25-41 (1997).
47. Porter, M. E. Clusters and the new economics of competition. *Harvard business review* 76, 77-90 (1998).
48. Carlsson, B., Jacobsson, S., Holmen, M. & Rickne, A. Innovation systems: Analytical and methodological issues. *Research Policy* 31, 233-245 (2002).
49. Carlsson, B. & Stankiewicz, R. On the nature, function and composition of technological systems. *Journal of Evolutionary Economics* 1, 93-118 (1991).
50. Johnson, A. *Functions in Innovation System Approaches* (Paper for DRUID's Nelson-Winter Conference, 2001).
51. Edquist, C. *Systems of Innovation; Technologies, Institutions and Organisations* (Pinter, London, 1997).
52. Edquist, C. *Innovation Systems and Innovation Policy: the state of the art.* (Invited Paper for DRUID's Nelson-Winter Conference, 2001).
53. Rogers, E. M. *Diffusion of Innovations* (Free Press, New York, 2003).
54. Anonymous. Jeugd wil geen dijken bouwen, meer werk voor de watersector. *Trouw*, 22 september (2008).
55. Hekkert, M. P. & Negro, S. O. Functions of innovation systems as a framework to understand sustainable technological change: Empirical evidence for earlier claims. *Technological Forecasting and Social Change* (2008).
56. Alkemade, F., Kleinschmidt, C. & Hekkert, M. Analysing emerging innovation systems: A functions approach to foresight. *International Journal of Foresight and Innovation Policy* 3, 139-168 (2007).

57. Negro, S. O. & Hekkert, M. P. Explaining the success of emerging technologies by innovation system functioning: The case of biomass digestion in Germany. *Technology Analysis and Strategic Management* 20, 465-482 (2008).
58. Negro, S. O., Hekkert, M. P. & Smits, R. E. Explaining the failure of the Dutch innovation system for biomass digestion-A functional analysis. *Energy Policy* 35, 925-938 (2007).
59. Negro, S. O., Hekkert, M. P. & Smits, R. E. H. M. Stimulating renewable energy technologies by innovation policy. *Science and Public Policy* 35, 403-416 (2008).
60. Negro, S. O., Suurs, R. A. A. & Hekkert, M. P. The bumpy road of biomass gasification in the Netherlands: Explaining the rise and fall of an emerging innovation system. *Technological Forecasting and Social Change* 75, 57-77 (2008).
61. Hillman, K. M., Suurs, R. A. A., Hekkert, M. P. & Sanden, B. A. Cumulative causation in biofuels development: A critical comparison of the Netherlands and Sweden. *Technology Analysis and Strategic Management* 20, 593-612 (2008).
62. Suurs, R. A., M. P. Hekkert. Competition between first and second generation technology: Lessons from the Formation of a Biofuels Innovation System in the Netherlands. *Energy – The International Journal* (accepted for publication).
63. Hekkert, M. P., Suurs, R. A. A., Negro, S. O., Kuhlmann, S. & Smits, R. E. H. M. Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. *Technological Forecasting and Social Change* 74, 413-432 (2007).
64. Kamp, L. M., Smits, R. E. H. M. & Andriess, C. D. Notions on learning applied to wind turbine development in the Netherlands and Denmark. *Energy Policy* 32, 1625-1637 (2004).
65. Garud, R. & Karnøe, P. Bricolage versus breakthrough: Distributed and embedded agency in technology entrepreneurship. *Research Policy* 32, 277-300 (2003).
66. van de Ven, A. H., Polley, D. E., Garud, R. & Venkataraman, S., *The Innovation Journey* 422 (Oxford University Press, New York/Oxford, 1999).
67. Garud, R. & Ahlstrom, D. Technology assessment: a socio-cognitive perspective. *Journal of Engineering and Technology Management* 14, 25-48 (1997).

