

Technologische kennis als economisch goed

*Bart Verspagen**

Dit artikel is gebaseerd op de intreedede die de auteur op 25 juni 1999 aan de Technische Universiteit Eindhoven heeft uitgesproken.

Technologische kennis is van groot belang voor de economie. Economische geschiedenis bijvoorbeeld is in de eerste plaats een verhaal van technologische ontwikkeling. Het omgekeerde, namelijk dat economie van groot belang is voor technologie, is echter evenzeer waar. Belangrijke technologische veranderingen, zoals die sinds de Industriële Revolutie continu hebben plaats gevonden, werden gedreven uit wat technisch mogelijk was, én door de economische omstandigheden. Het ontwikkelen van nieuwe technologie gebeurt vandaag de dag hoofdzakelijk vanuit economische motieven. Zelfs aan een universiteit kan de gemiddelde onderzoeker zich tegenwoordig niet meer volledig aan die druk onttrekken.

Mijn betoog richt zich in eerste instantie op het belang van technologie voor de theorievorming in de economische wetenschap. Vreemd genoeg is technologie immers een onderwerp dat in de moderne economische wetenschap niet bepaald in het middelpunt van de belangstelling heeft gestaan. Zo'n 10 jaar geleden bijvoorbeeld veronderstelde de standaard theorie over economische groei domweg dat technologische verandering niet door economische motieven gedreven wordt¹.

Inmiddels is er van enige verandering sprake, en beginnen economen technologische kennis als een economisch goed te bestuderen². Daarbij wordt echter

* Eindhoven Center for Innovation Studies, TU Eindhoven & MERIT, Universiteit Maastricht; email: bart.verspagen@merit.unimaas.nl. De auteur is de volgende personen erkentelijk voor commentaar en/of hulp voor bij de dataverzameling: Geert Duysters, Bruce Heiman, Hugo Hollanders, Bart Los, Jerry Silverberg, Eddy Szirmai en Geert Verbong.

¹ Het zogenaamde Solow-model. Zie bijvoorbeeld Solow (1970).

² Zie bv. Verspagen (1993a).

duidelijk dat kennis, en met name technologische kennis, niet zó maar een economisch goed is. Technologie bezit enkele speciale kenmerken die economen en hun gangbare theorieën voor problemen stellen. Deze speciale kenmerken, en de problemen die ze met zich meebrengen voor de economische theorie zijn het eerste onderwerp van mijn betoog, en komen aan de orde in sectie 1.

Hierbij is het van belang een onderscheid te maken tussen technologische kennis en de goederen waar deze kennis in belichaamd is. Wanneer ik over technologische kennis als een economisch goed spreek, bedoel ik meestal niet een materieel goed, maar de kennis die er in belichaamd is, of de onbelichaamde kennis die met technologische ontwikkeling samenhangt. Deze kennis, de manier waarop ze ontwikkeld wordt, en de manier waarop ze zich verspreidt en voortdurend van karakter verandert, veel eerder dan de goederen waar ze in neer slaat, stelt de economische theorie voor problemen.

Een van de mogelijke oplossingen voor deze problemen ligt in het ontwikkelen van een nieuw theoretisch kader. De evolutionaire economie (bv. Nelson en Winter, 1982) is een belangrijk voorbeeld van zo'n ontwikkeling. De mogelijke toepassingen van een evolutionaire economische theorie op de Nederlandse economie zijn het onderwerp van sectie 2. Hier zullen een aantal simulaties gepresenteerd worden voor een model voor de groei van de Nederlandse economie in de 21e eeuw. Sectie 3 besluit het betoog door enkele van de belangrijkste conclusies samen te vatten.

1. Economische kenmerken van technologische kennis

Niet-uitsluitbaarheid en niet-rivaliteit. Een 'normaal' economisch goed bezit het kenmerk van uitsluitbaarheid (*excludability*) en rivaliteit. Uitsluitbaarheid betekent dat een producent die het goed aanbiedt de mogelijkheid heeft om bepaalde personen of bedrijven uit te sluiten van het gebruik van het goed. Het gaat daarbij natuurlijk om de personen of bedrijven die besluiten niet te betalen voor het goed. De meeste economische goederen (of diensten) waar consumenten in het dagelijkse leven mee in aanraking komt, hebben deze eigenschap. De bekendste voorbeelden van goederen die niet uitsluitbaar zijn, zijn defensie en milieu. Wanneer de Nederlandse overheid, in samenwerking met internationale partners, besluit om CO₂ emissies terug te brengen, is het onmogelijk om bepaalde inwoners, bijvoorbeeld die van de stad Eindhoven, van de gevolgen van dat besluit uit te sluiten.

Uitsluitbaarheid hangt nauw samen met rivaliteit. De meeste economische goederen zijn rivaal, dat wil zeggen dat ze slechts door één of enkele personen tegelijk te gebruiken zijn. Andere goederen zijn echter niet rivaal. Muziek, die verspreid wordt via een cd of een andere geluidsdrager, is hier een voorbeeld

van. Wanneer mijn buurman besluit 'I can't get no satisfaction' van de *Rolling Stones* te beluisteren, belet niets mij datzelfde op dat moment te doen. Hierbij is het overigens van groot belang de muziek te onderscheiden van de geluidsdrager. De song is niet rivaal, de cd waar hij op staat wel (die kan immers slechts in één cd-speler tegelijk worden gestopt).

Technologische kennis is niet volledig rivaal, en niet volledig uitsluitbaar. Het is belangrijk zich hierbij te realiseren dat die kenmerken gelden voor de technologische kennis, en vaak niet voor het goed waarin die kennis belichaamd wordt. Een computer bijvoorbeeld is een goed dat zowel rivaal als uitsluitbaar is. Voor de kennis die nodig is om een computer te produceren geldt dat echter niet.

Non-rivaliteit en niet-uitsluitbaarheid hebben belangrijke consequenties voor de markt waarop goederen met een hoge mate van technologische kennis verhandeld worden. Deze kenmerken impliceren dat er een groot gevaar bestaat dat technologische kennis geïmiteerd zal worden door concurrenten. Doorgaans zijn de kosten die met deze imitatie gemoeid zijn lager dan de R&D kosten voor het originele product, zodat de innovator zijn product duurder zal moeten verkopen. Dit betekent weer dat de imiterende bedrijven waarschijnlijk winstgevender kunnen opereren, en de originele innovator zijn investering niet zal kunnen terugverdienen. Een bedrijf dat dit voorziet, zal besluiten het R&D project niet uit te voeren.

Dit betekent weer dat een vrije markt economie technologische kennis niet (in voldoende mate) zal produceren. Zonder bescherming van intellectueel eigendom hebben bedrijven in deze situatie geen mogelijkheid om hun investeringen in het ontwikkelen van kennis terug te verdienen, en hebben dus geen prikkel om deze investeringen uit te voeren. De economische theorie en de praktijk van de meeste vrije markt economieën bieden enkele oplossingen om deze onderinvestering te voorkomen (zoals octrooien). Voordat deze kort besproken zullen worden, kijken we eerst naar een voorbeeld van wat er kan gebeuren indien deze oplossingen niet werken. Het voorbeeld is dat van de PC industrie, die aan het einde van de jaren '70 ontstond.

De voorlopers van de moderne computers onstonden in de tweede wereldoorlog, toen zowel Duitsland, Groot-Brittannië als de Verenigde Staten aan deze uitvinding werkten. Kort daarna werd in de Verenigde Staten de eerste programmeerbare computer gepresenteerd, en ontstond een nieuwe industrie met bedrijven zoals Sperry en IBM. IBM werd snel de dominante marktpartij. Het bedrijf bestond al sinds het begin van de eeuw, toen het machines produceerde die met behulp van ponskaarten grootschalige tellingen konden uitvoeren.

De computers die vanaf de jaren '50 geproduceerd werden, waren groot, log en relatief duur. Slechts in grote bedrijven waren ze op een winstgevende manier toe te passen. Door de uitvinding van eerst de transistor, daarna het *integrated*

circuit (IC), en tenslotte de microprocessor, konden computers echter steeds kleiner gemaakt worden, terwijl ze tegelijk meer rekenkracht kregen. Aan het einde van de jaren '70 was de technologie zover dat er microcomputers gebouwd konden worden die op een bureau pasten. Het bedrijf Apple lanceerde in 1977 het zogenaamde Apple II model, dat een enorm commercieel succes werd. Vier jaar later besloot IBM dat het tijd werd een graantje mee te pikken van de nieuw ontstane markt. Probleem hierbij was dat IBM de kennis voor het bouwen van een goede microcomputer niet in huis had. Daarom besloot het bedrijf een machine te ontwerpen die grotendeels bestond uit standaard onderdelen die van andere bedrijven betrokken konden worden. Belangrijke bijkomstigheid hiervan was dat IBM, omdat het geen eigen hardware gebruikte, geen patent kon aanvragen op de *Personal Computer* (PC), zoals de machine gedoopt werd. IBM was genoodzaakt een product op de markt te brengen waarvan de kennis zowel niet-uitsluitbaar en niet-rivaal was. Letterlijk iedereen kon, desnoods in zijn garage, het idee van IBM kopiëren en er geld mee verdienen.

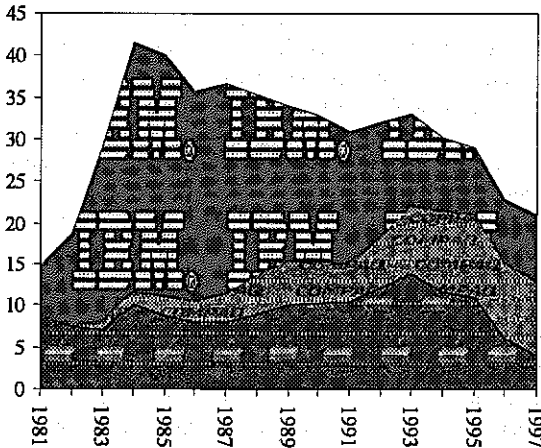
De IBM PC was een groot succes, en werd al snel de zakencomputer bij uitstek. In de eerste jaren na de introductie van de PC voer IBM wel bij haar innovatie. Het marktaandeel klom snel van zo'n 6% in 1981 naar 30% in 1984 (Figuur 1). Toen begon de concurrentie zich echter te roeren. Omdat IBM, tegen wil en dank, haar PC niet had gepatenteerd, begonnen andere bedrijven de machine te imiteren. Een van de bedrijven die daar het meest succesvol mee was, was Compaq. Dit bedrijf begon in 1983 met een marktaandeel van minder dan 1%, maar klom snel naar zo'n 6% in 1992. Compaq was echter geenszins de enige imitator. Zoals u allen uit ervaring weet kan men tegenwoordig bijna op iedere hoek van de straat een 'klonenboer' vinden die IBM compatibele PCs bouwt en verkoopt³. Het marktaandeel van IBM kwam door deze ontwikkeling sterk onder druk te staan, en bedroeg in 1997 nog slechts 8% (minder dan Compaq).

Bovendien introduceerde Apple in 1984 een nieuw model, de Macintosh. Deze computer was niet compatibel met de IBM PC (software voor de IBM PC werkte niet op de Macintosh en *vice versa*). Bovendien besloot Apple, in tegenstelling tot wat IBM met haar PC gedaan had, van de Macintosh geen zogenaamde open standaard te maken. Dit betekende dat de Macintosh niet gekopieerd mocht worden. Klanten die een Macintosh wilden, moesten van Apple afnemen. Apple koos er bewust voor om de Macintosh te beschermen tegen imitatie, en koos er ook bewust voor om géén IBM-compatibele machine te maken. Het marktaandeel van de Macintosh was bescheiden, maar bleef tot 1995 vrij constant. Daarna daalde het aandeel van de Macintosh fors (Figuur 1). Een technologische alliantie met aartsvijand IBM, waaruit de PowerPC proces-

³ De term 'IBM-compatibel' doet tegenwoordig enigszins ouderwets aan, omdat IBM niet langer de dominante marktpartij is. Men spreekt tegenwoordig eerder van het zogenaamde *wintel* platform, naar *Windows* en *Intel*, respectievelijk het besturingsstelsel en de maker van de microprocessoren voor wat eens de IBM-compatibele PC heette.

sor resulteerde, en een poging om Apple-klonen toe te staan konden deze trend niet keren.

Figuur 1: Marktaandelen van IBM, Apple en Compaq op de PC markt



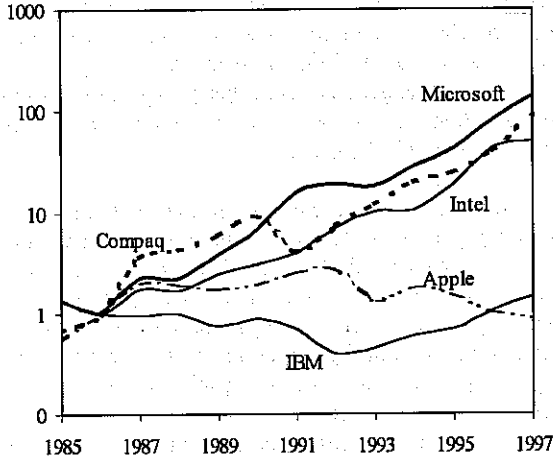
Bron: Harvard Business School Apple case studies 1992 & 1998

De PC markt is een goed voorbeeld van een markt waarin twee strategieën met elkaar vergeleken kunnen worden. IBM speelde (noodgedwongen) de klassieke strategie die in de economie handboeken ontraden wordt. Het bedrijf bracht een nieuwe technologie op de markt, zonder de kennis die daar voor nodig was te beschermen. Imitatie was het gevolg. Apple daarentegen koos er bewust voor de kennis die in de Macintosh zat wél te beschermen. Wie kwam als winnaar uit de bus?

Figuur 2 toont aan dat in termen van de beurswaarde, noch Apple noch IBM als een winnaar aangemerkt kan worden. De beurswaarde van IBM was in 1997 anderhalf maal die van 1986. Voor Apple daalde de beurswaarde in die periode zelfs met zo'n 10%. De echte winnaars waren de bedrijven die profiteerden van IBM's innovatie. Figuur 2 geeft de ontwikkeling van de beurswaarde van drie belangrijke bedrijven uit die groep. Het meest (in termen van beurswaarde) profiteerde Microsoft. Dit bedrijf heeft een bijna-monopolie op de belangrijkste software die nodig is om een IBM-compatibele PC te besturen, het zogenaamde Windows systeem (voorgegaan door MSDOS). De beurswaarde van Microsoft was in 1997 bijna 140 maal die van 1986. De waarde van Intel, het bedrijf dat tot voor kort het monopolie had op het belangrijkste stuk hardware in de IBM-compatibele PCs, de microprocessor, ver-50-voudigde in die periode. Microsoft en Intel zijn voorbeelden van bedrijven die profiteerden van het succes van de

IBM PC, maar dat deden door hun eigen technologie te beschermen. Compaq, één van de eerste bedrijven die de IBM PC nabouwden, profiteerde eveneens meer dan de innovator zelf, met een beurswaarde die in 1997 het 90-voudige was van die in 1986.

Figuur 2: Index van de beurswaarde van enkele spelers op de PC markt (1986=1)



Bron: Worldscope database

Welke lessen kunnen uit deze *case* geleerd worden? Ten eerste dat het gevaarlijk is om, zoals IBM deed, nieuwe kennis niet te beschermen. Het gebruik van intellectuele eigendomsrechten is essentieel om innoverende bedrijven in staat te stellen de kosten die gemoeid zijn met het ontwikkelen van nieuwe technologie terug te verdienen. Ten tweede, en minstens zo belangrijk, dat de mogelijkheid om technologie te imiteren ook belangrijke positieve effecten heeft. De innovatie die IBM op de markt bracht leverde het bedrijf zelf in de beginperiode winst op. Deze winsten werden echter in omvang sterk overtroffen door de winsten die Microsoft, Intel, Compaq en andere bedrijven behaalden. De inspanningen van één bedrijf leveren voordeel op voor een hele reeks andere bedrijven, zonder dat deze laatste een vergoeding hoeven te betalen aan de innovator.

In de economische theorie spreken we in dit soort gevallen van een externaliteit of *spillover*. Positieve externaliteiten (zoals in dit geval; er zijn ook negatieve externaliteiten, zoals bijvoorbeeld milieuvuiling) zijn welvaartsbevorderend. Ze zorgen voor toenemende schaalopbrengsten in de totale economie. Dit betekent dat door de inputs in het productieproces te vermeerderen, de totale pro-

duktie in de economie meer dan proportioneel toeneemt. Deze eigenschap van technologie, die het rechtstreekse gevolg is van niet-uitsluitbaarheid en niet-rivaliteit, heeft recent gezorgd voor een revolutie in de groeitheorie (Romer, 1990, Grossman en Helpman, 1991).

Positieve externaliteiten zijn een kenmerk van technologische kennis dat niet zonder meer in andere vormen van kennis terug te vinden is, en zijn daarom van groot belang voor het 'strategische' karakter van technologie. Door Jacobs (1996) wordt bijvoorbeeld gesteld dat zogenaamd 'slim concurreren' van even groot strategisch belang is voor de Nederlandse economie als technologische kennis. Een voorbeeld van slim concurreren is het zogenaamde *Magnum* ijsje. Het wereldwijde succes van dit ijsje, dat technologische gezien weinig tot niets verschilt van haar voorgangers, is vooral het gevolg van een uitgekende marketing campagne. Hiermee kan men beargumenteren dat marketingkennis even belangrijk is als technologische kennis.

Dit argument gaat echter voorbij aan het feit dat marketingactiviteiten nauwelijks externaliteiten genereren. Hoewel marketingstrategieën door concurrenten te imiteren zijn, kan men moeilijk volhouden dat de *Magnum*-consument veel méér nut ondervindt van het consumeren van dat specifieke ijsje ten opzichte van haar voorgangers. Dat is ontegenzeggelijk wel het geval bij, bijvoorbeeld, de sterke technologische vooruitgang die in de PC-markt heeft plaatsgevonden. Een belangrijk gedeelte van deze technologische vooruitgang wordt in de vorm van externaliteiten, dus om niet, doorgegeven aan consumenten. Hoewel dit argument het belang van marketingkennis en andere zogenaamde *immateriële activa* niet ontkent, geeft het aan dat technologische kennis van speciaal strategisch belang is (bijvoorbeeld Los, 1999).

De economische theorie is relatief goed in staat gebleken om te gaan met de kenmerken niet-uitsluitbaarheid en niet-rivaliteit van technologische kennis. Ze schetst een dilemma dat met deze kenmerken samenhangt: aan de ene kant zorgen ze ervoor dat, zonder beschermende maatregelen, de prikkel om in technologische kennis te investeren te klein is. Zonder die bescherming produceert een vrije markt economie te weinig technologische kennis. Aan de andere kant zorgen deze twee kenmerken ervoor dat technologische kennis belangrijke positieve externaliteiten genereert. Deze zijn belangrijk voor lange termijn economische groei, en bevorderen de welvaart.

De standaard economische oplossing voor dit dilemma bestaat uit het voeren van een beleid dat prikkels voor innovatie bevordert, en tegelijk een zekere mate van spillovers (externaliteiten) laat bestaan. David (1993) geeft drie mogelijke vormen van zo'n beleid: intellectuele eigendomsrechten, overheidsfinanciering van algemeen onderzoek (bijvoorbeeld bij universiteiten zoals deze),

en overheidsopdrachten voor onderzoek dat gericht is op het oplossen van een bepaald technisch probleem.

Het bestaan van positieve externaliteiten is in de twee laatste vormen duidelijk aanwezig, terwijl dit in het geval van intellectuele eigendomsrechten wellicht niet op voorhand duidelijk is. Toch is ook het systeem van octrooien er op gericht externaliteiten te bevorderen. Behalve het beschermen van kennis, zijn octrooien er ook op gericht die kennis beschikbaar te maken voor anderen, die de kennis kunnen gebruiken voor nieuwe R&D projecten. Dit laatste doel wordt bereikt door de voorwaarde dat geoctrooieerde kennis vrijelijk gepubliceerd dient te worden. De mate waarin deze externaliteiten kunnen plaatsvinden, hangt voor een groot gedeelte af van de mate waarin een octrooi kennis beschermt. In dit verband spreken we wel van de breedte van een octrooi (Van Dijk, 1994). Brede octrooien bieden veel bescherming, en een hoge prikkel voor de innovator, maar weinig kans op spillovers.

Risico en toekomstvisie. De economische wetenschap bestudeert het menselijk gedrag met betrekking tot schaarse middelen. Het startpunt van deze analyse is dat mensen zich rationeel gedragen. Rationeel gedrag is een veelomvattend concept, maar binnen de economische wetenschap is het meestal eng gedefinieerd. Standaard worden twee rollen onderscheiden: producenten en consumenten. Rationeel gedrag van producenten betekent winstmaximalisatie, voor consumenten betekent het nutsmaximalisatie. Zowel winsten als nut kunnen worden weergegeven door een wiskundige functie, die onder bepaalde voorwaarden te maximaliseren is. Deze maximalisatie procedure levert een functie op die economisch gedrag voorspelt (bijvoorbeeld een vraag- of aanbodcurve).

Om de veronderstelling van maximalisatie wiskundig te kunnen implementeren, mag men geen al te ingewikkeld model hanteren. Een cruciale factor hierbij is risico. Deze factor is redelijk goed hanteerbaar indien voldaan wordt aan twee voorwaarden. Ten eerste dat de verschillende mogelijkheden voor ontwikkelingen in de toekomst bekend zijn. Ten tweede dat de kansverdeling die de waarschijnlijkheid van ieder van die mogelijkheden beschrijft redelijk bekend is.

Op deze manier, dat wil zeggen met behulp van kansverdelingen voor een aantal van tevoren bekende alternatieve uitkomsten van het economisch proces, kunnen modellen van economisch gedrag worden opgesteld. Voor een groot aantal economische goederen voldoen deze modellen uitstekend, echter niet voor het economische goed technologie. Technologie wordt gekenmerkt door een hoge mate van onzekerheid en risico. Het is onmogelijk om van tevoren te voorspellen welke mogelijkheden technologische ontwikkeling, zelfs binnen afzienbare tijd, zal bieden, welke kosten of opbrengsten hiermee gemoeid zullen zijn, of welke kansverdeling met de mogelijke uitkomsten gemoeid is. Dosi (1988) spreekt in dit verband van zogenaamde sterke onzekerheid, tegenover de 'gewone' onzekerheid uit de standaard theorie.

Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat de sterke onzekerheid zoals Dosi die benadrukt vooral betrekking heeft op zogenaamde radicale technologische verandering, en veel minder op incrementele innovatie. Incrementele innovaties zijn relatief goed te voorspellen, en kunnen veelal op basis van routinematig onderzoek worden uitgewerkt. In dit geval lijkt een kansverdeling van, bijvoorbeeld, de te verwachten productiviteitsgroei een hanteerbaar instrument.

Een voorbeeld uit de geschiedenis van de technologie kan wederom dienen ter illustratie van het probleem met onzekerheid en het voorspellen van de toekomst in het geval van radicale innovaties. Vanaf het begin van de luchtvaart was een zuigermotor met propeller de gangbare aandrijving voor vliegtuigen. In de jaren '30 werd echter een geheel nieuwe vorm van aandrijving ontwikkeld, de straalmotor (zie Constant, 1980). In een straalmotor vormen de uitlaatgassen die ontstaan bij het verbranden van een mengsel van brandstof (kerosine) en lucht de aandrijfkraft. Er zijn een aantal verschillende straalmotoren. In de simpelste vorm (zogenaamde *turbojet*) wordt lucht ingenomen aan de voorkant van de motor. Deze lucht wordt samengeperst in een compressie-kamer. Een mengsel van brandstof en lucht wordt vervolgens verbrand in de verbrandingskamer. De uitlaatgassen die hierbij ontstaan worden door een gasturbine gedreven. Deze turbine drijft de compressiekamer aan, en de luchtuitlaat van de turbine zorgt voor de aandrijfkraft. Een andere vorm van de straalmotor, de zogenaamde *turboprop*, gebruikt de turbine om een propeller aan te drijven. Deze propeller, en niet de luchtuitlaat van de turbine, is de aandrijfkraft van de *turboprop* motor.

De straalmotor werd oorspronkelijk gebruikt voor militaire vliegtuigen. Na de oorlog onstond echter al snel het idee om de straalmotor ook in te zetten voor civiele doeleinden. Het uitvoeren van dit idee was echter niet eenvoudig. Een belangrijke vraag hierbij was welke versie van de straalmotor het beste geschikt was voor civiele doeleinden. De keuze ging tussen de *turboprop* en de *turbojet*. Om deze afweging goed te maken was onder meer een inschatting van de toekomstige markt nodig.

De Britse regering had in 1942 een commissie onder leiding van Lord Brabazon of Tara ingesteld die de behoeften voor de naoorlogse civiele luchtvaart diende te onderzoeken. Deze commissie rapporteerde met een aanbeveling voor 5 types vliegtuigen die ontwikkeld dienden te worden (Baker, 1994). Terugblikkend vallen hierbij vooral de types 1 en 4 op. Type 1 was een vliegtuig voor de lange afstand (o.a. transatlantisch). De commissie stelde voor dit vliegtuig uit te rusten met *turboprop* motoren. Type 4 was een postvliegtuig dat uitgerust zou worden met *turbojet* motoren.

Deze specifieke keuze voor de *turboprop* motor voor de lange afstanden weerspiegelde een visie die in de jaren '40 onder vele vliegtuig ontwerpers gangbaar was (zie bijvoorbeeld Walters, 1979). Zij gingen er van uit dat de *turboprop*

motor efficiënter zou zijn omdat deze motor op relatief geringe hoogte een gunstiger brandstofverbruik had dan de *turbojet*. In de praktijk zou later echter blijken dat juist het vliegen op grote hoogte, waar de *turbojet* juist efficiënter met brandstof omgaat, geschikter is voor passagiersvervoer. Doordat in de hogere luchtlagen de turbulentie aanmerkelijk minder is biedt het vliegen in een vliegtuig aangedreven door *turbojet* motoren belangrijke voordelen in termen van comfort boven de *turboprop*. De visie van de Brabazon Commissie bleek achteraf volledig verkeerd te zijn. De *turbojet* motor, later in een verbeterde versie ontwikkeld als de *turbofan*, zou de dominante aandrijfkracht voor passagiersvervoer over lange afstanden worden. Voor bedrijven die het in de jaren '40, tegen de heersende ontwerpersvisie aandurfdien om een *turbojet* vliegtuig voor lange afstand passagiersvervoer te introduceren, lagen grootse mogelijkheden open.

De pionier op dit gebied was het Britse De Havilland, dat in 1944 het eerste Britse straalvliegtuig (de Gloster Meteor) had laten vliegen. Dit bedrijf ontwikkelde het Comet straalverkeersvliegtuig, dat aangedreven werd door vier Ghost *turbojet* motoren. Het vliegtuig bood plaats aan 36 personen, had een kruissnelheid van 500 mph, en een bereik van 1750 mijl. De negen toestellen die de Britse luchtvaartmaatschappij BOAC bestelde werden vanaf 1952 ingezet op lijnvluchten vanaf Londen, o.a. naar Johannesburg, Colombo en Tokio.

Van de opvolger, de Comet 1A (44 passagiers) werden al snel exemplaren aan buitenlandse maatschappijen verkocht, en het vliegtuig leek een commerciële succes te worden. De vliegtijd op lange routes werd aanzienlijk bekort, en het aanzienlijke comfort van het straalvliegtuig begon duidelijk te worden. Op 10 januari 1954 stakte het succes. De eerste Comet stortte na een start in Rome bij Elba in zee. Er waren geen overlevenden. Al eerder waren vier Comets gecrasht tijdens of kort na de start. Bij het derde van deze ongelukken waren 43 personen omgekomen⁴.

Na de crash bij Elba werden de Comets twee maanden aan de grond gehouden. Toen ze daarna weer de lucht in konden, ondanks het feit dat de toedracht van het ongeluk onopgehelderd was, crashte na twee weken een nieuwe Comet die vanaf Rome vertrok. Opnieuw werden de toestellen aan de grond gehouden, ditmaal voor een langere periode. Uit proeven in een watertank bleek uiteindelijk dat metaalmoeheid de oorzaak was van de twee raadselachtige crashes. Scheurtjes in de romp van het toestel veroorzaakten een ontploffing. Nadat na enkele jaren het wrak van de gecrashte Comet uit zee werd opgevist, bleek dat deze scheurtjes ontstaan waren in de hoek van een navigatievenster in het dak van het toestel. Dit venster was rechthoekig uitgevoerd. Met een ronde vorm was het probleem aanzienlijk minder ernstig geweest.

Er werden enkele modificaties gepleegd en in 1958 vloog de vernieuwde en veilige Comet 4. Het vertrouwen van het publiek en de vliegmaatschappijen in

⁴ <http://surf.to/comet>

de Comet was echter zodanig geschokt dat dit nieuwe vliegtuig geen commercieel succes werd. De Havilland kwam deze klap niet meer te boven, en werd opgeslokt door British Aerospace. De Amerikaanse maatschappij Boeing werd met haar 707 model, dat in 1957 geïntroduceerd was, de leider in de markt voor straalverkeersvliegtuigen.

Dit voorbeeld toont de mate van onzekerheid die gemeoid is met het ontwikkelen van technologie aan. Een *turbojet* motor gebruiken voor een passagiersvliegtuig was één van die mogelijkheden die men vóórdat de innovatie gepleegd werd, niet makkelijk zou onderkennen, zelfs ondanks het feit dat de motor als zodanig reeds een tiental jaren bestond. De Brabazon Commissie bijvoorbeeld, die bestond uit luchtvaartdeskundigen, sloeg, achteraf gezien, de plank met betrekking tot de economische mogelijkheden van de straalmotor volledig mis. Zelfs nadat de Comet gevlogen had, waren de ingewijden nog niet volledig overtuigd. De ingenieur Pearson (1955) bleek achteraf een gelukkige visie te hebben gehad, toen hij in 1955 onder het kopje "*Turbo-prop versus Turbo-jet*" in *De Ingenieur* stelde:

"Much has been written on this subject but most of the technical considerations can be invalidated from the operator's point of view by the free choice of the man who comes along with his own money to buy a ticket ... I believe that the jet transport will have a great passenger appeal over the turbo-prop transport ... and that we shall increasingly see the jet transport, when it is re-established, invade the propellor turbine field" (p. 67).

Pearson voorzag de commerciële mogelijkheden van de turbojet wel degelijk, maar zijn voorzichtige woordkeuze geeft aan dat zijn visie in 1955 nog steeds geen gemeengoed was onder ontwerpers. Het feit Boeing bijna 10 jaar nodig had om De Havilland te volgen, geeft eveneens aan dat de toekomst van straalverkeersvliegtuigen lange tijd door grote onzekerheid omgeven was.

De geschiedenis van de Comet toont verder aan dat ook de implementatie van het basisidee een grote mate van technisch en commercieel risico inhield. Toen het toestel aan haar lijnvluchten begon was niet te voorzien dat binnen enkele jaren meer dan honderd mensen de dood zouden vinden in crashes met het toestel. Metaalmoetheid was een nog relatief onbekend verschijnsel, en openbaarde zich pas toen in de hoge luchtlagen waar de Comet vloog, de druk op de vliegtuigromp groter werd dan tot dan toe gebruikelijk was in de luchtvaart.

Natuurlijk wisten luchtvaartmaatschappijen en passagiers dat er een zeker risico op een crash bestond. Deze kennis was echter van weinig economische waarde. Het berekenen van de verwachte kosten die met een crash gemeoid zouden zijn, zou economisch gezien geen zin hebben gehad. Deze procedure is immers gebaseerd op een kansverdeling die de gemiddelde uitkomst van een proces aangeeft. Het gebruiken van deze gemiddelde uitkomsten heeft slechts zin indien

een proces een groot aantal malen herhaald wordt, zodat er ook daadwerkelijk convergentie naar de kansverdeling te verwachten valt. Toen de vooraf weinig waarschijnlijke gebeurtenis van een aantal fatale crashes op rij eenmaal gerealiseerd was, was het voor De Havilland te laat. Een catastrofe van deze omvang betekende voor het bedrijf op termijn de ondergang. Een nieuwe kans om de markt voor straalverkeersvliegtuigen te betreden deed zich niet meer voor. De meeste technologische innovaties worden gekenmerkt door minder dramatische mogelijke gevolgen dan een vliegtuigcrash met tientallen doden. Desalniettemin kan een technologische gok voor veel bedrijven grote positieve of negatieve gevolgen hebben.

De standaard economische theorie kan niet erg goed omgaan met de sterke commerciële en technologische onzekerheid die samenhangt met innovatie. Dit soort onzekerheden zijn niet te implementeren in de standaard economische beslissingsmodellen, zoals hierboven kort beschreven. Simon (1986) heeft een alternatieve vorm van representatie van rationeel gedrag voorgesteld, die betere aanknopingspunten biedt voor het economisch modelleren van technologische beslissingen. In dit model, dat bekend staat als *bounded rationality*, opereren ondernemers op basis van een beperkte representatie van de werkelijkheid. De beperktheid is het gevolg van onzekerheid, en betekent dat voorspellingen niet onder alle omstandigheden zullen uitkomen. Het toekomstbeeld van de ondernemer of consument wordt gevormd op basis van een imperfecte benadering van de werkelijkheid. Een cruciaal verschil met het standaard model van economische rationaliteit is dat verschillende bedrijven (of consumenten) in dezelfde omstandigheden verschillend kunnen reageren. Dit is het gevolg van het feit dat de representatie van de werkelijkheid die ze hanteren sterk gekleurd is door persoonlijke voorkeuren en ervaringen.

Deze persoonlijke kleuring van gedrag onder *bounded rationality* betekent dat economisch gedrag, net zoals de uitkomsten ervan, niet perfect voorspelbaar is. De relatief nieuwe stroming die bekend staat als evolutionaire economie (bijvoorbeeld Nelson en Winter, 1982) poogt om de gevolgen van dit niet perfect voorspelbare gedrag voor de macro-economie te analyseren met behulp van een Darwinistische benadering. Analooq aan het proces van biologische selectie, stellen deze auteurs een economische selectieomgeving voor waarin de ondernemers die (achteraf gezien) 'goede' beslissingen hebben genomen zullen groeien. Economisch gedrag is in deze visie geen strikte maximalisatie, maar een proces van *survival of the fittest*.

In de recente, ten opzichte van Nelson en Winter geavanceerde evolutionaire economische modellen, zoals Silverberg en Verspagen (1994), wordt een terugkoppeling tussen de uitkomst van het selectie proces en gedrag verondersteld. Bedrijven die het op de markt slecht doen, iets dat bijvoorbeeld tot uitdrukking kan komen doordat ze minder winst maken dan hun concurrenten, zijn eerder geneigd hun strategie te veranderen dan bedrijven die het relatief goed doen. In

dit soort modellen ontstaan op een endogene manier economische gedragsconventies, zoals bijvoorbeeld een redelijke constante ratio tussen R&D uitgaven en de waarde van de verkopen. Op macro niveau ontstaan groeipaden van de economie die verrassend realistisch aandoen. Fenomenen zoals plotselinge tempowisselingen van economische groei of lange periodes van stabiele groei doen zich in deze modellen voor (bijvoorbeeld Chiaromonte en Dosi, 1993). Het zou te ver voeren om hier de verschillen tussen de standaard economische groeitheorie en de evolutionaire benadering gedetailleerd te bespreken. Het moge echter duidelijk zijn dat met betrekking tot de rol van technologische onzekerheid, de evolutionaire benadering belangrijke voordelen biedt.

Cumulativiteit. De derde eigenschap van technologische kennis die ik aan de orde wil stellen is cumulativiteit. Dit heeft betrekking op het verschijnsel dat kennis helpt bij het genereren van nieuwe kennis. Hoe meer kennis beschikbaar is, hoe groter de kans dat nieuwe kennis ontwikkeld kan worden. Hierbij zien we echter het verschijnsel dat bedrijven of organisaties die een sterke positie in onderzoek in een bepaald veld hebben opgebouwd, een grotere kans hebben om de volgende stap van kennisontwikkeling te zetten. Dit is onder andere het gevolg van het feit dat kennisontwikkeling voor een belangrijk gedeelte een impliciet leerproces is, dat niet via overdracht van gecodificeerde informatie verloopt (zie bijvoorbeeld Oerlemans, 1996).

In zekere zin is cumulativiteit het tegenovergestelde van non-rivaliteit en niet-uitsluitbaarheid. Deze beide laatste begrippen zorgen er voor dat technologische kennis in zekere mate een publiek goed is. Cumulativiteit daarentegen zorgt ervoor dat er verschillen ontstaan tussen bedrijven met betrekking tot hun kennispotentieel. Deze tegenstelling is paradoxaal. Men zou geneigd zijn te zeggen dat technologische kennis óf een publiek goed is, óf een privaat goed. In werkelijkheid bezit technologische kennis kenmerken van beide, en dat maakt de economische analyse van technologie er niet eenvoudiger op. Noch de theorie omtrent publieke goederen volstaat, noch de theorie omtrent private goederen. Cumulativiteit kan gedefinieerd worden als het verschijnsel dat in een reeks opeenvolgende innovaties, de kans dat een bedrijf of organisatie innovatie n zal plegen, afhangt van hoeveel van de innovaties in reeks $1..n-1$ dat bedrijf of die organisatie reeds gerealiseerd heeft. Een empirische illustratie kan ontleend worden aan de technometrie, meer bepaald de analyse van octrooicitaties. In octrooidocumenten komen citaties naar vorige octrooien voor. Deze citaties hebben onder meer tot doel om de geoctrooierde kennis voldoende af te bakenen, maar ze kunnen ook geïnterpreteerd worden als een teken van technologische relaties tussen de geciteerde en citerende octrooien (o.a. Jaffe, Trajtenberg *et al.*, 1993). In deze zin zal ik octrooicitaties hier interpreteren.

Figuur 3 geeft een overzicht van het citatiegedrag van de 30 bedrijven die vanuit Nederland de meeste octrooien aanvragen bij het Europees Octrooi Bureau (1979 - 1996). De witte balkjes geven het aantal octrooiaanvragen weer. De bekende grote multinationale bedrijven (Philips, Shell, Unilever en Akzo Nobel) scoren hierbij het hoogste. Ook enkele buitenlandse bedrijven met Nederlandse vestigingen (bijvoorbeeld Alcatel, Duphar, Schlumberger, ICI) scoren relatief hoog (van deze bedrijven zijn alleen octrooiaanvragen met een Nederlands adres meegeteld).

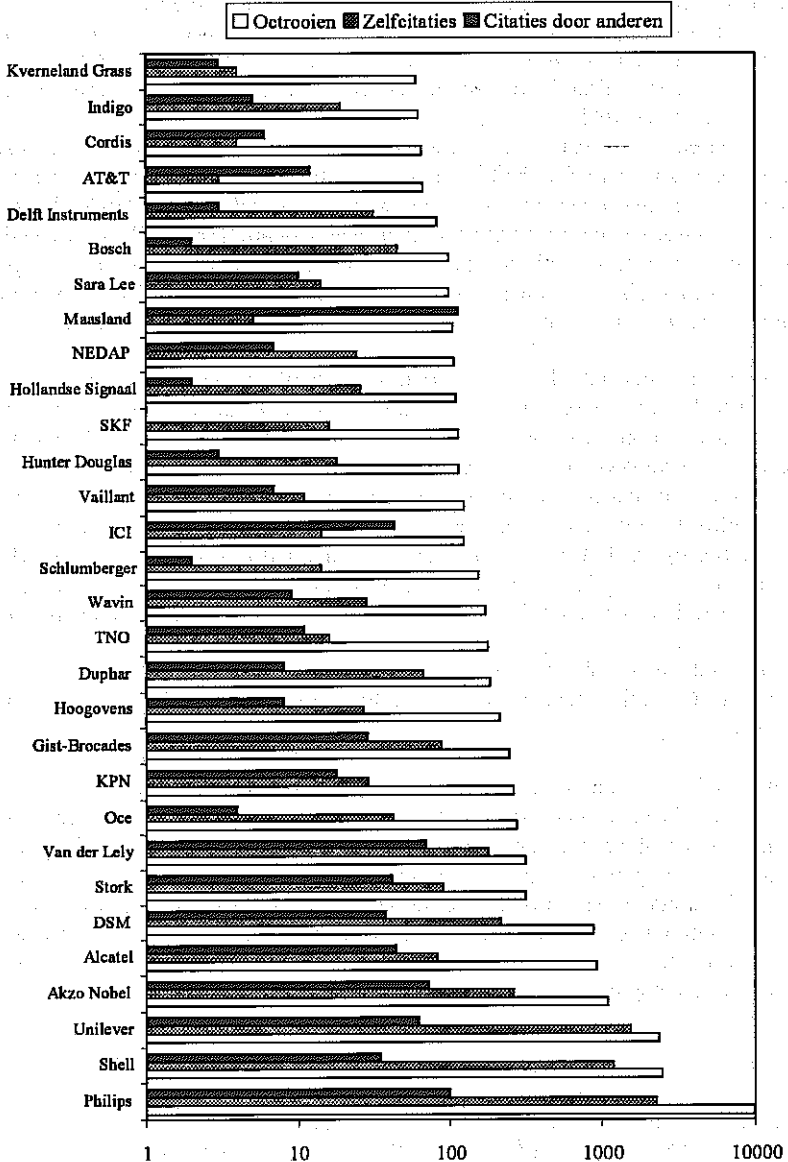
De grijze en zwarte balkjes geven het aantal octrooi-citaties door Nederlandse bedrijven weer. Het grijze balkje geeft het aantal citaties door het eigen bedrijf weer ('zelfcitaties'), het zwarte balkje citaties door andere Nederlandse bedrijven⁵. Wanneer een citatie gezien wordt als een indicatie van op elkaar volgende innovaties, kan de vergelijking tussen zelfcitaties en citaties door anderen gebruikt worden als een indicator van het belang van cumulativiteit. Een groot aandeel van zelfcitaties duidt hierbij op een hoog belang van cumulativiteit.

In de figuur komt inderdaad naar voren dat technologische cumulativiteit groot is. Het balkje van de zelf-citaties is in 26 van de 30 gevallen groter dan dat van de citaties door anderen. Met andere woorden, de kans dat een vervolginventie gepleegd wordt door hetzelfde bedrijf dat de originele inventie pleegde, is groter dan de kans dat de vervolginventie van een ander bedrijf komt. In het geval van Philips bijvoorbeeld leveren de 9719 octrooiaanvragen van dit bedrijf 2288 zelfcitaties op, en 101 citaties door andere Nederlandse bedrijven. (Het verschil in omvang van de grijze en zwarte balkjes wordt vertekend door de logschaal). Dit voorbeeld toont aan dat succes in het innovatie proces een stimulans is voor verder succes. Technologische kennis bezit weliswaar kenmerken van een publiek goed (niet-uitsluitbaarheid en non-rivaliteit), maar tegelijk hebben *insiders* een duidelijk betere toegang tot technologische kennis dan relatieve buitenstaanders.

Het verschijnsel van cumulativiteit heeft enkele belangrijke economische consequenties. In micro-economische termen spreekt men in dit verband van toenemende schaalopbrengsten. De theorie van concurrentie op een vrije markt daarentegen is gebaseerd op de veronderstelling van constante schaalopbrengsten. Het modelleren van technologie heeft daarom belangrijke consequenties voor de uitkomsten van deze theorie. Eén van die consequenties is het bestaan van meerdere evenwichten, en het verschijnsel van pad-afhankelijkheid dat daarmee samenhangt.

⁵ De citaties zijn voor het overgrote merendeel toegevoegd door de *patent-examiners* van het Europees Octrooi Bureau. Er is dus weinig kans op een *bias* als gevolg van het feit dat onderzoekers geneigd zijn hun eigen werk te citeren.

Figuur 3: Octrooicitaties tussen in Nederland gevestigde bedrijven, op basis van Europese octrooien, 1979-1996



In de standaard economische modellen levert het proces van vrije concurrentie een uitkomst op die zorgt voor een optimaal welvaartsniveau. De werking van de vrije markt zorgt voor een economische uitkomst die voor alle deelnemers optimaal is. Dit is de achterliggende theoretische motivatie bij het proces van marktwerking dat tegenwoordig zo sterk in de politieke belangstelling staat. De uitkomst van het proces van marktwerking noemt men in de economische theorie een evenwicht. In het standaard model van volledig vrije mededinging bestaat er slechts één evenwicht, waarvan men kan aantonen dat het optimaal is.

Echter, onder de veronderstelling van toenemende schaalopbrengsten (bijvoorbeeld cumulativiteit in technologie) in combinatie met sterke onzekerheid en *bounded rationality*, bestaan er meerdere evenwichten⁶. Sommige van die evenwichten leveren een hoger welvaartsniveau op dan andere. Welke evenwichten er op de lange termijn bestaan, en welke vanuit welvaartsoogpunt te prefereren zijn, is meestal echter op de korte termijn niet duidelijk. Welk evenwicht in dit soort gevallen geselecteerd wordt hangt af van toevallige factoren in de geschiedenis van het technologische systeem. De technologische oplossing die in een vroeg stadium een kleine voorsprong op concurrerende systemen weet op te bouwen, kan die voorsprong door de toenemende schaalopbrengsten vaak uitbouwen tot een beslissende voorsprong. Het systeem wordt op deze manier padafhankelijk, en selecteert een lokaal optimum dat niet noodzakelijk een globaal optimum is.

David (1975) en Arthur (1988) bespreken voorbeelden van padafhankelijkheid. Een van de voorbeelden die in het kader van het milieuvraagstuk vaak gebruikt worden is de ontstaansgeschiedenis van de auto (Kemp en Soete, 1992). Voor de auto waren drie verschillende aandrijvingmechanismen beschikbaar: de interne verbrandingsmotor, de stoommotor en de elektrische motor (zie Mom, 1997). De eerste van deze drie alternatieven werd de dominante technologie, nadat Henry Ford dit systeem gekozen had voor de auto's die hij op de lopende band vervaardigde. De lopende band gaf zijn product een beslissende kostenvoorsprong op alternatieve systemen (toenemende schaalopbrengsten), waardoor de stoomauto en de elektrische auto uit de belangstelling verdwenen. Of deze uitkomst vanuit milieuoogpunt optimaal was, is echter zeer twijfelachtig.

2. Evolutionaire Macro-economie

De drie kenmerken van technologische kennis die ik besproken heb maken standaard economische modellen moeilijk toepasbaar op het gebied van economie en technologie. Na deze constatering staan een tweetal mogelijke wegen open. Men kan pogen om de standaard modellen aan te passen, en te onderzoeken

⁶ Ook sommige modellen in de neo-klassieke theorie, die uitgaat van volledige rationaliteit, kunnen meerdere evenwichten opleveren.

ken in hoeverre de uitkomsten veranderen indien technologie op een bevredigende manier wordt meegenomen. Als een voorbeeld van deze benadering zou ik de zogenaamde nieuwe groeitheorie willen interpreteren, die poogt om modellen van economische groei aan te passen door technologie te endogeniseren (bijvoorbeeld Romer, 1986, 1990). Een andere benadering bestaat uit het ontwikkelen van een compleet nieuw theoretisch kader, dat expliciet gebaseerd is op de hierboven genoemde kenmerken van technologische kennis. Een voorbeeld van deze benadering is de evolutionaire economie, die hierboven reeds kort besproken is.

Ik ben van mening dat de economische wetenschap beide alternatieven serieus dient te nemen, en simultaan dient te ontwikkelen. Aansluiten bij de bestaande theorie heeft als voordeel dat veel van de instrumenten (modellen) die inmiddels gangbaar zijn, gebruikt kunnen blijven worden. Deze wetenschappelijke continuïteit is belangrijk omdat op deze manier op korte termijn bruikbare resultaten gegenereerd kunnen worden. Een meer radicale breuk met de bestaande theorie, in de vorm van evolutionaire economie, heeft echter als voordeel dat een volledig frisse kijk op de economische werkelijkheid ontstaat, die naar verwachting nieuwe gezichtspunten zal opleveren.

De evolutionaire economie is echter nog een relatief jonge tak van wetenschap, die haar nut met betrekking tot praktische analyse nog niet volledig bewezen heeft. Evolutionaire modellen zijn veelal beperkt tot puur theoretische exercities die geen inzicht bieden in economische problemen uit de echte wereld. Evolutionaire economen staan voor de uitdaging om dit inzicht aan beleidsmakers en andere geïnteresseerden te bieden. In de tijd die mij nog rest wil ik graag een aanzet geven tot een bijdrage aan die ontwikkeling. Ik zal dat doen aan de hand van een simpel simulatiemodel van de Nederlandse economie.

In navolging van bijvoorbeeld Silverberg (1988) en Iwai (1984, 1985) gebruikt dit model een *replicator* vergelijking. Deze geeft het verband weer tussen verschillen in concurrentiekracht en de verandering van marktaandelen. Bedrijven die een hoger dan gemiddelde concurrentiekracht hebben, zien hun marktaandeel groeien. Deze vergelijking is bij uitstek geschikt om in een economisch model met *bounded rationality* als evolutionaire metafoor te gebruiken. Zoals hierboven aangegeven, leidt *bounded rationality* tot een situatie waarin verschillende bedrijven in identieke omstandigheden verschillende gedragspatronen (strategieën) vertonen. Deze verschillen, die leiden tot verschillen in concurrentiekracht zijn het uitgangspunt van de *replicator* vergelijking, terwijl een standaard economisch model van volledige rationaliteit slechts kan werken met een enkel gedragspatroon (de zogenaamde representatieve agent).

De versie van het model die hier gebruikt wordt neemt de verschillen in concurrentiekracht tussen Nederlandse bedrijven en buitenlandse bedrijven als een gegeven waaromtrent veronderstellingen (scenario's) gemaakt kunnen worden. De relatie tussen bedrijfsstrategie en concurrentiekracht wordt door het model

niet verklaard. Een relatief simpele uitbreiding van het model zou dit wel mogelijk maken, bijvoorbeeld aan de hand van de methodologie van Verspagen en Wakelin (1997), die verschillen met betrekking tot R&D investeringen en loonvoeten koppelen aan concurrentiekracht.

De macro-economische kern van het model wordt gevormd door een dynamische input-output tabel en de theorie van de betalingsbalansrestrictie aan economische groei (zie bijvoorbeeld McCombie en Thirlwall, 1994). Dit leidt er toe dat de structuur van de (consumenten-) vraag een belangrijke factor is voor het groeipad van een economie. Deze gedachte sluit aan bij een van de conclusies die door Douben (1985) getrokken werden:

“Intussen heeft de technologische ontwikkeling zo om zich heen gegrepen, dat een benadering van dit verschijnsel uitsluitend vanuit de produktiekant van de economie thans als een duidelijke vertekening van de economische realiteit moet worden beschouwd” (Douben, 1985, p. 5).

Technologische ontwikkeling is een belangrijke factor in de bepaling van lange termijn structurele ontwikkelingen aan de vraagzijde van de economie. Verdere modellering van deze relatie is een belangrijke uitdaging voor de evolutionaire economie. Dat deze uitdaging aangenomen wordt, blijkt uit recente publicaties, zoals onder meer Cowan, Cowan *et al.* (1997, 1998).

Het model is geïmplementeerd in de vorm van een gebruikersvriendelijk computerprogramma dat beschikbaar is via Internet⁷. Met behulp van het programma kan de lezer zelf experimenten uitvoeren onder alternatieve veronderstellingen. Een volledige beschrijving van het model wordt gegeven in Verspagen (1999).

De scenario's die met het model onderzocht kunnen worden hebben betrekking op het groeipad van de Nederlandse economie in de periode 1997 - 2050. Uiteraard betekent een dermate lange periode dat vooral de lange termijn resultaten aan belangrijke onzekerheid onderhevig zijn. Het is dan ook van belang te onderkennen dat het model niet gericht is op het genereren van voorspellingen, maar gezien moet worden als een instrument om de gevoeligheid van het groeipad voor enkele belangrijke variabelen te onderzoeken.

Het experiment dat ik zal bespreken, vergelijkt twee scenario's met betrekking tot de concurrentiekracht van de Nederlandse economie. Als metafoor gebruik ik het onderscheid tussen concurrentie op basis van lage lonen en concurrentie op basis van technologische kennis (o.a. Kleinknecht, 1998). In het model kan dit onderscheid gemaakt worden aan de hand van de sectoren waarin Nederland sterk concurrerend is. In het ene geval concurreert Nederland sterk in sectoren

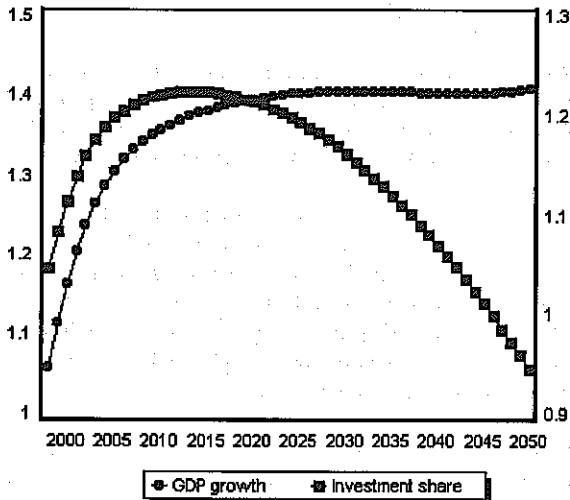
⁷ <http://meritbbs.unimaas.nl/verspagen.html>

waarbij vooral lage lonen van belang zijn (zware industrie)⁸, in het andere geval concurreert Nederland sterk in de agro-gerelateerde sectoren. Dit laatste scenario wordt geïnterpreteerd als concurrentie op basis van technologische ontwikkeling, met name biotechnologie.

In beide experimenten is verondersteld dat de productiviteitsgroei gelijk is aan de jaarlijkse waarde in de periode 1974 - 1992. De vraag ontwikkelt zich langs een milieuvriendelijk scenario: de rol van milieubelastende sectoren (mijnbouw, olie, chemie, bouwmaterialen, auto's, energie, en transport) neemt in de loop der tijd sterk af. Uit experimenten met het model die hier verder niet gedocumenteerd worden, blijkt dat het milieuvriendelijke vraagscenario op zichzelf een negatieve invloed op de groei heeft.

Figuur 4 geeft de uitkomsten van de twee experimenten. De lijn met de bolletjes geeft de groeivoet weer (op de linker as), de lijn met de vierkantjes de investeringsvraag (op de rechter as). Beide variabelen geven de resultaten voor het agro-scenario ten opzichte van het zware industrie scenario. Een waarde hoger dan één wijst op een positief effect op het groeipad of de investeringsvraag in het agro-scenario.

Figuur 4: Simulatieresultaten voor de Nederlandse economie



⁸ Mijnbouw, olie, chemie, basismetaal, metaalproducten, machines, transportmiddelen, transport.

De resultaten tonen aan dat concurrentiekracht in de agro-sector (biotechnologie) in het geval van milieuvriendelijke vraagontwikkeling tot hogere groei leidt dan concurrentiekracht in de zware industriële sectoren (lage lonen). Op de lange termijn (vanaf 2020) is de groeivoet in het agro-scenario ongeveer 1.4 maal zo hoog dan in het zware industrie scenario. Dit gaat gepaard met een grotere vraag naar investeringsgoederen voor bijna de gehele periode. Slechts in de laatste vijf jaar is de investeringsvraag in het agro-scenario lager dan in het zware industrie scenario.

Het verschil tussen de twee scenario's ligt vooral in het feit dat in het ene geval (agro) Nederlandse bedrijven concurrerend zijn in de sectoren waar de vraag het sterkste groeit, terwijl in het andere geval de concurrentiekracht het grootste is in de sectoren waar de vraag relatief gezien krimpt. Het belang van de combinatie van vraag- en aanbodfactoren komt hier, net als in een aantal andere evolutionaire groei modellen (bijvoorbeeld Verspagen, 1993 en Windrum en Birchenhall, 1998), sterk naar voren.

3. Conclusies en samenvatting

Technologische kennis stelt de gangbare economische theorie voor problemen. Enkele bijzondere kenmerken die technologie sterk doen verschillen van standaard economische goederen zijn hiervoor verantwoordelijk. Van deze kenmerken zijn er drie besproken in dit artikel.

Ten eerste leiden non-exclusiviteit en non-rivaliteit tot positieve externaliteiten. Deze externaliteiten zijn tegelijk groei-bevorderend (zoals vooral wordt betoogd in de zogenaamde nieuwe groeitheorie), en leiden tot onderinvestering (vanuit sociaal oogpunt) in technologie in een vrije markt economie.

Ten tweede leidt de sterke onzekerheid die met technologische ontwikkeling samenhangt, er toe dat bedrijven die over investeringen in technologie moeten beslissen, gedwongen zijn om te opereren onder zogenaamde bounded rationality. Dit leidt er toe dat (vrijwel) identieke bedrijven onder dezelfde omstandigheden toch tot verschillende strategieën komen. Dit is in tegenspraak met het gangbare model van volledige rationaliteit dat in de neo-klassieke economische theorie gebruikt wordt.

Tenslotte leidt cumulativiteit in technologische capaciteiten vaak tot toenemende schaalopbrengsten (in dynamisch perspectief). In macro-economisch opzicht kan hierdoor padafhankelijkheid ontstaan.

De economie van de technologische ontwikkeling is een relatief jong vakgebied dat deze problemen wil onderzoeken. Hierbinnen is het gebied van de evolutionaire economie een ontwikkeling die een groot potentieel lijkt te hebben. Deze relatief nieuwe tak van theorievorming presenteert een kader waarin de gesig-

naleerde bounded rationality een voor de hand liggend uitgangspunt vormt, en waarin dynamiek centraal staat.

Evolutionaire economie vaart wel bij een multi-disciplinaire invalshoek. Doordat de veronderstelling van strikte economische optimalisatie niet langer gemaakt wordt, kan de modelbouwer een breed scala van minder of meer economische gerelateerde factoren betrekken in het model. Op deze manier ontstaat een natuurlijke verbinding met bijvoorbeeld de geschiedenis, andere sociale wetenschappen dan de economie zelf, of de technische wetenschappen.

De meeste voorbeelden van evolutionaire modellen die tot nu toe beschikbaar zijn, zijn echter sterk theoretisch van aard. Toegepaste macro-economische evolutionaire modellen zijn nog schaars. Dit artikel heeft de eerste simulatie resultaten besproken van een evolutionair macro-economisch model voor de Nederlandse economie in de 21e eeuw. Uit deze resultaten blijkt dat zowel de lange termijn ontwikkeling van de structuur van de vraag, als de internationale concurrentiekracht van Nederlandse bedrijven een belangrijke rol spelen in de relatieve groei-prestatie van de Nederlandse economie. Technologische verandering speelt in beide ontwikkelingen een belangrijke rol. Dit leidt tot de conclusie dat beleidsmaatregelen ter bevordering van de technologische concurrentiekracht van Nederlandse bedrijven, in samenspraak met maatregelen die leiden tot snelle acceptatie van goederen met een hoge technologie-inhoud (zoals gentechologie) door consumenten, een belangrijke rol kunnen spelen bij het realiseren van hoge economische groei.

Literatuur

- Arthur, W. B., 1988, *Competing Technologies: An Overview. Technical Change and Economic Theory*. G. Dosi, C. Freeman, R. R. Nelson, G. Silverberg en L. Soete. London, Pinter
- Baker, D., 1994, *Flight and Flying. A Chronology*. New York, Facts on File
- Chiaromonte, F. en G. Dosi, 1993, "Heterogeneity, competition, and macroeconomic dynamics." *Structural change and economic dynamics* 4: 39-63
- Constant, E. W., 1980, *The Origins of the Turbojet Revolution*. London, Johns Hopkins University Press
- Cowan, R., W. Cowan, et al., 1997, "A model of demand with interactions among consumers." *International Journal of Industrial Organization* 15: 711-732
- Cowan, R., W. Cowan, et al., 1998, *Interacting Consumers, Externalities and Waves in Demand. Evolution and Self-Organization in Economics*. F. Schweitzer en G. Silverberg. Berlin, Duncker & Humblot. 15: 711-732
- David, P., 1975, *Technical Choice, Innovation and Economic Growth*. Cambridge, Cambridge University Press

- David, P. A., 1993, Intellectual Property Institutions and the Panda's Thumb: Patents, Copyrights, and Trade Secrets in Economic Theory and History. *Global Dimensions of Intellectual Property Rights in Science and Technology*. M. B. Wallerstein, M. E. Moge en R. A. Schoen. Washington, D.C., National Academy Press: 19-64
- Dosi, G., 1988, "Sources, Procedures and Microeconomic Effects of Innovation." *Journal of Economic Literature* 26: 1120-1171
- Douben, N. H., 1985, *Techniek en Economie*. Eindhoven, TUE
- Grossman, G. M. en E. Helpman, 1991, *Innovation and Growth in the Global Economy*. Cambridge MA, MIT Press
- Iwai, K., 1984, "Schumpeterian Dynamics. An Evolutionary Model of Innovation and Imitation." *Journal of Economic Behavior and Organization* 5: 159-190
- Iwai, K., 1984, "Schumpeterian Dynamics. Part II. Technical Progress, Firm Growth and Economic Selection." *Journal of Economic Behavior and Organization* 5: 321-351
- Jacobs, D., 1996, *Het kennisoffensief : slim concurreren in de kenniseconomie*. Alphen aan den Rijn, Samsom Bedrijfsinformatie
- Jaffe, A. B., M. Trajtenberg, et al., 1993, "Geographic localization of knowledge spillovers as evidenced by patent citations." *The Quarterly Journal of Economics* CIX: 577-598
- Kemp, R. en L. Soete, 1992, "The greening of technological progress: An evolutionary perspective." *Futures* 24: 437-457
- Kleinknecht, A. H., 1998, *Mythen in de Polder*. Delft, TU Delft
- Los, B., 1999, *The Impact of Research and Development on Economic Growth and Structural Change*. Enschede, Ph.D. thesis University of Twente
- McCombie, J. S. L. en A. P. Thirlwall, 1994, *Economic Growth and the Balance-of-Payments Constraint*. London, St. Martin's Press
- Mom, G., 1997, *Geschiedenis van de Auto van Morgen*. Academisch Proefschrift Technische Universiteit Eindhoven, Deventer: Kluwer Bedrijfsinformatie
- Nelson, R. R. en S. G. Winter, 1982, *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Cambridge, MA, Harvard University Press
- Oerlemans, L., 1996, *De ingebedde onderneming: innoveren in industriële netwerken*. Academisch Proefschrift Technische Universiteit Eindhoven, Tilburg University Press
- Pearson, J. D., 1955, "The Development and Future of Turbine Engines for Airline Aircraft." *De Ingenieur* 67: L59-L68.
- Romer, P., 1986, "Increasing Returns and Long Run Growth." *Journal of Political Economy* 94: 1002-1037
- Romer, P. M., 1990, "Endogenous Technological Change." *Journal of Political Economy* 98: S71-S102
- Silverberg, G., 1988, *Modelling Economic Dynamics and Technical Change: Mathematical Approaches to Self-Organisation and Evolution*. *Technical*

- Change and Economic Theory*. G. Dosi, C. Freeman, R. Nelson, G. Silverberg en L. Soete. London, Pinter: 531-559
- Silverberg, G. en B. Verspagen, 1994, "Learning, Innovation and Economic Growth. A Long Run Model of Industrial Dynamics." *Industrial and Corporate Change* 3: 199-223
- Simon, H. A., 1986, On the Behavioral and Rational Foundations of Economics Dynamics. *The Dynamics of Market Economics*. R. M. Day en G. Eliasson. Amsterdam, North Holland: 21-41
- Solow, R. M., 1970, *Growth Theory: An Exposition*. Oxford, Oxford University Press
- Van Dijk, T., 1994, The Limits of Patent Protection. Essays on the Economics of Intellectual Property Rights. *Faculty of Economics*. Maastricht, University of Limburg
- Verspagen, B., 1993, *Uneven Growth Between Interdependent Economies. The Evolutionary Dynamics of Growth and Technology*. Aldershot, Avebury
- Verspagen, B., 1993a, 'Endogene Technologische Innovatie in Neo-Klassieke Groeitheorie. Een Overzicht', *Tijdschrift voor Politieke Economie*, 16 (2), pp. 39-55
- Verspagen, B., 1999, Evolutionary Macroeconomics. What Schumpeterians can learn from Kaldorians. Eindhoven, ECIS Working Paper
- Verspagen, B. en K. Wakelin, 1997, Technology, Employment and Trade: Perspectives on European Integration. *Technology and International Trade*. J. Fagerberg, P. Hansson, L. Lundberg en A. Melchior. Aldershot, Edward Elgar: 56-74
- Walters, B., 1979, *The illustrated history of air travel*. New York, Crescent Books
- Windrum, P. en C. Birchenhall, 1998, "Is Life Cycle Theory a Special Case?: Dominant Designs and the Emergence of Market Niches through Coevolutionary Learning." *Structural Change and Economic Dynamics* 9: 109-134

Verstorende belastingen, sociale cohesie en prijsstabiliteit

Henriëtte Prast

De speltheoretische benadering van monetair beleid heeft laten zien dat onafhankelijkheid van centrale banken een belangrijke voorwaarde is voor het bereiken van prijsstabiliteit. Volgens deze benadering is het het beste als de centrale bankiers en ministers zich ieder op hun eigen taken richten. De bewegingsvrijheid die de centrale bank krijgt bij het nastreven van de doelstelling prijsstabiliteit hangt volgens de auteur niet zozeer samen met de in wetten vastgelegde onafhankelijkheid van de centrale bank, maar veeleer met de mate van sociale cohesie en de daarvan afhankelijke maatschappelijke steun voor het beleid (van de redactie).

In de discussie over het bereiken van prijsstabiliteit is het afgelopen decennium veel aandacht besteed aan de positie van de centrale bank. De speltheoretische benadering van monetair beleid heeft laten zien, dat de wisselwerking tussen regering en private sector tot een voor iedereen ongunstig resultaat kan leiden, enigszins analoog aan het welbekende 'prisoner's dilemma'. De regering probeert de economie te stimuleren door expansief monetair beleid, maar de particuliere sector - de vakbeweging, bijvoorbeeld - anticipeert daarop door extra hoge looneisen te stellen. Door het monetaire beleid uit te besteden aan een instantie - een onafhankelijke centrale bank - die er niet op uit is de productie op korte termijn te stimuleren, kan deze ongunstige spiraal vermeden worden.

Bij al deze aandacht voor centrale-bankonafhankelijkheid is een aantal andere mogelijke

* Henriëtte Prast (De Nederlandsche Bank, afdeling Wetenschappelijk onderzoek en econometrie, en Universiteit van Amsterdam, Faculteit der Economische Wetenschappen en Econometrie, Leerstoel Monetaire Economie en Financiële Instellingen. Dit artikel is mede gebaseerd op Prast, H.M., Inflation, distortionary taxation and the design of monetary policy: the role of social cohesion, Research Memorandum 508, Afdeling wetenschappelijk onderzoek en econometrie, de Nederlandsche Bank, juni 1997.