

Endogene technologische innovatie in neo-klassieke groeitheorie: een overzicht

*Bart Verspagen*¹

Endogene technologische ontwikkeling is steeds een belangrijk element geweest in economische groeitheorieën. De klassieken zoals Marx en Ricardo ruimden er in hun werk een belangrijke plaats voor in (voor een overzicht van hun werk op dit gebied zie bijvoorbeeld Gourvitch, 1940). Na Marx was Schumpeter de eerste moderne econoom die endogene innovatie tot de spil van zijn groeitheorie maakte (bijvoorbeeld Schumpeter, 1934). De post-keynesiaanse theorie, met Kaldor (1957) als belangrijkste voorbeeld, presenteerde de eerste mathematische modellen van economische groei waar een endogene factor technologie in verwerkt was. Meer recent hebben auteurs in de evolutionaire traditie, zoals Nelson en Winter (1982), Freeman (1982), Dosi *et al.* (1988), Silverberg *et al.* (1988), innovatie hét centrale begrip in hun theorieën gemaakt.

De grote afwezigheid in dit rijtje is echter de meest gangbare theoretische stroming: dit is de neo-klassieke, die gestoeld is op het werk van Marshall en Walras in de vorige eeuw. Tijdens de eerste na-oorlogse golf van belangstelling voor de (mathematische) groeitheorie presenteerde Solow (1956, 1957) een groeimodel dat zou uitgroeien tot de neo-klassieke standaard. Technologie kwam in dit model echter slechts voor als een exogene trend.

Uiteraard zijn er elders in de neo-klassieke theorie wel voorbeelden te vinden

¹De auteur is verbonden aan MERIT, Maastricht Economic Research Institute on Innovation and Technology, van de Rijksuniversiteit Limburg. Dit artikel is gedeeltelijk een bewerking van Verspagen (1992).

waarin endogene technologie voorkomt. Arrow (1962) is een belangrijke inspiratiebron die ten grondslag ligt aan veel hedendaagse neo-klassieke groeitheorie, met name aan het onderscheid tussen publieke en private aspecten van kennis. Andere voorbeelden zijn de literatuur over een endogene bias in technologische vooruitgang (voor een overzicht zie Thirtle en Ruttan 1987) en het veld van de industriële economie, waarin auteurs zoals Kamien en Schwartz (1982) en Scherer en Ross (1990) modellen presenteren met betrekking tot de relatie tussen marktstructuur en innovatie.

Endogene technologische innovatie in de neo-klassieke groei-theorie is echter een fenomeen dat na een korte opleving in de jaren zestig (met auteurs zoals Shell 1967, Phelps, 1966, en Uzawa, 1965) nagenoeg van het toneel verdwenen was (tot Romer 1986). Met de recente ontwikkeling van de zogenaamde nieuwe groeitheorie (die dus in een aantal opzichten vertrekt van oude gezichtspunten) is aan de dominantie van het idee van exogene technologie in de standaard groeimodellen echter een einde gekomen. Het doel van dit artikel is om een samenvatting te geven van de belangrijkste ideeën in deze nieuwe groei literatuur. Hierbij wordt de nadruk gelegd op de manier van modelleren van technologische innovatie, en de consequenties hiervan voor de uitkomsten van de analyse.

Hoewel de nieuwe groei literatuur inmiddels omvangrijk genoemd kan worden, wordt hier volstaan met het samenvatten van een beperkt aantal artikelen. De reden hiervoor is dat de belangrijkste ideeën met betrekking tot endogene innovatie in deze artikelen, die trouwens gerekend kunnen worden tot de eerste golf in de nieuwe groeitheorie, reeds aan de orde komen.

De rest van dit artikel is als volgt ingedeeld. In paragraaf 1 komt het begrip toenemende schaalopbrengsten aan de orde. Hier wordt duidelijk gemaakt op welke manier toenemende schaalopbrengsten en technologie met elkaar verbonden zijn. Vervolgens komt in paragraaf 2 de marktstructuur van een economie met endogene innovatie aan de orde. Hier wordt duidelijk dat de nieuwe groeitheorie in zekere zin voortbouwt op de thema's van de industriële economie, en de nieuwe handelstheorie, waarin monopolistische (of oligopolistische) marktstructuren voorkomen. In paragraaf 3 komt de vraag aan de orde hoe men de voorspelde groeipaden uit de modellen kan afleiden. Hier zal blijken dat de nieuwe groeitheorie gerekend kan worden tot de neo-klassieke tak van de economische wetenschap, omdat in belangrijke mate gesteund wordt op de centrale begrippen uit dit paradigma, zoals optimalisatie, rationele verwachtingen en evenwicht. In paragraaf 4 wordt vervolgens ingegaan op de rol van de overheid. In de overheersende Solow-traditie was de rol van de overheid beperkt tot het stimuleren van de werking van de vrije markt. In de nieuwe groeitheorie is echter een meer uitgebreide rol weggelegd voor beleidmakers. In paragraaf 5 tenslotte worden de belangrijkste conclusies samengevat, en wordt een kort

overzicht gegeven van de verbeteringen die de nieuwe groeitheorie brengt ten opzichte van het Solow-model. De discussie zal ook enkele tekortkomingen van de nieuwe modellen aangeven.

1. Externe effecten en toenemende schaalopbrengsten

Technologie is een goed dat tot op zekere hoogte te kenmerken valt als een publiek goed. Bij het gebruiken van kennis is er immers sprake van non-rivaliteit (het gebruik van kennis door de één sluit het gebruik door een ander niet uit), en een zekere mate van non-exclusiviteit (een innovatie kan geïmiteerd worden). Uit de theorie van de economie van de publieke sector is bekend dat publieke goederen niet in voldoende mate kunnen worden voortgebracht door een vrije markteconomie. Een individuele ondernemer heeft immers geen mogelijkheid niet-afnemers van zijn produkt uit te sluiten van gebruik ervan.

Indien men dus endogene innovatie wil modelleren is het van cruciaal belang om aan te geven in hoeverre, en vooral in hoeverre niet, technologie beschouwd kan worden als een publiek goed. Hierbij spelen twee aspecten een rol. Ten eerste dient aangegeven te worden hoe het idee van non-exclusiviteit (of imitatie) in modelvorm weergegeven wordt. Ten tweede dient te worden aangegeven hoe ondernemingen (uitvinders) zich kunnen onttrekken aan imitatie. Deze paragraaf zal zich op het eerste van deze twee problemen concentreren. Het tweede probleem zal in de volgende paragraaf aan de orde komen.

Het idee van technologische *spillovers* is in de neo-klassieke literatuur geïntroduceerd door Arrow (1962). De nieuwe groeitheorie volgt Arrow door te veronderstellen dat in het productieproces van technologische innovaties sprake is van externe effecten. Dit betekent bijvoorbeeld dat technologische kennis die ontwikkeld is door één ondernemer een invloed heeft op de produktiviteit van andere ondernemers. In de meeste gevallen nemen deze externe effecten de vorm aan van algemene kennis.

Het bestaan van externe effecten is nauw verbonden met een belangrijke nieuwe conclusie in de nieuwe groeitheorie: het bestaan van toenemende schaalopbrengsten. In het standaard Solow-model wordt de produktiestructuur gekenmerkt door constante schaalopbrengsten. Dit houdt in dat door de inputs in het productieproces (arbeid en kapitaal) te vermenigvuldigen met een bepaalde factor, de produktie eveneens met deze factor vermenigvuldigd zal worden.

Wanneer er echter sprake is van externe effecten bij één van de inputs in het productieproces, zal de veronderstelling van constante schaalopbrengsten op het geaggregeerde niveau niet langer meer gelden. Wanneer immers een enkele ondernemer (wiens individuele produktiestructuur weliswaar door constante

schaalopbrengsten gekenmerkt kan worden) zijn inputs zou verdubbelen, zou dit eveneens een invloed hebben op de inputs van andere ondernemers. Het resultaat is dus dat de geaggregeerde productie meer dan proportioneel (ten opzichte van de geaggregeerde inputs) zal toenemen.

In de nieuwe groeiliteratuur vindt men een aantal verschillende benaderingen voor het modelleren van externe effecten bij de productie van technologische innovaties. In twee van de eerste artikelen (Romer, 1986 en Lucas, 1988) wordt wellicht de eenvoudigste en meest transparante manier gebruikt. In deze aanpak wordt technologie beschouwd als een aparte factor in de produktiefunctie. Individuele bedrijven (of arbeiders in het geval van Lucas) investeren in een vorm van technologie en aan deze investeringen zijn externe effecten verbonden. In deze modellen is er geen expliciete micro-economische fundering van de productie van kennis en bij gevolg is er geen expliciete marktprijs voor technologie.

De algemene vorm van de produktiefunctie in deze aanpak veronderstelt dat technologie op twee manieren voorkomt in de produktiefunctie van de individuele agent. De eerste term beschrijft de effecten van de eigen investeringen in technologie, terwijl de tweede term betrekking heeft op de investeringen van andere agenten. In mathematische termen ziet dit er als volgt uit.

$$Q_i = F_i(T_i, L_i, \bar{T}) \quad (1)$$

Hierbij staat Q voor productie, L is een vector van traditionele produktiefactoren zoals arbeid en kapitaal, en T staat voor investeringen in technologie. Een subscript i geeft een bedrijf aan en de streep boven de T geeft aan dat het om een geaggregeerde hoeveelheid gaat.

Een nadeel van deze simpele aanpak is de afwezigheid van een duidelijke micro-economische onderbouwing van de investeringen in technologie. Dit is echter een hiaat dat latere modellen hebben opgevuld. De belangrijkste bijdragen op dit gebied zijn te vinden in Aghion en Howitt (1990), Romer (1990), Grossman en Helpman (1989, 1990, 1991). De algemene aanpak die deze artikelen volgen is het splitsen van de activiteiten productie en technologische vernieuwing, door ze onder te brengen in twee verschillende modelsectoren. Vervolgens worden marktstructuren en prijzen gebruikt om deze twee sectoren met elkaar te verbinden.

De agenten in de onderzoekssector van het model produceren twee verschillende soorten output: blauwdrukken voor nieuwe goederen en algemene kennis. Deze twee soorten output hebben ieder hun specifieke bijdrage aan de produktiestructuur van de economie als geheel. Algemene kennis kan niet direct

toegepast worden in de productie van goederen. In plaats daarvan draagt het bij aan de productie van blauwdrukken, oftewel de meer specifieke kennis. Algemene kennis wordt geproduceerd als een bijproduct van de blauwdrukken, en kan niet alleen door de ondernemer die het produceert gebruikt worden, maar ook door alle andere bedrijven in de onderzoekssector. Het effect van algemene kennis is dus volkomen publiek.

De blauwdrukken daarentegen zijn specifiek. Ze geven de beschrijving om een nieuw (consumenten- of intermediair-) produkt te maken. Het produceren en verkopen van deze blauwdrukken is het doel van de bedrijven in de onderzoekssector van de economie. De output van deze bedrijven is afhankelijk van de hoeveelheid menselijk kapitaal (onderzoekers) die ze inzetten, de hoeveelheid algemene kennis die beschikbaar is in de economie, alsmede een (vaste) produktiviteitsparameter.

Binnen de modellen met een dussdanige micro-fundering zijn twee verschillende conceptuele noties ontwikkeld. De eerste is oorspronkelijk gepresenteerd door Aghion en Howitt (1990). In hun model heeft technologie (de blauwdrukken) een invloed op de produktiviteit van de productie van intermediaire goederen, die op hun beurt weer (in vaste verhoudingen) nodig zijn om een homogeen consumentenprodukt te produceren. De veronderstelling die Aghion en Howitt maken is dat de produktiekosten van de intermediaire goederen de volgende ontwikkeling over de tijd hebben.

$$c_t = c_0 \gamma^t \quad (2)$$

Hierbij staat c voor de produktiekosten, en is $\gamma (< 1)$ een parameter die staat voor de technologische mogelijkheden. Een periode t is gedefinieerd als de tijdspanne tussen het verschijnen van twee opeenvolgende innovaties (blauwdrukken). Innovaties zijn een stochastisch fenomeen, en worden gemodelleerd door middel van een Poisson-verdeling (zodat de tijd tussen t en $t-1$ varieert). Steeds wanneer een nieuwe blauwdruk verschijnt worden de produktiekosten van intermediaire goederen dus kleiner, en derhalve de produktiviteit van het productieproces van consumentengoederen groter.

Grossman en Helpman (1991) gebruiken eenzelfde soort relatie, doch zij modelleren produktinnovatie in plaats van procesinnovatie. In hun model vormen de innovaties stappen op een kwaliteitsladder voor een consumentengoed g . Analooq aan vergelijking (2) wordt de hoogste kwaliteitsvariant van g als volgt gedefinieerd.

Hierbij staat $\mu (> 1)$ voor de technologische mogelijkheden, en geeft j de hoogst

$$g = \mu^j \quad (3)$$

behaalde positie op de kwaliteitsladder aan. In dit geval vormt een nieuwe blauwdruk (weer gegenereerd door een Poisson proces) een mogelijkheid om een kwalitatief beter consumentenprodukt te produceren.

Deze vergelijkingen beschrijven de notie dat iedere nieuwe innovatie bouwt op de voorafgaande, zodat de kwaliteit (of produktiviteit) altijd hoger is dan die in de voorafgaande periode. Dit betekent dus dat de invloed van een innovatie niet beperkt is tot de huidige periode, maar ook een invloed heeft op alle volgende periodes. Omdat innovaties (blauwdrukken) in toekomstige periodes verkocht zullen worden door andere bedrijven, is de waarde van de innovatie dus groter dan slechts de waarde voor de innoverende ondernemer in de huidige periode. Er is hier dus sprake van een intertemporeel extern effect.

Echter, er is eveneens sprake van een negatief extern effect. Dit effect, dat door Aghion en Howitt in navolging van Schumpeter "creatieve destructie", of ook wel "*business stealing effect*" genoemd wordt, is een gevolg van het feit dat een nieuwe innovatie de monopoliewinsten van de vorige innovator vernietigt. Dit is impliciet gemodelleerd in vergelijkingen (2) en (3), waar iedere nieuwe innovatie de oude vernietigt. Dit negatieve externe effect is niet aanwezig in de andere modellen die hier besproken worden, hetgeen belangrijke gevolgen heeft voor de effectiviteit van technologiebeleid, iets wat in paragraaf 4 verder aan de orde zal komen.

De tweede aanpak binnen de micro-gefundeerde modellen is ontwikkeld door Romer (1990) en Grossman en Helpman (1989, 1990). In deze modellen wordt de volgende produktiefunctie voor blauwdrukken gebruikt.

$$\dot{n} = N(A_n, H_n, n) \quad (4)$$

A is een (vaste) produktiviteitsparameter, H is de input van menselijk kapitaal, n is het aantal blauwdrukken voor goederen dat in de economie aanwezig is (een subscript n geeft aan dat het om de onderzoekssector gaat), en een punt boven een variabele geeft aan dat het om een afgeleide naar de tijd gaat. Vergelijking (4) is dus in wezen een produktiefunctie voor blauwdrukken. Het positieve externe effect van algemene kennis in deze produktiefunctie wordt weergegeven door het voorkomen van n in de produktiefunctie van n zelf. Hiermee wordt dus verondersteld dat de hoeveelheid algemene kennis (proportioneel) toeneemt met de hoeveelheid blauwdrukken in de economie: hoe meer blauwdrukken, hoe meer algemene kennis, en hoe hoger de produktiviteit van onderzoekers.

2. Toeëigening van innovaties en marktstructuur

Tot nog toe is slechts gesproken over externe effecten bij de productie van kennis, maar is het begrip toeëigening nog niet aan de orde geweest. Indien innovatie slechts bestond uit externe effecten, of met andere woorden indien innovatie een volledig non-exclusief karakter had, zou een ondernemer er vanzelfsprekend niet in investeren. De ontwikkelde kennis zou immers direct overvloeien naar andere ondernemers, die tegen een lagere prijs (geen ontwikkelingskosten) het produkt op de markt zouden kunnen brengen, en daarmee de innovator uit de markt zouden prijzen. Daarom moet de nieuwe groeitheorie dus een zekere mate van toeëigening van technologie toestaan.

Om dit te doen kan men ideeën ontlenen aan de literatuur over industriële organisatie. In de modellen van Kamien en Schwartz (1982) en Scherer en Ross (1990) wordt verondersteld dat een zekere mate van monopoliekracht de innovativiteit van bedrijven bevordert. In navolging hiervan worden monopolistische tendenties toegepast in de onderzoekssector van de nieuwe groei-modellen, zodat voor ondernemers de mogelijkheid ontstaat om door middel van monopoliewinsten de ontwikkelingskosten terug te verdienen.

De eerste groep van modellen die hierboven samengevat is (Romer, 1986 en Lucas, 1988) zijn in dit opzicht nauwelijks gespecificeerd. Alle markten (ook die voor technologie) zijn gekenmerkt door volledig vrije mededinging. In Romer (1986) wordt aangenomen dat bedrijven de hoeveelheden van alle produktiefactoren bepalen door optimalisatie. In Lucas (1988) wordt verondersteld dat een gedeelte van de werktijd (training, onderwijs) gericht is op het ontwikkelen van menselijk kapitaal². Toeëigening is impliciet geïmplementeerd in produktiefunctie (1), waarin de technologie-inspanningen van bedrijven zowel een invloed hebben op hun private kennis-voorraad als op de geaggregeerde (publieke) kennisvoorraad.

In de modellen met een meer gedetailleerde micro-fundering is de rol van toeëigening van technologie ingewikkelder. De algemene aanpak is dat verondersteld wordt dat slechts een gedeelte van de ontwikkelde kennis toegeëigend kan worden, bijvoorbeeld door middel van een patent. Dit betekent dus dat er een prikkel tot het ontwikkelen van kennis bestaat, maar dat deze prikkel alleen betrekking heeft op het gedeelte van de kennis dat gepatenteerd kan

²In het tweede model dat Lucas (1988) beschrijft, heeft de tijd die gestoken wordt in productie van goederen een positieve invloed op de ontwikkeling van menselijk kapitaal. Hiermee is het idee van *learning by doing* gemodelleerd. Onder andere door de afwezigheid van een specifieke optimaliserings-procedure, is dit model van Lucas is nauwelijks meer neo-klassiek te noemen, en sluit het meer aan bij de post-Keynesiaanse traditie (bijvoorbeeld Dixon en Thirlwall 1975).

worden.

Hierbij komt weer het onderscheid tussen algemene kennis en blauwdrukken aan de orde. De veronderstelling is dat blauwdrukken volledig toegeëigend kunnen worden, zodat de innovator beschouwd kan worden als een monopolist (of oligopolist als er nauwe substituten zijn). Zoals reeds aangestipt kan algemene kennis echter niet toegeëigend worden.

Wanneer men de gebruikte modellen wat preciezer bekijkt, blijkt dat binnen de groep van modellen met een micro-fundering wederom twee benaderingen bestaan. In de eerste aanpak (Aghion en Howitt, 1990 en Grossman en Helpman 1991) wordt er in iedere periode door de innovator één licentie verkocht aan de producenten van intermediaire goederen (Aghion en Howitt) of consumenten-goederen (Grossman en Helpman). Indien een nieuwe blauwdruk verschijnt, stappen deze producenten *en-bloc* over op de nieuwe variant, waardoor de monopoliewinsten van de oude innovatie verdwijnen. De waarde van deze licentie wordt dus bepaald door de winsten die gemaakt kunnen worden in de consumenten- of intermediaire sector.

De kosten van een patent worden bepaald door de produktiefunctie voor blauwdrukken. Hoewel in deze aanpak innovatie een stochastisch fenomeen is, wordt de Poisson-parameter (die bepaalt hoeveel innovaties gemiddeld per tijdseenheid gedaan worden) beïnvloed door de hoeveelheid menselijk kapitaal die ingezet wordt voor onderzoek. De verwachte tijd die een innovatie op zich laat wachten, en de hoeveelheid ingezette onderzoekers en hun prijs (loon) vormen dus tezamen de prijs van de innovatie.

Zolang de innovatie waarop het patent is aangevraagd de meest recente is, kan de innovator zijn licentie blijven verkopen aan de vragers. Op het moment echter dat een nieuwe innovator verschijnt, wordt het patent waardeloos. Aangezien er rationele verwachtingen verondersteld worden, kan de innovator dus bepalen hoe lang en voor hoeveel geld hij zijn licentie (gemiddeld) zal kunnen verkopen. Winstmaximalisatie vindt plaats door deze verwachte opbrengst af te wegen tegen de kosten voor het inzetten van menselijk kapitaal in onderzoek en door precies zoveel onderzoekers in te zetten dat de (verwachte) marginale winsten nul zijn. Wanneer men bovendien veronderstelt dat er vrije toetreding bestaat in de onderzoekssector, zal een ondernemer zijn licentie verkopen tegen de prijs die nog juist zijn ontwikkelingskosten dekt ("*limit pricing*").

Deze stochastische benadering van innovatie sluit in zekere mate aan bij de notie dat onderzoek een zoekproces is met een onzekere uitkomst (zie o.a. Dosi, 1988). Echter, hierbij wordt slechts een zwakke vorm van onzekerheid verondersteld, waarbij de ondernemer wel beschikt over de kansverdeling van een bepaalde

gebeurtenis (innovatie). Wanneer men, zoals Dosi (1988) voorstelt, zou veronderstellen dat er een sterke mate van onzekerheid bestaat, waarbij zelfs deze kansverdeling niet bekend is, zou het modelleren van endogene innovatie in combinatie met strikte optimalisatie een stuk moeilijker worden.

De tweede benadering binnen de modellen met een micro-fundering van het innovatieproces lijkt in veel opzichten op de eerste. Er is eveneens sprake van het patenteren van een blauwdruk, die vervolgens in licentie gegeven wordt aan producenten van intermediaire goederen. Echter, de manier waarop de waarde van deze licentie bepaald wordt verschilt. De veronderstelling is dat naarmate er meer verschillende intermediaire goederen zijn, de produktiviteit van de produktie van consumentengoederen hoger zal zijn. Hieraan ligt het idee van arbeidsdeling ten grondslag: hoe meer gespecialiseerde inputs er zijn, hoe hoger de produktiviteit. De functionele vorm voor de produktiefunctie voor het consumentengoed is afgeleid van Ethier (1982). In Grossman en Helpman (1989, 1990) ziet deze produktiefunctie er als volgt uit.

$$Q = F \left[L, \left[\int_0^n x(i)^\alpha di \right]^{1/\alpha} \right] \quad (5)$$

Hierbij is $x(i)$ de range van intermediaire goederen die ingezet kan worden voor de produktie van het consumentengoed, en is α een parameter. Deze functionele vorm heeft de eigenschap dat een toename van n de produktiviteit verhoogt. Samen met vergelijking (4) beschrijft deze vergelijking dus de bron voor economische groei.

De verschillende variëteiten van het intermediaire goed zijn geen complete substituten, omdat ieder goed iets toevoegt aan de produktiviteit (produktdifferentiatie). Dit betekent dus dat verschillende bedrijven naast elkaar kunnen bestaan in de onderzoekssector zonder dat de prijzen van licenties naar het niveau van de marginale kosten gedreven worden. Deze variant impliceert echter wel dat een innovator de winsten van een vorige innovator niet vernietigt (geen "creatieve destructie").

De maximaliserende ondernemer zal ook in dit geval de prijs van de te verkopen licentie berekenen, en, voor zover deze opbrengsten in de toekomst liggen, verdisconteren, en vervolgens een vergelijking maken met de kosten van een innovatie (inzet van menselijk kapitaal). Vrije toetreding zorgt er wederom voor dat de opslag boven de marginale kosten precies genoeg is om de ontwikkelingskosten van een innovatie te dekken.

3. De modeloplossing: evenwichtige groeipaden

Nu de globale modelstructuur met betrekking tot technologische innovatie aan de orde is geweest, dient nog beschreven te worden hoe de samenhang met andere delen van het model is. In alle gevallen wordt deze samenhang tot uitdrukking gebracht door allocatie-effecten en de daarmee samenhangende prijsvorming. In de meest eenvoudige modellen (Romer, 1986 en Lucas, 1988), wordt het model simpelweg opgelost door het intertemporeel maximaliseren van een nutsfunctie onder een aantal randvoorwaarden (de produktiestructuur en een budgetvergelijking).

In de modellen met een expliciete micro-fundering is de procedure in wezen hetzelfde, doch mathematisch enigszins gecompliceerder. De basismethode (uit de algemeen evenwichtsliteratuur) is de veronderstelling dat een input die alternatief aangewend kan worden slechts één prijs kan hebben, met als gevolg dat voor markten die in evenwicht zijn moet gelden dat de marginale opbrengsten in de verschillende alternatieve toepassingen gelijk moeten zijn. De rol van de regulerende markt is dus zeer prominent aanwezig.

In de modellen van Aghion en Howitt (1991), Romer (1990) en Grossman en Helpman (1989, 1990) wordt deze regulerende rol vertolkt door de markt voor menselijk kapitaal (dat zowel voor onderzoek als voor de produktie van consumentengoederen ingezet kan worden). In Grossman en Helpman (1991) is de additionele veronderstelling nodig dat de opbrengsten van menselijk en geldelijk kapitaal gelijk zijn ("arbitrage").

De groeipaden die op deze manier gevonden worden vertonen de gangbare kenmerken van de *steady state*, waarin de belangrijkste modelvariabelen dezelfde groeivoet hebben. De uitzondering op deze regel is het model van Aghion en Howitt, waarbij behalve kleine afwijkingen van de *steady state* door het stochastische karakter van innovatie, ook cyclische groei of een nulgroei mogelijk is. In het algemeen kan men stellen dat de groeivoet van een economie een positieve functie is van de technologische kansen en de aanwezige hoeveelheid menselijk kapitaal. Ook de geijkte factoren, zoals de intertemporele substitutievoet, hebben hun invloed op het gevonden groeipad.

Uit het bovenstaande blijkt dus dat hoewel de nieuwe groeitheorie een aantal belangrijke verbeteringen ten opzichte van het Solow-model tot stand brengt, er ook een aantal belangrijke overeenkomsten met de op dat model gestoelde aanpak is, met name op het methodologische en theoretische vlak. Hoewel het oorspronkelijke Solow model niet expliciet gebaseerd was op een optimaliseringsmethode (zo was bijvoorbeeld de spaarquote exogeen, en was er geen verdiscontering), is later een versie van dat model waarin de resultaten met

behulp van dynamische optimalisatie afgeleid worden populair geworden. Lucas (1988) presenteert zo'n model, waarna hij zijn eigen model in dezelfde stijl presenteert. Zijn artikel vormt dus bij uitstek een voorbeeld om aan te geven hoe zeer de oude en de nieuwe groei-theorie met elkaar verwant zijn. Men kan dus in plaats van "nieuwe groeitheorie" ook spreken van "nieuwe neo-klassieke groeitheorie".

De eigenschap van toenemende schaalopbrengsten is echter een belangrijke verandering in de nieuwe modellen. Deze eigenschap komt tot uitdrukking door het feit dat de hoeveelheid menselijk kapitaal een invloed heeft op de groeivoet van de productie. In een situatie van constante schaalopbrengsten zou de beschikbare hoeveelheid van een bepaalde factor immers geen invloed hebben op de groeivoet van de economie, doch slechts op het niveau van de productie. Deze uitkomst staat trouwens open voor kritiek, omdat ze gemakkelijk kan leiden tot de conclusie dat grote landen sneller zullen groeien dan kleine landen. In de woorden van Aghion en Howitt (1990, 20) : "the positive effect of [the total supply of human capital] on [the average growth rate] has the *unfortunate* implication (...) that larger economies should grow faster. (...) We accept the obvious implication that this class of models has little to say, without considerable modification, about the relationship between population size and growth rate" (cursivering BV). Overigens gaat de conclusie dat grote landen relatief snel zouden groeien slechts op indien opleidingsniveaus verondersteld worden gelijk te zijn, en indien technologische spillovers tussen bedrijven in verschillende landen geringer zijn dan spillovers tussen bedrijven in hetzelfde land.

4. De effectiviteit van technologiebeleid

Uit de welvaartseconomie is het bekend dat wanneer er externe effecten optreden, markten in het algemeen een (Pareto) sub-optimaal resultaat teweeg brengen. De reden hiervoor is dat ondernemers (consumenten) bij hun beslissingen geen rekening houden met de effecten van hun gedrag op andere agenten. Met andere woorden, zij houden slechts rekening met de private opbrengsten (kosten), terwijl vanuit macro-oogpunt de sociale opbrengsten (kosten) van belang zijn. In geval van een positief (negatief) extern effect leidt dit ertoe dat in een vrije markt te weinig (veel) geïnvesteerd wordt in het goed met de externe effecten. De overheid kan deze situatie corrigeren door het verlenen van een subsidie (het heffen van een belasting) die het optimale investeringsniveau van de individuele agenten zal beïnvloeden.

Dit is eveneens het geval in de dynamische groei modellen die hierboven besproken zijn. In het geval van Romer (1986) en Lucas (1988) kan men de modellen oplossen onder verschillende veronderstellingen met betrekking tot het

gedrag van ondernemers. Deze verschillen hebben betrekking op de vraag of men bij het bepalen van de gevolgen van een bepaald gedragspatroon al dan niet rekening houdt met het effect van individueel investeringsgedrag op de geaggregeerde uitkomst van het innovatieproces. In termen van vergelijking (1), neemt men in het ene geval aan dat het individuele gedrag geen invloed heeft op de term \bar{T} , en in het andere geval veronderstelt men dat dit wél het geval is.

Op het niveau van de individuele onderneming is het duidelijk dat bij beslissingen de eerste regel gehanteerd zal worden. Men veronderstelt immers een oneindig groot aantal ondernemingen, waardoor het effect van een investering in T_i op \bar{T} voor één enkele i oneindig klein zal zijn. Vanuit het macro-standpunt echter zou er sprake zijn van suboptimaal gedrag indien men de gezamenlijke effecten van veranderingen in individuele T_i 's op \bar{T} buiten beschouwing zou laten. Daarom dient in dit geval de tweede regel gehanteerd te worden.

De modellen met een expliciete micro-structuur volgen in principe dezelfde weg. Ook hier worden twee verschillende groeipaden berekend, waarbij al dan niet rekening wordt gehouden met de externe effecten. De uitkomst van deze procedure is voor de hand liggend: in een situatie van een vrije markt wordt vanuit welvaartsoogpunt te weinig geïnvesteerd in technologie. De overheid kan dus door middel van een subsidie voor onderzoeksinspanningen de welvaart vergroten.

In het model van Aghion en Howitt (1990) en Grossman en Helpman (1991) is behalve van een positief extern effect ook sprake van een negatief effect: het *business stealing effect*. Analooq aan de bovenstaande analyse heeft dit negatief extern effect tot gevolg dat de mogelijkheid bestaat dat er teveel (in plaats van te weinig) in onderzoek geïnvesteerd wordt. Immers, innovaties vernietigen de monopoliewinsten van de vorige innovator, hetgeen geldt als een welvaartsverlies. De vraag of dit negatieve externe effect het positieve effect kan domineren is afhankelijk van een aantal modelparameters. In het algemeen geldt dat naarmate de innovaties groter zijn en de monopoliekracht van de innovator kleiner, het meer waarschijnlijk is dat het netto-externe effect positief is.

Al met al is de conclusie van de nieuwe groeitheorie dus dat de overheid een actief beleid moet voeren ter bevordering van de lange termijn groei (en dus welvaart) in de economie. Het belangrijkste instrument hierbij is het technologiebeleid. Aldus vormt deze nieuwe groep van modellen een ondersteuning voor de trend van een toenemende aandacht voor het technologiebeleid die men in veel landen kan aantreffen (zie o.a. Limpens *et al.*,

1992). In de praktijk is de relevantie van deze uitkomst echter beperkt. Immers, de optimale subsidie is moeilijk kwantificeerbaar. Bovendien geven de modellen geen inzicht in de effectiviteit van andere vormen van technologiebeleid, zoals bijvoorbeeld inspanningen gericht op de onderzoekinfrastructuur in een land (universiteiten, publiek onderzoek, onderwijs en scholing). De betekenis van technologiebeleid in nieuwe groei-modellen is dus vooral symbolisch. Ze geeft immers aan dat het laten werken van de vrije markt alléén niet genoeg is voor het bereiken van een optimaal groeipad.

De relevantie van de nieuwe groeitheorie voor het overheidsbeleid is overigens niet beperkt tot het terrein van het technologiebeleid. Ook de gangbare visie op het mededingingsbeleid, waarmee de overheid ongewenste marktafspraken tussen aanbieders tracht tegen te gaan wordt door de nieuwe groeitheorie beïnvloed. De gangbare visie is immers dat het tegengaan van marktconcentratie een positieve invloed op de welvaart heeft. In de nieuwe groeitheorie heeft marktconcentratie echter een positieve invloed op de innovativiteit van ondernemingen, en daarmee ook op de lange termijn welvaart³.

Indien het opnemen van endogene innovatie, toenemende schaalopbrengsten en marktstructuren geen conclusies zou hebben voor de uitkomsten van de analyse zou deze exercitie slechts een cosmetisch effect hebben. De conclusies met betrekking tot het overheidsbeleid tonen echter duidelijk aan dat de relevantie van de nieuwe modellen verder gaat. De nieuwe ideeën met betrekking tot technologie- en mededingingsbeleid vertonen immers duidelijk verschillen met de klasse van groei modellen die geënt zijn op het originele Solow-model. Wanneer men dynamische optimalisatie toepast op deze laatste modellen, zal immers veelal de conclusie zijn dat een vrije markt economie een optimaal resultaat oplevert (zie bijvoorbeeld Blanchard en Fischer, 1989).

5. Conclusies en discussie

De bovenstaande samenvatting van de belangrijkste principes uit de nieuwe neo-klassieke groeitheorie heeft aangetoond dat het opnemen van endogene innovatie in neo-klassieke groei modellen een aantal voordelen biedt ten opzichte van de gangbare benadering. Ten eerste loopt de neo-klassieke groeitheorie hiermee een

³De literatuur met betrekking tot de relatie tussen marktconcentratie en innovativiteit is te omvangrijk om hier volledig besproken te worden. Voor een overzicht zie bijvoorbeeld Scherer en Ross (1990) en Kamien en Schwartz (1982). Voor een empirische toepassing op de Nederlandse situatie zie Kleinknecht en Verspagen (1989). Schumpeter's afweging tussen statische efficiëntie (volledig vrije mededinging) en dynamische efficiëntie (statische monopolies bevorderen de lange termijn groei) is recent door Heertje in zijn Hennipman-lezing op een interessante manier uitgewerkt.

belangrijk gedeelte van de achterstand in verklaringskracht in die zij had ten opzichte van alternatieve theoretische benaderingen die al eerder technologie als centraal element in de verklaring van economische groei hadden aangemerkt. Ten tweede biedt de neo-klassieke variant van de theorie van endogene innovatie het voordeel dat de ideeën zich goed lenen voor een kwantitatieve aanpak. Tenslotte bieden de nieuwe modellen een aantal punten van houvast voor het overheidsbeleid.

Er zijn echter ook tekortkomingen van de nieuwe groeitheorie aan te wijzen. Ten eerste is de manier waarop technologie gemodelleerd wordt nog te kenmerken als *ad hoc*, hetgeen het moeilijk maakt om de modelstructuren te generaliseren naar modellen die daadwerkelijk te gebruiken zijn in empirische analyse of zelfs het voorspellen van beleidseffecten. De specifieke vorm van modellering is immers in de meeste gevallen niet algemeen te noemen. Het is bijvoorbeeld niet erg realistisch om te veronderstellen dat technologie slechts een invloed heeft op intermediaire goederen. Ook is diffusie van innovaties afwezig in de nieuwe groeitheorie. Verder sluiten de modellen vaak niet aan bij empirisch te meten grootheden. Een *quality-ladder* zal men op basis van de gangbare macro-economische statistieken niet makkelijk kunnen meten.

Ten tweede zijn een aantal van de gebruikte veronderstellingen met betrekking tot technologische innovatie op zijn minst twijfelachtig. Het belangrijkste voorbeeld wat dit betreft is wellicht het gebruiken van rationele technologische verwachtingen. Bij het bepalen van de verwachte opbrengsten van een innovatie wordt er zowel aan de vraag- als de aanbodzijde immers (impliciet) vanuit gegaan dat een ondernemer de gevolgen van een beslissing over de beslissingsperiode (dat wil zeggen tot op het tijdstip oneindig) kan overzien. Een dergelijk vooruitziende blik is echter moeilijk voor te stellen, vooral waar het innovatie betreft. De importantie van een uitvinding als de transistor (of zelfs de computer) is immers vooraf vrijwel niet te voorspellen.

Wanneer men deze rationele technologische verwachtingen niet zou gebruiken, zou het gedrag van bedrijven dus beduidend minder rationeel zijn. Een mogelijk alternatief uitgangspunt zou het beginsel van "begrensd rationaliteit" (zie bijvoorbeeld Simon, 1986) zijn. Hiermee zou echter tegelijk de grondslag onder de modeloplossing, het algemeen evenwichtsprincipe, vervallen. Dit principe is immers gebaseerd op volledig rationele agenten. Tegelijk hiermee komt dus ook het *steady-state* karakter van de voorspelde groeipaden onder druk te staan.

De vraag dringt zich dan ook op of deze voorspelde evenwichtige groeipaden niet onderhevig zijn aan een onevenwichtstendentie, die veroorzaakt wordt door ondernemingen die, in plaats van zich volledig rationeel te gedragen, proberen in te spelen op technologische mogelijkheden die een grote mate van onzekerheden

met zich meebrengen. Zulk een onevenwichtsbenadering, die men ook vindt in de (neo-)Oostenrijkse school, ligt bijvoorbeeld ten grondslag aan de theorieën die men kan rangschikken onder de noemer van evolutionaire economie. Deze benadering ziet de markt niet als een transparant allocatiemechanisme dat werkt volgens het principe van het algemeen evenwicht, maar als een moeilijk te doorziene selectie-omgeving, waarin door middel van imitatie, mutatie (innovatie) en economische selectie een evolutionair proces plaatsvindt. Hoewel dit evolutieproces (net als zijn biologische tegenhanger) ten alle tijden een specifieke richting heeft, is er geen sprake van een objectief te bepalen "evolutionair" doel waarnaar gestreefd wordt.

Een evolutionaire economie vormt een samenspel van bedrijven, consumenten en overheid, waarvan de uitkomst zich in een aantal opzichten laat vergelijken met die van de traditionele modellen (Nelson en Winter 1982). Echter, een belangrijk verschil wordt gevormd door het feit dat in deze aanpak geen voorkeur bestaat voor evenwichtige groeipaden. Deze volgen immers rechtstreeks uit de algemeen evenwichtsaanpak in de neo-klassieke theorie. De dynamiek die toegepast wordt in de meer evolutionaire groeimodellen geeft eerder aanleiding tot plotselinge verstoringen van tijdelijk stabiele groeipaden (zogenaamde "punctuated equilibria") of lange termijn schommelingen in groei (zie bijvoorbeeld Silverberg en Lehnert, 1993, Silverberg en Verspagen, 1993, Verspagen, 1993).

Een derde tekortkoming van de nieuwe groeitheorie is het feit dat er weinig relevantie voor de armste landen in schuilt. De modellering van technologie zoals die gestalte krijgt lijkt voornamelijk betrekking te hebben op de westerse wereld, waarin onderzoek en ontwikkeling zo langzamerhand een belangrijke bron van groei zijn geworden. Onderwerpen zoals technologietransfer blijven echter buiten beschouwing. Voor landen zoals men ze in Afrika aantreft, of zelfs het Zuid-Korea van 5 jaar geleden, lijkt de nieuwe groeitheorie dan ook vooralsnog weinig relevantie te hebben.

Concluderend kan gesteld worden dat de nieuwe groeitheorie zeker een zinvolle bijdrage levert aan het denken over innovatie als motor achter economische groei. Echter, de veronderstellingen die gebruikt worden in de modelleerpraktijk zijn dermate restrictief dat van een adequate weerspiegeling van het innovatieproces nauwelijks gesproken kan worden. Dit heeft zijn weerslag op de uitkomsten van deze modellen, die een sterke nadruk leggen op evenwichtige groei. Om aan deze belangrijke tekortkoming tegemoet te komen zou het zinvol zijn een dialoog op gang te brengen tussen de neo-klassieke en de evolutionaire denkers. De recente convergentie tussen de methodiek van deze twee scholen (zie bijvoorbeeld Anderson *et al.*, 1988, Sargent, 1992) geeft wat dit betreft hoop op een vruchtbare discussie.

Referenties

- Aghion, P., en P. Howitt, 1990, A Model of Growth Through Creative Destruction, *Econometrica*, 60 (2), 323-351 (het in de tekst gebruikte citaat is te vinden in de versie die verscheen als NBER Working Paper No 3223).
- Anderson, P.W., K. Arrow, en D. Pines, 1988, *The Economy as an Evolving Process*, Addison-Wesley: Redwood City.
- Arrow, K.J., 1962, The Economic Implications of Learning by Doing, *Review of Economic Studies*, 29, 155-173.
- Blanchard, O.J., en S. Fischer, 1989, *Lectures on Macroeconomics*, MIT Press: Cambridge, Mass.
- Dixon, R., en A. Thirlwall, 1975, A Model of Regional Growth-Rate Differences on Kaldorian Lines, *Oxford Economic Papers*, 11, 201-214.
- Dosi, G., 1988, Sources, Procedures and Microeconomic Effects of Innovation, *Journal of Economic Literature*, 26, 1120-1171.
- Dosi, G., C. Freeman, R.R. Nelson, G. Silverberg, L. Soete, (eds.), 1988, *Technical Change and Economic Theory*, Pinter Publishers: London.
- Ethier, W., 1982, National and International Returns to Scale in the Modern Theory of International Trade, *American Economic Review*, 72, 389-405.
- Freeman, C., 1982, *The Economics of Industrial Innovation*, Frances Pinter: London.
- Gourvitch, A., 1940, *Survey of Economic Theory on Technical Change and Employment*, Augusta M. Kelley: New York.
- Grossman, G.M., en E. Helpman, 1989, *Growth and Welfare in a Small Open Economy*, NBER Working Paper 2970.
- Grossman, G.M., en E. Helpman, 1990, Comparative Advantage and Long Run Growth, *American Economic Review*, 80 (4), 796-815.
- Grossman, G., en E. Helpman, E., 1991, *Innovation and Growth in the Global Economy*, MIT Press: Cambridge Mass.
- Kaldor, N., 1957, A Model of Economic Growth, *Economic Journal*.
- Kamien, M.I., en N.L. Schwartz, 1982, *Market Structure and Innovation*, Cambridge University Press: Cambridge.
- Kleinknecht, A., en B. Verspagen, 1989, R&D and Market Structure: The Impact of Measurement and Aggregation Problems, *Small Business Economics*, 1 4, 297-301.
- Limpens, I., B. Verspagen, en E. Beelen, 1992, *Technology Policy in Eight European Countries. A Comparison*, rapport voor het Ministerie van EZ, MERIT.
- Lucas, R.E., 1988, On the Mechanisms of Economic Development, *Journal of Monetary Economics*, 22 1, 3-42.
- Nelson, R.R., en S.G. Winter, 1982, *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Harvard University Press: Cambridge, Massachusetts.

- Romer, P.M., 1986, Increasing Returns and Long Run Growth, *Journal of Political Economy*, 94 5, 1002-1037.
- Romer, P.M., 1990, Endogenous Technological Change, *Journal of Political Economy*, 98 (2), S71-S102.
- Sargent, T.J., 1992, *Bounded Rationality in Macroeconomics*, manuscript
- Scherer, F.M., en D. Ross, 1990, *Industrial Market Structure and Economic Performance*, Third Edition, Houghton Mifflin Company: Boston.
- Schumpeter, J.A., 1934, *The Theory of Economic Development*, Harvard University Press.
- Shell, K., 1967, A Model of Inventive Activity and Capital Accumulation, in: Shell, K. (ed.), *Essays on the Theory of Optimal Growth*, MIT Press: Cambridge, 67-85.
- Silverberg, G., G. Dosi, en L. Orsenigo, 1988, Innovation, Diversity and Diffusion: A Self-Organisation Model, *Economic Journal*, 98, 1032-1054.
- Silverberg, G., en D. Lehnert, 1993, Long Waves and 'Evolutionary Chaos' in a simple Schumpeterian Model of Embodied Technical Change, *Structural Change and Economic Dynamics*, 4 (1).
- Silverberg, G., en B. Verspagen, 1993, *Collective Learning, Innovation and Growth in a Boundedly Rational, Evolutionary World*, paper prepared for a conference at the University of Alicante, May 1993.
- Simon, H.A., 1986, On the Behavioral and Rational Foundations of Economics Dynamics, in: Day, R.M. and G. Eliasson (ed.), *The Dynamics of Market Economics*, North Holland: Amsterdam, 21-41.
- Solow, R.M., 1956, A Contribution to the Theory of Economic Growth, *Quarterly Journal of Economics*, 70, 65-94.
- Solow, R.M., 1957, Technical Progress and the Aggregate Production Function, *Review of Economics and Statistics*, 39, 312-320.
- Thirtle, C.G., en V.W. Ruttan, 1987, *The Role of Demand and Supply in the Generation and Diffusion of Technological Change*, Harwood Academic Publishers: New York.
- Uzawa, H., 1965, Optimum Technical Change in an Aggregative Model of Economic Growth, *International Economic Review*, Vol. 6, 18-31.
- Verspagen, B., 1992, Endogenous Innovation in Neo-Classical Growth Models: A Survey, *Journal of Macroeconomics*, vol. 14, no. 4, 631-662.
- Verspagen, B., 1993, *Uneven Growth Between Interdependent Economies*, Avebury: Aldershot.

Endogene groei en technologie

Frank den Butter en Frances Wollmer¹

Technologie en het proces van kennisverwerving spelen een cruciale rol in de economische ontwikkeling. In de kwantitatieve beleidsanalyse is deze rol echter onderbelicht gebleven. Er bestaan geen spoorboekjes waaruit de gevolgen van technologische impulsen en onderwijsinvesteringen op de economische kernvariabelen zijn af te lezen. Dit komt omdat lange tijd de economische theorie geen aanknopingspunten bood voor een dergelijke kwantificering. Weliswaar levert de groeitheorie de theoretische inspiratie voor het in de macro-economische beleidsmodellen weergegeven verband tussen technische en economische ontwikkeling. Maar in de traditionele groeimodellen blijft de technische ontwikkeling zelf onverklaard en is derhalve exogeen. Beeldend wordt hier wel gesproken van 'manna from heaven' die over ons uitgestort word door 'God and the engineers'².

Maar een recente opleving van de groeitheorie, ook wel omschreven als 'nieuwe' of 'endogene groeitheorie', beschrijft tevens de wijze waarop de technische ontwikkeling tot stand komt. Daarmee is de technische ontwikkeling geëndogeniseerd en blijft binnen de groeimodellen niet langer een onverklaard fenomeen. Investeringen in onderzoek en ontwikkeling (O&O) vormen volgens deze endogene groeitheorie een belangrijke determinant van de technische ontwikkeling. Daarbij richt de aandacht zich niet uitsluitend op de technische aspecten van O&O, zoals de productie van nieuwe ontwerpen, maar bovenal ook op de bijkomende investeringen in menselijk kapitaal

¹Respectievelijk Hoogleraar Algemene Economie, Vrije Universiteit, Amsterdam en onderzoeksmedewerkster Australian National University, Canberra. Dit artikel is gebaseerd op onderzoek verricht door het Applied Labour Economics Research Team (ALERT) in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken. In uitgebreide vorm is hierover gerapporteerd in Den Butter en Wollmer (1992). Met dank aan de referent van dit tijdschrift voor een aantal nuttige opmerkingen.

²Deze laatste uitdrukking komt van Joan Robinson; zie ook Van Hulst (1992).