

Hoofdafdeling(en) : Institutionele analyse
Afdeling(en) : Kenniseconomie
Samensteller(s) : Erik Canton
Nummer : 24
Datum : 10 januari 2002

Onderwijs, R&D en economische groei

Literatuuroverzicht ten behoeve van de LT-studie van de afdeling Kenniseconomie¹

Samenvatting

Deze notitie geeft een kort overzicht van de literatuur over onderwijs, R&D en economische groei ten behoeve van de Lange Termijn (LT) studie van de afdeling Kenniseconomie. Inzichten uit de moderne groeitheorie staan hierbij centraal. We behandelen de empirische relatie tussen onderwijs, R&D en economische groei aan de hand van rendementsschattingen: hoeveel extra productie wordt gerealiseerd wanneer investeringen in onderwijs of R&D met 1% toenemen? Ook wordt onderzocht welke economische mechanismen hierbij een rol spelen. Tenslotte gaan we in op mogelijke implicaties voor beleid. In een Annex laten we zien dat bestaande rendementsschattingen van innovatieve uitgaven mogelijk sterk worden overschat wanneer alleen R&D uitgaven in beschouwing worden genomen, zonder ook rekening te houden met complementaire innovatieve bestedingen.

¹ Met dank aan Eric Bartelsman, Gavin Cameron, Maarten Cornet, George Gelauff, Richard Nahuis, Marc Pomp en Richard Venniker voor nuttig commentaar op een eerdere versie.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
2	Onderwijs en economische groei	3
2.1	Privaat rendement van onderwijs	4
2.2	Sociaal rendement van onderwijs	4
2.3	Omgekeerde causaliteit	7
2.4	Verschillen tussen privaat en sociaal rendement	8
3	R&D en economische groei	9
3.1	Groeimodellen met R&D: Van neoklassieke naar endogene groei	9
3.2	Opbrengsten van R&D	12
3.3	Spillovers en nabijheid	14
3.3.1	Nationaal	15
3.3.2	Internationaal	16
4	Inhaalgroei	16
4.1	Absolute en conditionele convergentie	16
4.2	Sociaal kapitaal	17
4.3	Adoptie van technologie	18
4.4	Interactie tussen onderwijs en technologische verandering	22
5	Samenvatting en opties voor beleid	25
	Annex: R&D-uitgaven en complementaire innovatieve bestedingen	28
	Referenties	31

Inleiding

Welke factoren bepalen de lange termijn economische groei van een land? Deze vraag is door economen veelvuldig onderzocht. Naast bevolkingsgroei en investeringen in de kapitaalgoederenvoorraad worden vaak ook onderwijs en R&D-inspanningen genoemd. De eerste twee factoren beïnvloeden de groei via een toename van de inputs, meer mensen of meer machines. De andere twee zijn meer kwalitatieve factoren: onderwijs verhoogt de kwaliteit van de beroepsbevolking en met nieuwe ideeën kan op een efficiëntere manier worden gewerkt of kunnen betere producten worden gemaakt. Deze nadruk op onderwijs en innovatieve activiteiten als drijvende krachten achter de economische groei impliceert een rol voor instituties en overheidsbeleid. Zo zal de specifieke inrichting van het patentsysteem en de toegankelijkheid en kwaliteit van het onderwijs invloed kunnen hebben op de lange termijn economische groei.

In dit artikel wordt een globaal overzicht gegeven van de stand van zaken van de groeiliteratuur met betrekking tot de rol van onderwijs en R&D.² Het wetenschappelijk debat over economische groei werd lange tijd gedomineerd door de zogenaamde neoklassieke groeitheorie.³ In deze theorie wordt verondersteld dat nieuwe kennis onmiddellijk en gratis voor iedereen toegankelijk wordt. Tevens wordt in de neoklassieke benadering het proces van technologische vooruitgang niet verklaard: technologische ontwikkeling wordt als exogeen beschouwd. Met andere woorden, technologie wordt in de neoklassieke visie beschouwd als *manna from heaven*. Onderwijs en R&D spelen in het standaard neoklassieke model dan ook geen rol bij de verklaring van de economische ontwikkeling. Een doorbraak in de groeiliteratuur vond plaats in de jaren tachtig, toen Robert Lucas en Paul Romer hun nieuwe “endogene” groeimodellen presenteerden (zie Lucas, 1988; Romer, 1986 en 1990). Binnen de endogene groeitheorie zijn er grofweg twee stromingen:

- Onderwijs en groei;
- R&D en groei.

In de eerste stroming wordt de economische groei gedreven omdat mensen leren, bijvoorbeeld via formele en informele scholing, of via training op de werkvloer. Door te leren vergroten mensen hun menselijk kapitaal. Lucas (1988) heeft – in navolging van het werk van Uzawa (1965) – menselijk kapitaal ingebouwd in een model met endogene economische groei, waarbij meer scholing zich vertaalt in een hogere lange termijn economische groeivoet. De tweede benadering is gebaseerd op het werk van Romer (1986, 1990) waarin de rol van nieuwe ideeën

² Voor uitgebreide overzichten wordt verwezen naar Temple (1999a), Topel (1999) en Sianesi en Van Reenen (2000). Laatstgenoemde studie presenteert excellente samenvattingen van 22 belangrijke studies waarin het rendement van onderwijs centraal staat.

³ Dit model is in de jaren vijftig ontwikkeld door o.a. Solow (1956).

(innovaties, ontwerpen, blauwdrukken) centraal staat in het proces van economische vooruitgang. Belangrijk onderscheid tussen beide benaderingen is dat menselijk kapitaal tot op zekere hoogte een “normaal” economisch goed is, verhandelbaar op de arbeidsmarkt. Dit in tegenstelling tot ideeën, die het karakter hebben van een publiek goed (niet-uitsluitbaar en niet-rivaliserend). Met andere woorden, de markt voor menselijk kapitaal werkt vaak beter dan de markt voor ideeën. In meer recent werk wordt echter ook onderscheid gemaakt in verschillende vormen van kennis, waaronder het verschil tussen gecodificeerde en impliciete (*tacit*) kennis. Dit onderscheid heeft gevolgen voor o.a. vraagstukken op het gebied van de ruimtelijke economie (clusterbeleid, lokale uitstralingseffecten van kennis) en marktwerking (*tacit* kennis is makkelijker toe te eigenen dan gecodificeerde kennis en dit aspect beïnvloedt de relatie tussen concurrentie en prikkels om te innoveren).

Naast de directe effecten van onderwijs en R&D op de economische groei kunnen ook indirecte effecten een rol spelen. Zo kan een goed geschoolde beroepsbevolking de adoptie en diffusie van nieuwe ideeën vergemakkelijken. We vatten zulke indirecte effecten samen met de term inhaalgroei. Elke indeling kent zijn beperkingen, maar als poging om structuur aan te brengen in de gigantische literatuur maken we onderscheid in vier vormen van inhaalgroei:

- Absolute en conditionele convergentie;
- Sociaal kapitaal;
- Adoptie van technologie;
- Interactie tussen onderwijs en technologische verandering.

Bovenstaande indeling motiveert de structuur van deze notitie. In paragraaf 2 gaan we in op de relatie tussen onderwijs en economische groei. We behandelen kort het model van Lucas (1988), geven een overzicht van de empirische literatuur over private en sociale rendementen van scholing, staan stil bij mogelijke verklaringen voor verschillen tussen private en sociale opbrengsten en bestuderen de mogelijkheid van omgekeerde causaliteit. Paragraaf 3 gaat over R&D en economische groei. Na een beknopte bespreking van relevante theorie wordt gekeken naar empirische schattingen van private en sociale opbrengsten van R&D. Vervolgens komt de rol van fysieke afstand bij de verspreiding van kennis aan de orde. Het vierde onderdeel handelt over inhaalgroei en bespreekt een aantal mogelijke mechanismen die hieraan ten grondslag kan liggen, namelijk (absolute en conditionele) convergentie, sociaal kapitaal, technologie-adoptie en interactie tussen onderwijs en technologie. In het laatste onderdeel pogen we een globale samenvatting te geven en zal worden ingegaan op mogelijke implicaties voor beleid.

2 Onderwijs en economische groei

In de menselijk kapitaal-benadering staat de gedachte centraal dat mensen door het volgen van onderwijs hun productiviteit kunnen verhogen: onderwijs draagt bij aan de vorming van menselijk kapitaal.⁴ Lucas (1988) heeft dit idee als eerste ingebouwd in een endogeen groeimodel, en in zijn model wordt de lange termijn economische groei bepaald door de onderwijsinspanning: als er gemiddeld meer tijd wordt besteed aan onderwijs dan neemt de lange termijn groei toe. Onderwijs levert aldus een rendement in de vorm van snellere economische groei. Maar mensen derven ook inkomsten uit betaalde arbeid wanneer ze onderwijs volgen, en in het optimum is de marginale opbrengst van een extra tijdseenheid onderwijs gelijk aan de marginale kosten in termen van gedeerde looninkomsten.

In het basismodel van Lucas wordt geen rekening gehouden met externe effecten van menselijk kapitaal. Bij afwezigheid van externe effecten is het privaat rendement van onderwijs gelijk aan het sociaal rendement, en is er geen overheidsinterventie nodig (in jargon: de marktoplossing valt samen met die van de *social planner*). Wanneer menselijk kapitaal wel uitstralingseffecten heeft, dan zijn de prikkels voor individuen om te investeren in menselijk kapitaal te zwak: het privaat rendement van onderwijs is lager dan het sociaal rendement. Er zal dan te weinig worden geïnvesteerd in menselijk kapitaal. Gevolg is dan ook dat de economische groei lager dan optimaal is: de gepaste overheidsactie is subsidiëring van investeringen in menselijk kapitaal.⁵

Het Lucas-model voorspelt een relatie tussen onderwijs, menselijk kapitaal en lonen. Als de arbeidsmarkt wordt gekenmerkt door volledige mededinging dan is het loon gelijk aan de marginale arbeidsproductiviteit: scholing en opbouw van menselijk kapitaal vertaalt zich dan in hogere lonen voor werknemers. De empirische validiteit van het model van Lucas kan dan ook worden onderzocht aan de hand van private en sociale rendementen van scholing.⁶

⁴ Het idee dat onderwijs kan worden gezien als een investering in menselijk kapitaal is ontwikkeld door o.a. Becker (1964) en Schultz (1961).

⁵ In dit verband dient te worden opgemerkt dat een positieve relatie tussen onderwijs en economische groei niet automatisch een reden voor overheidsbekostiging van onderwijs hoeft te zijn (zoals door sommigen ten onrechte wordt gesuggereerd). Marktimperfecties zoals positieve externe effecten die een wig drijven tussen private en sociale rendementen van onderwijs kunnen wel een reden voor overheidsingrijpen zijn, zie ook CPB en CHEPS (2001).

⁶ Bedrijven en werknemers houden geen rekening met eventuele externe effecten verbonden aan de scholingsbeslissing. De sociale marginale arbeidsproductiviteit is hoger dan het loon en het sociale rendement van scholing overstijgt het privaat rendement bij zulke positieve externe effecten.

2.1 Privaat rendement van onderwijs

Er is een gigantische empirische literatuur over het privaat rendement van onderwijs. Populair uitgangspunt is de Mincer-vergelijking, waarin de natuurlijke logaritme van het loon (w) wordt gerelateerd aan het aantal jaren scholing (S) en het aantal jaren ervaring op de arbeidsmarkt (E),

$$\ln w = \alpha + \beta_0 S + \beta_1 E + \beta_2 E^2$$

waarin β_0 (onder bepaalde voorwaarden) kan worden geïnterpreteerd als het privaat rendement van onderwijs, β_1 is het rendement van ervaring op de arbeidsmarkt, en β_2 meet de invloed van een kwadratisch effect van ervaring op de loonvoet (als $\beta_2 < 0$ dan neemt de loonontwikkeling af met de leeftijd). Arbeidseconomen gebruiken veelal micro-data om deze vergelijking te schatten, en vinden private rendementen tussen de 5% en 15%, afhankelijk van tijd, land en schattingsmethode.

Een veelgebruikte schattingsmethode is de kleinste kwadratentechniek (*Ordinary Least Squares*, OLS). Critici wijzen er echter op dat econometrische uitkomsten van OLS-schattingen kunnen worden vertekend door twee problemen: selectie-effecten en meetproblemen. Het selectie-probleem houdt in dat (hoger) onderwijs met name wordt gevolgd door mensen die getalenteerd zijn, en wellicht ook zonder (hogere) opleiding een relatief gunstige positie op de arbeidsmarkt hadden verworven: dit leidt tot een opwaartse vertekening van het privaat rendement. Fouten in de meting van het aantal jaren scholing leidt tot ruis in de onafhankelijke variabele en dit heeft tot gevolg dat β_0 naar beneden wordt vertekend. Grofweg kan worden gesteld dat beide vertekeningen tegen elkaar wegvallen zodat de OLS-schatting kan worden gezien als een redelijke benadering voor het “echte” privaat rendement van onderwijs (Krueger en Lindahl, 2000).

2.2 Sociaal rendement van onderwijs

Schattingen van het sociaal rendement van onderwijs zijn gebaseerd op twee verschillende methoden, namelijk internationale Mincer-regressies of micro-studies. In deze paragraaf wordt ingegaan op internationale Mincer-regressies; micro-studies komen later aan bod bij de bespreking van verschillen tussen private en sociale rendementen.

Zoals vermeld werd in het neoklassieke groeimodel geen rekening gehouden met de rol van scholing. Mankiw e.a. (1992) breiden het standaard neoklassieke groeimodel uit met menselijk kapitaal, en onderwerpen vervolgens beide groeimodellen aan een empirisch onderzoek. De investeringen in menselijk kapitaal worden gemeten met een scholingsvariabele (percentage van de beroepsbevolking dat deelneemt aan middelbaar onderwijs; lager en hoger onderwijs blijven buiten beschouwing). Het econometrisch onderzoek toont aan dat het met menselijk kapitaal

geamendeerde groeimodel beter presteert dan het model zonder menselijk kapitaal. De volgende productiefunctie is representatief voor hun resultaten:

$$Y = K^{1/3} H^{1/3} L^{1/3}$$

(Y is productie; K is fysiek kapitaal; H is menselijk kapitaal; L is arbeid). Dit impliceert een productie-elasticiteit van menselijk kapitaal van $1/3$: 1% meer menselijk kapitaal vertaalt zich in $1/3\%$ hogere productie. Het rendement van menselijk kapitaal is direct herleidbaar van deze output-elasticiteit; zie onderstaande Box.

Hun resultaten zijn echter niet robuust voor veranderingen in de groep geselecteerde landen. Voor de groep van OESO landen wordt geen significant verband gevonden tussen investeringen in menselijk kapitaal en economische groei. Met andere woorden: het sociale rendement van onderwijs wijkt niet significant af van nul. Ook in andere studies wordt geen significante relatie tussen extra onderwijs en groei gevonden, vgl. Benhabib en Spiegel (1994), Pritchett (1996) en Wolff (2000).

Relatie tussen productie-elasticiteit en rendement

In deze notitie wordt de relatie tussen onderwijs, R&D en economische groei geëvalueerd aan de hand van schattingen van de productie-elasticiteit van menselijk kapitaal en R&D-kapitaal en / of schattingen van het rendement van investeringen in scholing en R&D. De productie-elasticiteit en het rendement zijn aan elkaar gerelateerd. In deze box wordt deze onderlinge relatie nader toegelicht (vgl. Cameron, 1998). Uitgangspunt is de veelgebruikte Cobb-Douglas productiefunctie:

$$Y = K^\alpha H^\beta L^{1-\alpha-\beta}$$

De productie-elasticiteit van menselijk kapitaal is gedefinieerd als

$$\frac{\partial Y}{\partial H} \frac{H}{Y} = \beta$$

Het rendement van menselijk kapitaal is gedefinieerd als $\frac{\partial Y}{\partial H} = \rho_H$. Dan volgt direct dat $\rho_H = \beta \frac{Y}{H}$. Oftewel, het rendement op scholing is gelijk aan de productie-elasticiteit van menselijk kapitaal vermenigvuldigd met de verhouding tussen productie en voorraad menselijk kapitaal. Voor R&D geldt een soortgelijke relatie. Wanneer K de R&D-kapitaalgoederenvoorraad representeert dan geldt $\rho_K = \alpha \frac{Y}{K}$, waarbij ρ_K het rendement van R&D weergeeft.

De representatieve productiefunctie van Mankiw e.a. (1992) met een productie-elasticiteit van menselijk kapitaal van $1/3$ en een verhouding tussen productie en menselijk kapitaal van $1/3$ levert een rendement op onderwijs van zo'n 11%.*

* Een productiefunctie consistent met de empirische resultaten van Mankiw e.a. (1992) is $Y = K^{1/3} H^{1/3} L^{1/3}$. In landen die veel sparen is de kapitaal-output ratio ongeveer 3. De arbitrage-conditie vereist dat het rendement op accumulatie van fysiek kapitaal gelijk is aan het rendement op accumulatie van menselijk kapitaal. Dit betekent dat ook de menselijk kapitaal-output ratio gelijk is aan 3, en dat het rendement gelijk is aan $1/9$ oftewel zo'n 11%.

Deze bevinding dat onderwijsinvesteringen geen verband vertonen met de economische groei lijkt niet erg geloofwaardig. Een mogelijke verklaring voor het zwakke verband tussen onderwijs en groei is dat er meetfouten worden gemaakt. Vaak worden investeringen in menselijk kapitaal gemeten aan de hand van onderwijsdeelname, bijvoorbeeld participatiegraden in PO, VO en HO. Probleem hierbij is dat de onderwijskwaliteit niet wordt gemeten. Een jaar onderwijs in Tanzania is niet hetzelfde als een jaar onderwijs in Nederland. Barro (1991) probeert op twee manieren rekening te houden met verschillen in onderwijskwaliteit. Ten eerste gebruikt Barro leerling-leraar ratio's: veel leerlingen per leraar betekent een lagere onderwijskwaliteit. Hij vindt dat de leerling-leraar verhouding in het basisonderwijs in 1960 negatief samenhangt met de groei in per capita inkomen tussen 1965 en 1975. Voor het secundair onderwijs wordt echter een insignificante relatie gevonden, wat twijfels oproept over de leerling-leraar verhouding als maatstaf voor de onderwijskwaliteit. Ook gebruikt Barro alfabetisme onder volwassenen als indicator voor de kwaliteit van het onderwijs. Alfabetisme verschijnt met een significant negatief teken wanneer ook onderwijsdeelname wordt meegenomen en heeft een significant positieve coëfficiënt wanneer de deelname-variabelen worden weggelaten. Dit resultaat is lastig te interpreteren. Barro wijst erop dat de manier waarop alfabetisme wordt gemeten verschilt tussen landen, en dat met name bij de arme landen de betrouwbaarheid van de data kan worden betwijfeld. Barro en Sala-i-Martin (1995) gebruiken de onderwijsuitgaven als percentage van het Bruto Binnenlands Product (BBP) als proxy voor de onderwijskwaliteit, en vinden een significant positief effect: een stijging van deze uitgavenquote met 1%-punt betekent een stijging van de groeivoet van het reële BBP per hoofd van de bevolking met 0,23%-punt. Hanushek en Kimko (2000) laten zien dat directe meting van de kwaliteit van de beroepsbevolking (score op internationale wiskunde- en wetenschapstest) een sterke relatie vertoont met de economische groei. Een stijging van de kwaliteit van de beroepsbevolking met één standaarddeviatie levert een stijging op van de economische groei met 1,46%-punt, een heel sterk effect!

Ook gegevens over de onderwijsdeelname bevatten meetfouten, en zulke meetfouten worden versterkt wanneer eerste verschillen worden genomen. Ruis in de data leidt tot een afzwakking van de regressie-resultaten (*downward bias*). Om de invloed van meetfouten te beoordelen, construeren De la Fuente en Doménech (2000) een nieuwe dataset voor *attainment levels* door verwijdering van grote schommelingen in de data van Barro en Lee (1996), die waarschijnlijk te maken hebben met definitieveranderingen. De nieuwe data van De la Fuente en Doménech betreft 21 OESO landen over de periode 1960-90. De la Fuente en Doménech (2000, 2001) presenteren empirische schattingen met deze nieuwe dataset, waarbij ze de relatie tussen productie en menselijk kapitaal zowel in niveaus als in eerste verschillen onderzoeken. Ze vinden een productie-elasticiteit van menselijk kapitaal van 0,271 (t-waarde groter dan 2), en deze vinding komt dus erg dicht in de buurt van de eerdergenoemde representatieve uitkomsten

van Mankiw e.a. (1992). Ook Temple (1999b) vindt in eerste instantie een insignificant verband tussen veranderingen in menselijk kapitaal en economische groei, maar er wordt een significant positief verband gevonden wanneer niet-representatieve waarnemingen (*outliers*) worden geëlimineerd: “in the 64 countries that remain in the sample, there is a reasonably strong correlation between increases in human capital and output growth, just as one would expect” (pp. 133). Tenslotte, Bassanini en Scarpetta (2001) onderzoeken de relatie tussen accumulatie van menselijk kapitaal en economische groei voor een panel van 21 OESO landen tussen 1971 en 1998, waarbij gebruik is gemaakt van paneldata-regressietechnieken (PMG, *pooled mean group estimator*). Gegevens over onderwijsdeelname zijn gebaseerd op de data van De la Fuente en Doménech (2000) en OECD *Education at a Glance*. Zij vinden dat een extra jaar scholing per capita output met iets minder dan 6% verhoogt.⁷

2.3 Omgekeerde causaliteit

Tot nu toe is er vanuit gegaan dat de causaliteit loopt van onderwijs naar economische groei. Het is ook mogelijk dat het causale verband in omgekeerde richting loopt: het vooruitzicht op een hoger inkomen maakt het aantrekkelijker om onderwijs te volgen. Bils en Klenow (2000) laten zien dat aannames over toekomstige inkomensontwikkeling van grote invloed zijn op het verwacht privaat rendement van onderwijs. Zij vinden dat omgekeerde causaliteit sterk genoeg is om de coëfficiënten uit de empirische literatuur te genereren. Hierbij plaatsen ze de kanttekening dat een gedeelte van de relatie tussen scholing en groei de invloed van weggelaten factoren kan reflecteren.⁸ De resultaten van Bils en Klenow moeten dan ook met de nodige voorzichtigheid worden geïnterpreteerd. Desalniettemin, hun verklaring van omgekeerde causaliteit is potentieel van groot belang, heeft nog weinig aandacht gehad in de literatuur en verdient nader onderzoek. Het woord is aan de econometristen om het kwantitatieve belang van de alternatieve verklaringen te onderzoeken.

⁷ Merk op dat deze schatting van het sociale rendement van onderwijs overeenstemt met schattingen van private rendementen. De geschatte lange termijn elasticiteit van het per capita inkomen met betrekking tot menselijk kapitaal bedraagt 0,6. Bij een gemiddeld scholingsniveau van 10,2 jaar leidt één jaar extra scholing tot zo'n 6% hoger per capita inkomen.

⁸ Ook kan worden opgemerkt dat het belang van omgekeerde causaliteit door Bils en Klenow wordt ingeschat aan de hand van een gekalibreerd model, waarbij de gemiddelde jaarlijkse TFP-groei tussen 1960 en 1990 wordt verklaard door de scholing in 1960 zoals voorspeld door het theoretisch model. Hun model impliceert een sterk effect van het Minceriaans rendement van onderwijs op scholing: een stijging van het rendement met 1%-punt leidt tot een toename van de onderwijsdeelname met 1 tot 2 jaar. De (spaarzame) empirische schattingen liggen in de orde van grootte van 0,3 tot 0,7 jaar.

2.4 Verschillen tussen privaat en sociaal rendement

In het begin van dit onderdeel hebben we gezien dat in het model van Lucas (1988) externe effecten een wig drijven tussen private en sociale rendementen. Naast externe effecten is er een aantal andere mogelijke verklaringen voor verschillen tussen private en sociale rendementen van onderwijs (Temple, 2000):

- *Signalling*;
- *Rentseeking*;
- Efficiënte *matching* tussen werknemers en banen.

Een eerste mogelijke verklaring voor een verschil tussen private en maatschappelijke rendementen van onderwijs volgt uit het idee van *signalling* (ook wel *screening* genoemd). In deze theorie heeft onderwijs alleen een signaal-functie: een diploma verschaft de werkgever informatie over iemands capaciteiten en vermindert zodoende de informatie-problemen op de arbeidsmarkt. Onderwijs als zodanig hoeft dan ook niet bij te dragen aan de arbeidsproductiviteit (zoals in de menselijk kapitaal benadering). Ook wanneer *signalling* een rol speelt kan onderwijs worden gezien als een investering, maar bij deze investering zal het sociale rendement lager zijn dan het private rendement (vgl. Weiss, 1995).

Op de tweede plaats kunnen private en sociale opbrengsten van onderwijs verschillen wanneer loonverschillen niet zijn gebaseerd op verschillen in arbeidsproductiviteit (op een competitieve markt is het bruto loon gelijk aan de arbeidsproductiviteit). We vatten oorzaken hiervoor samen met *rentseeking*. Drie voorbeelden:

1. Met name in arme landen is de publieke sector een belangrijke werkgever voor hoog opgeleiden. Wanneer een afgeronde opleiding toegang verschaft tot gerantsoeneerde goedbetaalde banen bij de overheid, dan wordt in geschatte loonprofielen een effect van onderwijs gevonden – zelfs als er geen effect is op de productiviteit (zie ook Pritchett, 1996);
2. Hoog opgeleide werknemers kunnen makkelijker toegang hebben tot banen waarin zij aanspraak maken op een gedeelte van de winst verdiend op imperfect concurrerende markten;
3. *Rentseeking*-activiteiten door juristen kunnen op macro-niveau contra-productief uitpakken (zo vinden Murphy e.a. (1991) een negatief verband tussen het aantal juristen en de economische groei).

Het *rentseeking*-argument impliceert dat het privaat rendement van onderwijs het sociale rendement overstijgt.

Ten derde kan onderwijs bijdragen aan een efficiëntere *matching* tussen werknemers en banen op de arbeidsmarkt. Dus ook wanneer onderwijs niet direct de productiviteit verhoogt kan er sprake zijn van een positief sociaal rendement.

Bovengenoemde theorieën zullen allen een kern van waarheid bevatten. Wat zegt de empirie? Rauch (1993) onderzoekt de hypothese dat het gemiddeld niveau van menselijk kapitaal het karakter heeft van een lokaal publiek goed. In steden met gemiddeld meer menselijk kapitaal zullen lonen en de grondprijs dan hoger liggen. Hij gebruikt data voor de *Standard Metropolitan Statistical Areas* in de Verenigde Staten, waarbij het gemiddeld niveau van formele scholing en werkervaring wordt gehanteerd als benadering voor het gemiddeld niveau van menselijk kapitaal. Het extern effect van het gemiddeld scholingsniveau is ongeveer 3,3%, en van de gemiddelde werkervaring zo'n 0,28%. Met een privaat rendement van onderwijs van 4,8% en een sociaal rendement van 8,1%, is het sociaal marginaal product van menselijk kapitaal 1,7 keer zo hoog als het privaat marginaal product. Dit impliceert belangrijke externe effecten van menselijk kapitaal.

De resultaten van Rauch zijn echter niet onomstreden. Zo kunnen de empirische uitkomsten ook worden verklaard door complementariteit tussen fysiek kapitaal en menselijk kapitaal. De aanwezigheid van hoger opgeleiden in een stad trekt fysiek kapitaal en technologie aan, zodat het marginaal product van werknemers wordt verhoogd (vgl. Heckman en Klenow, 1997). Een andere verklaring die Heckman en Klenow (1997) noemen is dat de onderwijskwaliteit hoger kan zijn in gebieden met veel hoger opgeleiden.

Verschillende andere auteurs hebben vergelijkbare exercities uitgevoerd en het beeld dat hieruit naar voren komt is dat er geen duidelijke aanwijzingen zijn voor belangrijke discrepanties tussen private en sociale rendementen van onderwijs. Voorbeelden van studies waarin wordt gevonden dat private en sociale rendementen van scholing ongeveer even groot zijn, zijn Acemoglu en Angrist (1999), Blundell e.a. (1999), Ciccone en Peri (2000) Gemmel (1997), en Steel en Sausman (1997). Zie Venniker (2000) voor een recent overzicht.

3 R&D en economische groei

3.1 Groeimodellen met R&D: Van neoklassieke naar endogene groei

In het standaard neoklassieke groeimodel wordt de lange termijn economische groeivoet bepaald door technische vooruitgang. Nieuwe technologie komt onmiddellijk en gratis voor iedereen beschikbaar (*manna from heaven*), en iedereen heeft toegang tot de *technology frontier*. Deze weinig realistische veronderstelling is in meer recent werk ter discussie gesteld. Dit onderdeel bespreekt enkele studies die de overgang markeren van de standaard neoklassieke benadering naar de nieuwe of “endogene” groeitheorie.

Nog binnen het traditionele neoklassieke raamwerk, breiden Nonneman en Vanhoudt (1996) het neoklassieke groeimodel van Mankiw e.a. (1992) uit met een derde type kapitaal

(naast menselijk en fysiek kapitaal), namelijk *technological know-how*.⁹ Nonneman en Vanhoudt behandelen technologische kennis hetzelfde als de andere soorten kapitaal: de markt voor kennis werkt perfect (er zijn geen externe effecten en schaalvoordelen). Ze onderzoeken in hoeverre deze uitbreiding bijdraagt aan de verklaring van variatie van BBP per hoofd in de OESO-landen. Investerings in kennis dragen significant bij aan de verklaring van internationale inkomensverschillen, en de productie-elasticiteit van technologische kennis is 0,375: 1% meer kennis vertaalt zich in 0,375% hoger per capita inkomen. De productie-elasticiteiten van fysiek en menselijk kapitaal bedragen respectievelijk 0,296 en 0,28, maar zijn beiden statistisch insignificant. Ook houden ze rekening met transitie-groei, en presenteren schattingen van de verandering in BBP per hoofd waarbij ook het initieel inkomen als onafhankelijke variabele wordt meegenomen (om te onderzoeken of conditionele convergentie optreedt). Investerings in menselijk kapitaal (percentage van de beroepsbevolking op de middelbare school) verschijnen opnieuw insignificant in het regressie-model, investeringen in fysiek kapitaal en technologische kennis hebben wel een statistisch significant teken: de productie-elasticiteiten bedragen 0,5 en 0,12, respectievelijk. Een productiefunctie representatief voor hun resultaten is

$$Y = [K^{1/3} H^{3/20} T^{3/35}] L^{2/5}$$

waarbij T staat voor technologische kennis.

De veronderstelling van Nonneman en Vanhoudt dat kennis een normaal verhandelbaar economisch goed is, strookt niet met moderne inzichten uit de nieuwe groeitheorie en kan leiden tot foutieve specificatie van hun econometrisch model. Nonneman en Vanhoudt schrijven het model in per capita eenheden door alle termen te delen door L . Als de markt voor kennis faalt en kennis het karakter heeft van een publiek goed dan dient de *totale* kennisvoorraad te worden opgenomen als verklarende variabele voor het per capita inkomen. Verder wordt de economische groei in de analyse van Nonneman en Vanhoudt uiteindelijk weer bepaald door exogene factoren: uitbreiding van de kennisvoorraad zal slechts een tijdelijk positief effect op de economische groei sorteren.

Een pionier op het gebied van endogene groei is Paul Romer. Romer (1990) benadrukt het publieke goed karakter van kennis: ideeën, ontwerpen en blauwdrukken zijn in principe niet-rivaal en niet-uitsluitbaar. Bedrijven die investeren in R&D moeten daarom hun vindingen gedurende een bepaalde periode kunnen beschermen (bijvoorbeeld door middel van patenten). Het vooruitzicht van tijdelijke monopoliewinsten moedigt bedrijven aan om te investeren in R&D. Als het patent is verstrekt dan kan iedereen de nieuw verworven kennis exploiteren.

⁹ Investerings in technologische kennis worden gemeten als de bruto binnenlandse uitgaven aan R&D als percentage van het BBP (data van de OESO).

Twee andere economen die baanbrekend werk hebben verzet op het terrein van de endogene groei zijn Philippe Aghion en Peter Howitt. In Aghion en Howitt (1992) ontwikkelen zij een endogeen groeimodel met creatieve destructie (gebaseerd op de ideeën van Schumpeter). R&D-inspanningen kunnen leiden tot innovaties in de *general purpose technology*. Kennis is een publiek goed, en om bedrijven een prikkel te geven om te investeren in nieuwe kennis wordt innovatie beloond met een patent. Zo'n patent geeft de innovator het alleenrecht om het nieuwe product op de markt te brengen. Het vooruitzicht op monopoliewinsten moedigt bedrijven aan om een nieuwe en betere generatie van het product te ontwikkelen, waardoor de bestaande monopolist uit de markt wordt gedreven en de innovator de markt kan betreden (Schumpeteriaanse creatieve destructie).¹⁰ Economische groei wordt bepaald door het innovatietempo. De marktoplossing hoeft niet samen te vallen met de maatschappelijk optimale oplossing. In de analyse van Aghion en Howitt kan de economische groei zowel te hoog als te laag zijn. Aan de ene kant leidt de intertemporele kennisspillover mogelijk tot te lage R&D-inspanningen. Ondernemers kijken alleen naar de opbrengsten van innovatie gedurende de levensduur van hun bedrijf. Het bedrijf wordt uit de markt gedreven als er een nieuw en beter product wordt ontwikkeld, maar deze innovatie is gebaseerd op de kennis belichaamd in de vorige productgeneratie. Innovatoren staan "*on the shoulders of giants*". De intertemporele kennisspillover drijft een wig tussen het private en sociale rendement van R&D. Aan de andere kant houden ondernemers geen rekening met de gevolgen van innovatie voor de winsten van de actieve bedrijven. Innovatie leidt tot een beter product en tot het uit de markt drijven van bestaande producten ("*business-stealing*"). De winsten die hierbij verloren gaan komen niet tot uitdrukking in het private rendement maar wel in het sociale rendement van innovatie. Creatieve destructie heeft tot gevolg dat private rendementen van innovatie worden overschat, mogelijk leidend tot teveel R&D.

Jones en Williams (1998) onderzoeken prikkels tot over- en onder-investering in R&D. In hun analyse worden drie redenen genoemd waardoor private en sociale rendementen kunnen verschillen:

- Congestie-externaliteit / *stepping on toes* effect: een verdubbeling van de onderzoeksinspanningen hoeft niet te leiden tot een verdubbeling van de onderzoeksproductie vanwege duplicatie in het onderzoeksproces;
- *Standing on shoulders* effect¹¹ (zie boven);

¹⁰ Voor verdere discussie over de relatie tussen concurrentie en innovatie, zie Canton (2002).

¹¹ Jones en Williams (1998) gebruiken de relatie $\dot{A} = f(A^\phi)$ waarbij A de voorraad ideeën voorstelt. De parameter ϕ meet het netto-effect van *knowledge spillovers* en *fishing out*, waarbij met *fishing out* wordt bedoeld dat de beste ideeën het eerste worden ontdekt.

- Creatieve destructie kan leiden tot overinvestering in R&D, omdat innovatoren winsten kunnen maken op ideeën die niet helemaal nieuw zijn (bestaande ideeën krijgen een nieuwe jas).

Tabel 3.1 Schattingen van de productie-elasticiteit van R&D

Studie	Elasticiteit	Studie	Elasticiteit
VS		Frankrijk	
Griliches (1980a)	0,06 f	Cuneo-Mairesse (1984)	0,22-0,33 f
Griliches (1980b)	0,00-0,07 i	Mairesse-Cuneo (1985)	0,09-0,26 f
Nadiri-Bitros (1980)	0,26 f	Patel-Soete (1988)	0,13 t
Nadiri (1980a)	0,06-0,10 p	Mairesse-Hall (1996)	0,00-0,17 f
Nadiri (1980b)	0,08-0,19 m	West Duitsland	
Griliches (1986)	0,09-0,11 f	Patel-Soete (1988)	0,21 t
Patel-Soete (1988)	0,06 t	VK	
Nadiri-Prucha (1990)	0,24 i	Patel-Soete (1988)	0,07 t
Verspagen (1995)	0,00-0,17 i	Nederland	
Srinivasan (1996)	0,24-0,26 i	Bartelsman e.a. (1996)	0,04-0,12 f
Porter-Stern (2000)	0,05-0,22	Jacobs e.a. (2000)	0,33 i
Japan		G7	
Mansfield (1988)	0,42 i	Coe-Helpman (1995)	0,234
Patel-Soete (1988)	0,37 t		
Sassenou (1988)	0,14-0,16 f		
Nadiri-Prucha (1990)	0,27 i		

Noot: De symbolen hebben de volgende betekenis: f *firm level*; i *industry level*; t *total economy*; m *total manufacturing*; p *private economy*.

Bron: Cameron (1998), eigen aanvullingen.

3.2 Opbrengsten van R&D

Jones en Williams (1998) laten zien dat schattingen van het sociaal rendement van R&D in de literatuur moeten worden geïnterpreteerd als een benedengrens. Schattingen van het sociale rendement zijn ongeveer 27% wanneer alleen R&D van de eigen sector is meegenomen en bijna 100% voor het meest algemeen gedefinieerde rendement. Bij een privaat rendement van 7-14% komen zij tot de conclusie dat er sprake is van substantiële onder-investering in R&D: “optimal R&D spending as a share of GDP is more than two to four times larger than actual spending” (blz. 1121). Cameron (1998) presenteert een overzicht van de empirische literatuur over de opbrengsten van R&D. Schattingen van de productie-elasticiteit van R&D staan vermeld in Tabel 3.1. De meeste studies vinden een sterke relatie tussen R&D kapitaal en productie: de output-elasticiteit ligt in de orde van grootte van 0,05 tot 0,2. Tabel 3.2 geeft een overzicht van schattingen van het direct en indirect rendement van R&D.¹² De gerapporteerde directe

¹² Het rendement van R&D (ρ) is herleidbaar van de productie-elasticiteit (β) via $\rho = \beta(Y/T)$ waarbij T de R&D voorraad weergeeft. Zie ook de Box van § 2.2.

rendementen in Tabel 3.2 kunnen als private rendementen worden geïnterpreteerd wanneer het schattingen op het niveau van individuele bedrijven betreft. Het betreft extra rendementen bovenop de “normale” vergoedingen voor onderzoekers en onderzoeksfaciliteiten die bij de berekening van TFP al zijn meegenomen (om dubbeltellingen te voorkomen, zie Schankerman, 1981). Wanneer het schattingen op bedrijfstakken-niveau betreft dan is het directe rendement gelijk aan het privaat rendement plus de spillovers tussen bedrijven in de desbetreffende bedrijfstak (intra-sectorale spillovers). Het indirecte rendement betreft inter-sectorale spillovers. Daarmee is het totale sociale bruto (extra) rendement gedefinieerd als de som van de directe en indirecte rendementen.¹³ Indirecte rendementen van R&D liggen duidelijk hoger dan de directe rendementen, en een aantal schattingen komt zelfs boven de 100% uit. Echter, de Annex laat zien dat bestaande rendementsschattingen te hoog zijn wanneer complementaire innovatieve uitgaven die niet onder de pure R&D-uitgaven vallen maar wel nodig zijn om een nieuw product succesvol op de markt te brengen buiten beschouwing worden gelaten. Verder is in de tabel de verhouding toegevoegd tussen het indirect en direct rendement (de benedengrens uit de kolom “indirect rendement” is gedeeld door de benedengrens uit de kolom “direct rendement” en hetzelfde is gedaan voor de bovengrenzen). De gemiddelde verhouding bedraagt 2,63; indirecte rendementen van R&D zijn gemiddeld 2,63 maal zo hoog als directe rendementen. Overigens moeten deze getallen met de nodige voorzichtigheid worden gehanteerd en dienen alleen om een globale indruk te krijgen van de verhouding.

Relatie met economische groei. Ondanks het grote aantal schattingen van de output-elasticiteit en rendementen van R&D weten we nog niet veel over de relatie tussen R&D en economische groei. Bij een output-elasticiteit van (stel) 0,1 geldt binnen een exogeen groeimodel dat een stijging van de R&D voorraad met 10% leidt tot een stijging van de productiecapaciteit met 1%. Er is alleen een tijdelijk effect op de economische groei gedurende de transitie naar het nieuwe evenwichtige groeipad. Binnen een model met endogene economische groei impliceert een productie-elasticiteit van 0,1 dat een stijging van de R&D voorraad met 10% leidt tot een stijging van de economische groei met 1%. De literatuur biedt nog geen eenduidig antwoord op de vraag of R&D investeringen leiden tot een tijdelijk of permanent effect op de economische groei. Bovendien kan de (theoretische) transitiefase naar een nieuw groeipad binnen het exogene groeimodel lang duren (bijvoorbeeld 50 jaar). Bij berekeningen van de contante waarde van R&D investeringen wordt het dan minder belangrijk of de groei-effecten tijdelijk of permanent zijn.

¹³ Zie Cornet e.a. (2001) voor verdere discussie.

Tabel 3.2 Schattingen van het rendement van R&D

Studie	Direct rendement	Indirect rendement	Verhouding indirect-direct
VS			
Terleckyj (1974)	0,12-0,29 i	0,45-0,78	2,69-3,75
Terleckyj (1980)	0,00 i	1,83	
Sveikauskas (1981)	0,07-0,25 i	0,50	2-7,14
Scherer (1982, 1984)	0,29-0,43 i	0,64-1,47	2,21-3,42
Griliches-Lichtenberg (1984)	0,21-0,76 i	0,41-0,62	0,82-1,95
Jaffe (1986)	0,25 f		
Bernstein-Nadiri (1988)	0,10-0,27 i	0,11-1,11	1,1-4,11
Bernstein-Nadiri (1989)	0,09-0,20 f		
Bernstein-Nadiri (1991)	0,15-0,28 i	0,20-1,10	1,33-3,93
Lichtenberg-Seigel (1991)	0,13 f		
Wolff-Nadiri (1993)	0,11-0,19 i	0,10-0,90	0,91-4,74
Jones-Williams (1998)	0,07-0,14	0,27-1,00	3,86-7,14
Canada			
Hartwick-Ewen (1983)	0,00 i	0,00	
Postner-Wesa (1983)	0,00 i	0,18	
Hanel (1988)	0,50 i	1,00	2
Möhnchen-Lepine (1988)	0,05-1,43 i	0,11-0,314	0,22-2,2
Bernstein (1988)	0,12 f		
Bernstein (1989)	0,24-0,47 i	0,29-0,94	1,21-2
Japan			
Goto-Suzuki (1989)	0,26 i	0,80	3,08
Nederland			
Bartelsman e.a. (1996)	0,10-0,25 f		
VK			
Sterlacchini (1989)	0,12-0,20 i	0,15-0,35	1,25-1,75
G5			
Englander-Mittelstädt (1988)	0,00-0,50 i	0,00-0,54	

Noot: De symbolen hebben de volgende betekenis: f *firm level*; i *industry level*; t *total economy*; m *total manufacturing*; p *private economy*.

Bron: Cameron (1998), eigen aanvullingen.

3.3 Spillovers en nabijheid

In de analyse van Romer wordt er vanuit gegaan dat kennis codificeerbaar is: kennis die is vastgelegd kan vrijwel kosteloos worden gereproduceerd en daarom zijn de uitstralingseffecten zo sterk. Recentelijk verschijnen er meer studies die benadrukken dat R&D activiteiten ook *tacit* kennis kunnen opleveren. Het onderscheid tussen *tacit* en *codified knowledge* is van belang voor de relatie tussen R&D en economische groei. Wanneer alle kennis in gecodificeerde vorm beschikbaar is hebben landen vrijwel onmiddellijk en gratis toegang tot elders ontwikkelde technologie (er zijn in ieder geval geen technische belemmeringen voor directe verspreiding, vandaar dat patenten de innovator moeten beschermen). Afstand speelt dan in principe geen rol.

Convergentie van per capita inkomens ligt dan binnen handbereik, ook voor de ontwikkelingslanden. Dit idee van wereldwijde uitstralingseffecten en perfecte codificatie van nieuwe kennis is verondersteld in de neoklassieke groeitheorie.

Wanneer ook *tacit* kennis nodig is in het productieproces of bij de ontwikkeling van nieuwe kennis, dan zullen uitstralingseffecten sterk zijn gekoppeld aan fysieke afstand. Dit kan tot uitdrukking komen in het ontstaan van convergentie-clubs: groepen landen in een bepaalde regio van de wereld die naar elkaar toegroeien (bijvoorbeeld Europa, Zuid-Oost Azië). Op nationaal niveau kan *tacit* kennis leiden tot clusters van bedrijven die veel van elkaar kunnen leren. In empirisch onderzoek wordt de rol van afstand voor kennisdiffusie (min of meer impliciet) meegenomen door onderscheid te maken in binnen- en buitenlandse R&D. Zo vinden Jacobs e.a. (2000) empirisch bewijs voor uitstralingseffecten van R&D, waarbij spillovers van binnenlandse R&D sterker zijn dan die van R&D verricht in het buitenland: de TFP-elasticiteit van binnenlandse spillovers van R&D bedraagt ongeveer 0,14, en voor buitenlandse spillovers 0,03. Voorbeelden van andere studies die ingaan op de rol van afstand voor kennisoverdracht zijn Branstetter (2001) en Venables (2001). Branstetter (2001) vindt dat uitstralingseffecten van kennis vooral een intranationaal karakter hebben. Hij kijkt hierbij naar de Verenigde Staten en Japan, twee grote landen. De vraag dient zich dan ook aan of voor kleine landen wellicht een grotere rol voor internationale spillovers is weggelegd. Venables (2001) maakt onderscheid in *tacit* en *codified knowledge*, en onderzoekt de gevolgen van nieuwe technologie op internationale reallocatie van economische activiteiten. Zie ook Cornet en Rensman (2001) voor een discussie in de context van vestigingsplaatsfactoren.

Er zijn ook enkele studies waarbij een meer expliciete rol aan afstand wordt toegekend. In deze paragraaf zullen we kort ingaan op de rol van afstand voor de overdracht van kennis.

3.3.1 Nationaal

Adams (2001) vindt dat spillovers verbonden aan academisch onderzoek een meer lokaal karakter hebben dan industriële spillovers. Hij schrijft dit toe aan het openbare karakter van academisch onderzoek in combinatie met toenemende samenwerking tussen universiteiten en bedrijven (zie ook hoofdstuk 7 in CPB en CHEPS, 2001). Dit in tegenstelling tot industriële spillovers, waarbij dikwijls sprake is van contractuele overeenkomsten ter bescherming van intellectueel eigendom. Zulke overeenkomsten zijn minder gevoelig voor fysieke afstand.

Beugelsdijk en Cornet (2001) onderzoeken de invloed van geografische nabijheid voor het innovatieproces in Nederland. Daartoe ontwikkelen ze een “schillenmodel”, waarbij rond een bedrijf drie geografische schillen worden gedefinieerd. Ze vinden geen aanwijzingen dat geografische nabijheid van belang is voor technologische spillovers in Nederland. Er wordt wel een positieve correlatie gevonden tussen de innovatieve prestaties van een bedrijf en de

nabijheid van een technische universiteit (wellicht kan hierbij sprake zijn van omgekeerde causaliteit of selectie-effecten).¹⁴

3.3.2 Internationaal

Het bewerkstelligen van internationale convergentie in per capita inkomens hangt onder meer af van het karakter van technologische spillovers. Globale spillovers ondersteunen internationale convergentie, terwijl kennisverspreiding die geografisch is gelimiteerd kan leiden tot regionale clusters van landen met onderling beperkte verschillen in per capita inkomen. Keller (2001) onderzoekt het belang van geografische afstand voor de verspreiding van kennis, de verandering van de relatie over de tijd, en de vraag of internationale handel, buitenlandse directe investeringen en communicatiestromen opereren als belangrijke diffusiekanalen. Keller analyseert de productiviteitseffecten van R&D uitgaven in de zeven belangrijkste geïndustrialiseerde landen tussen 1970 en 1995. Zijn bevindingen kunnen als volgt worden samengevat:

- Kennisverspreiding wordt gelimiteerd door afstand: de helft van de technologie is verdwenen na zo'n 1200 kilometer;
- Tussen 1970 en 1995 heeft technologische kennis een meer globaal karakter gekregen;
- Verschillen in bilaterale kennisverspreiding kunnen voor zo'n tweederde worden toegeschreven aan handel, terwijl buitenlandse directe investeringen en taalvaardigheden ieder een-zesde verklaren.

4 Inhaalgroei

Onderwijs en R&D kunnen ook de economische groei beïnvloeden door zogenaamde inhaalgroei, waardoor verschillen in productiviteitsniveaus tussen landen verdwijnen. De omvangrijke literatuur kan worden ingedeeld in vier stromingen, die achtereenvolgens aan de orde zullen komen.

4.1 Absolute en conditionele convergentie

Het originele neoklassieke groeimodel voorspelt *absolute convergentie* van per capita inkomens: arme landen groeien sneller dan rijke landen, en uiteindelijk verdwijnen internationale

¹⁴ Een ander relevant paper is Møen (2000), waarin de rol van arbeidsmobiliteit als bron van kennisspillovers wordt onderzocht. Ze vindt dat onderzoekers in R&D intensieve bedrijven betalen voor de kennis die ze in de praktijk opbouwen in de vorm van lagere startsalaries. Later in hun loopbaan verdienen onderzoekers een rendement op deze impliciete investeringen in termen van een hoger loon. Dit suggereert dat de externe effecten samenhangend met arbeidsmobiliteit gedeeltelijk worden geïnternaliseerd door de arbeidsmarkt.

inkomensverschillen. Sterke veronderstellingen liggen hieraan ten grondslag: alle landen hebben kosteloos toegang tot de meest efficiënte productietechnieken; preferenties, bevolkingsgroei en afschrijvingsvoet van de kapitaalgoederenvoorraad zijn identiek. Alleen onder deze stringente condities zal absolute convergentie optreden.¹⁵ Levine en Renelt (1992) identificeren het startinkomen als één van de robuuste verklarende variabelen van de economische groei (naast investeringen in fysiek kapitaal en openheid): landen met een lager inkomen in het begin van de onderzochte periode vertonen een hogere economische groei.¹⁶

Een belangrijke amendering van dit model is de introductie van menselijk kapitaal in de productiefunctie door Mankiw e.a. (1992). Menselijk kapitaal speelt nu – naast kennis, of stand van de technologie – een rol in de productiemogelijkheden van een land. De vorming van menselijk kapitaal vindt plaats door onderwijsdeelname. Een grotere onderwijsdeelname leidt tot een stijging van de voorraad menselijk kapitaal en daarmee tot een uitbreiding van de productiemogelijkheden. Een toename van de onderwijsinvesteringen leidt tot een tijdelijk hogere economische groei (“transitie-groei”), maar de lange termijn economische groei is nog steeds exogeen. Een implicatie van dit model is dat sprake is van *conditionele convergentie*: ontwikkelingslanden die niet genoeg investeren in onderwijs zullen arm blijven; arme landen die meer in onderwijs investeren zullen uiteindelijk toegroeien naar het arbeidsproductiviteitsniveau van Westerse landen. Een belangrijke verbetering is dan ook dat het model van Mankiw e.a. kan verklaren waarom blijvende inkomensverschillen tussen landen kunnen optreden.

4.2 Sociaal kapitaal

Hall en Jones (1999) laten zien dat de waargenomen variaties in kapitaalintensiteit en opleidingsniveau veel te klein zijn om internationale verschillen in de productie per werknemer te kunnen verklaren. Met andere woorden, internationale variaties in arbeidsproductiviteit worden mede veroorzaakt door verschillen in de restfactor productiviteit. De standaard neoklassieke benadering waarbij ideeën, kennis en technieken onmiddellijk voor iedereen gratis

¹⁵ Zie bijvoorbeeld het drieluik Baumol (1986), DeLong (1988), en Baumol en Wolff (1988). Een overzicht is te vinden in Temple (1999a). Quah (1993) maakt onderscheid in β -convergentie en σ -convergentie. De neoklassieke convergentie-hypothese refereert naar β -convergentie: de groei van het reële BBP per hoofd is negatief gerelateerd aan het startniveau van het reële BBP per hoofd (waarbij wordt gecorrigeerd voor andere variabelen). De tweede vorm van convergentie, σ -convergentie, treedt op wanneer de spreiding (gemeten als bijvoorbeeld de standaarddeviatie van de log van het per capita inkomen van een groep landen) kleiner wordt over de tijd.

¹⁶ Levine en Renelt (1992) laten met behulp van *Extreme Bound Analysis* zien dat slechts enkele variabelen een robuuste correlatie met de economische groeivoet vertonen. Echter, ook op deze EBA-methode is weer kritiek gekomen. In een paper van Sala-i-Martin (1997) met de veelzeggende titel “*I just ran four million regressions*” wordt geconcludeerd dat een veel grotere set verklarende variabelen robuust is gecorreleerd met de economische groei.

toegankelijk zijn, lijkt hiermee dan ook niet geschikt als een theorie van de internationale inkomensverdeling.

De hypothese die Hall en Jones onderzoeken is dat de arbeidsproductiviteit, de hoeveelheid menselijk kapitaal, fysiek kapitaal en het productiviteitsniveau uiteindelijk worden bepaald door de sociale infrastructuur. Ontwikkelde landen met een gemiddeld goed opgeleide beroepsbevolking, voldoende kapitaal en een hoog productiviteitsniveau hebben dit uiteindelijk allemaal te danken aan hun sociale instituties. Om één en ander empirisch te onderzoeken hebben Hall en Jones een maatstaf voor sociale infrastructuur geconstrueerd. Deze maatstaf is een combinatie van twee indices. De eerste is een index voor de mate waarin nationale overheden bescherming bieden aan private partijen of zich juist schuldig maken aan marktverstoringen. Hiervoor wordt gekeken naar het juridisch stelsel, het functioneren van het overheidsapparaat, het gevaar van corruptie, onteigening en ontbinding van contracten door de overheid. Ten tweede wordt de mate van openheid met betrekking tot internationale handel in de maatstaf betrokken, met als idee dat niet alleen de overheid maar ook marktpartijen contra-productieve winsten kunnen behalen met de invoering van tarieven, quota en andere handelsbelemmeringen. Voor 127 landen vinden Hall en Jones een significant positieve en robuuste relatie tussen sociale infrastructuur en productie per werknemer. Vervolgens wordt het verband onderzocht tussen de afzonderlijke drie intermediaire factoren en de sociale infrastructuur. Ook hier blijkt dat landen met een goede sociale infrastructuur meer fysiek kapitaal accumuleren, meer investeren in onderwijs en over een hogere productiviteit beschikken. Aldus komen zij tot de conclusie dat internationale variaties in productie per werknemer worden veroorzaakt door verschillen in de sociale infrastructuur.¹⁷

4.3 Adoptie van technologie

Naast de directe ontwikkelingskosten zijn er ook allerlei andere kosten verbonden aan de invoering van een nieuwe technologie. Implementatie van een nieuwe technologie vereist dikwijls additionele investeringen door ondernemers en werknemers. Er moet nieuwe apparatuur worden aangeschaft en mensen moeten leren werken met de nieuwe technologie. Daarnaast kan introductie van een nieuwe technologie weerstand oproepen bij groepen die zich bedreigd voelen in hun gevestigde belangen (zie Canton e.a. (1999) voor enkele historische voorbeelden). Ook kunnen netwerkeffecten invloed hebben op de snelheid waarmee een nieuwe technologie wordt geïntroduceerd (standaard voorbeeld is het QWERTY-toetsenbord). Bij de aanwezigheid van netwerkeffecten zijn de nutsfuncties van consumenten onderling afhankelijk.

¹⁷ Andere lezenswaardige artikelen zijn Abramovitz (1990) over *social capability* en *technological congruence* als noodzakelijke condities voor de naoorlogse inhaalgroei van Europa, en Temple (2000) over vertrouwen.

Het nut dat iemand aan een telefoon ontleent hangt af van het aantal telefoongebruikers. Dit kan aanleiding geven tot coördinatieproblemen. Tirole (1988) laat zien dat netwerkeffecten mogelijk leiden tot *excess inertia* of *excess momentum*. *Excess inertia* houdt in dat consumenten wachten met adoptie van een nieuwe technologie en *excess momentum* betekent dat consumenten overhaast een inferieure technologie overnemen.

Laten we als voorbeeld kijken naar adoptiekosten in verband met bijscholing van werknemers. In de context van de menselijk kapitaal benadering kan dan worden gesteld dat met name jonge mensen een prikkel hebben om te investeren in onderwijs: de horizon waarbij de investering kan worden terugverdiend met een hoger loon is het langst voor de jongeren, zodat zij makkelijker een positief rendement zullen behalen. Dit idee is onderworpen aan een eerste empirische toetsing in Nahuis e.a. (2000), waarin twee effecten van leeftijd worden onderscheiden:

- Ervaring;
- Weerstand.

In een vergrijzende bevolking kan het ervaringseffect (denk bijvoorbeeld aan *learning-by-doing*) ertoe leiden dat de gemiddelde arbeidsproductiviteit toeneemt. Weerstand tegen technologische vooruitgang kan optreden wanneer de private baten lager zijn dan de kosten om bekend te raken met de nieuwe technologie. Het zal dan met name voor ouderen minder aantrekkelijk zijn om de technologische vooruitgang bij te houden. Dit impliceert een negatief verband tussen vergrijzing en gemiddelde arbeidsproductiviteit.

Het verband tussen leeftijdsopbouw en arbeidsproductiviteit wordt onderzocht in een 5-jaar panel van OESO landen tussen 1950 en 1990. Er wordt gevonden dat de groei in arbeidsproductiviteit hoog is als het initieel niveau van arbeidsproductiviteit laag is (dit impliceert β -convergentie), als er veel wordt geïnvesteerd, als de 50-64 leeftijdsgroep groot is en als de 65-plus cohort klein is. We interpretern deze resultaten als aanwijzing voor een ervaringseffect bij de groep 50-64, terwijl het weerstandseffect domineert voor de 65-plussers.

De relatie tussen bevolkingssamenstelling en technologische ontwikkeling kan ook in omgekeerde richting werken: technologische ontwikkeling induceert vervroegd pensioen van oudere werknemers. Ahituv en Zeira (2000) ontwikkelen een model met sector-specifiek menselijk kapitaal waarin nieuwe technologie productiever is maar ook een leerinspanning vereist. Jonge mensen leren de nieuwe technologie, maar oudere mensen houden vast aan de oude technologie omdat hun carrière-horizon korter is. Hun inkomen zal dan dalen ten gevolge van competitie door de jongeren. Daarom zullen ouderen hun arbeidsaanbod verminderen en eerder met pensioen gaan. Dit noemen zij het erosie-effect, menselijk kapitaal van de ouderen erodeert ten gevolge van technologische vooruitgang. In sectoren met veel innovaties zal de arbeidsparticipatie van ouderen dalen ten gevolge van dit erosie-effect, maar de

arbeidsparticipatie van ouderen kan toenemen in andere sectoren vanwege hogere lonen. In een empirisch onderzoek wordt een negatief effect van sector-specifieke TFP-groei op de werkgelegenheid van mannen van 50 jaar en ouder in de VS gevonden: het erosie-effect domineert het loon-effect.

Een derde effect is onderzocht door Poterba (1996): wat is de relatie tussen publieke onderwijsuitgaven (per leerling) en demografische samenstelling? Poterba vindt empirische ondersteuning voor concurrentie tussen generaties om de verdeling van publieke middelen: onderwijsuitgaven per kind in de VS zijn negatief gecorreleerd met de fractie ouderen in een staat.

Ook kan introductie van een nieuwe productiemethode kosten voor de werkgever met zich meebrengen (Parente en Prescott, 1994). Meer algemeen, gevestigde belangen kunnen aanleiding geven tot weerstand bij introductie van nieuwe technologie. De disciplinerende rol van markwerking kan zulke weerstand verminderen, en aldus adoptie van nieuwe technologie bespoedigen (Holmes en Schmitz, 1994). Empirisch onderzoek van deze ideeën is schaars (zie bijvoorbeeld Baily, 1993; Baily en Gersbach, 1995). Jovanovic (1997) schat dat adoptie-kosten twintig tot dertig maal zo hoog zijn als de inventie-kosten. Nauwkeurige schattingen van de adoptie-kosten en van private en sociale rendementen van technologie-adoptie zijn nog niet beschikbaar, maar gezien de groeiende belangstelling voor dit thema kunnen we in de nabije toekomst meer studies tegemoet zien.

Tenslotte wordt in recente studies aandacht besteed aan het onderscheid tussen R&D gericht op innovatie en op adoptie. Griffith e.a. (2000) onderzoeken convergentie van TFP in een panel van industriële bedrijven in 12 OESO-landen vanaf 1970. De afstand tot de technologische grens ("*technological frontier*") in een bepaalde industrie wordt als maatstaf gebruikt voor potentiële technologie-transfer, waarbij de technologische grens wordt gedefinieerd als het land met de hoogste TFP in de desbetreffende industrie. Adoptie van technologie komt dan tot uitdrukking in internationale convergentie van TFP-niveaus, oftewel "inhaalgroei". Het directe effect van R&D op de TFP-groei wordt bestempeld als innovatie. De onderzoekers vinden dat R&D en menselijk kapitaal belangrijk zijn voor het proces van inhaalgroei, alsook voor het innovatieproces. Aldus benadrukken zij "de twee gezichten" van R&D: naast de conventionele rol van R&D als stimulans voor innovaties vergroot R&D ook de transfer van technologie doordat bedrijven dan makkelijker kunnen leren van de meest efficiënte bedrijven.

Tabel 4.1 toont schattingen van het sociaal rendement (op nationaal niveau) van R&D en menselijk kapitaal voor de industrie-sector. De gemiddelde relatieve TFP (RTFP, waarbij $RTFP=1$ voor de technologische leider) staat vermeld in de eerste kolom. De VS scoren het hoogst, en Nederland loopt gemiddeld zo'n 10% achter op de technologische leider. Kolommen 2 en 3 tonen schattingen van het totaal sociaal rendement op R&D en het rendement gerelateerd aan adoptie / imitatie. Als technologisch leider wordt het rendement van R&D voor de VS bijna

geheel bepaald door het directe innovatie-effect. Het rendement van R&D-uitgaven ten gevolge van imitatie bedraagt slechts 0,5%. Ook voor Nederland wordt gevonden dat het innovatie-effect veel belangrijker is dan het adoptie-effect. Het geschatte totale sociale rendement van R&D is 49,6%, en hiervan is 8,4%-punt gekoppeld aan internationale kennisoverdracht. Voor de Scandinavische landen, Italië, Japan en het VK is adoptie juist heel belangrijk. Verder laat de tabel zien dat het Amerikaans rendement van R&D relatief laag is omdat het adoptie-effect nauwelijks een rol speelt. Dit betekent dat studies voor andere landen die uitgaan van rendementscijfers van de VS het rendement van R&D neigen te onderschatten. Vergelijkbare resultaten worden gevonden voor het rendement van menselijk kapitaal. Voor de VS is opnieuw het directe effect veel sterker dan het indirecte effect gerelateerd aan adoptie. En dit geldt ook voor Nederland: het totale sociaal rendement van menselijk kapitaal is 27,4% en hiervan is 4,6%-punt te danken aan adoptie van kennis uit het buitenland.

Tabel 4.1 Rendementen van R&D en menselijk kapitaal

		R&D		Menselijk kapitaal	
	RTFP	Totaal (%)	Adoptie (%)	Totaal (%)	Adoptie (%)
Canada	0,826	57,2	16,0	31,5	8,7
Denemarken	0,728	67,9	26,7	37,3	14,5
Finland	0,525	95,2	54,0	52,3	29,5
Frankrijk	0,849	54,9	13,7	30,3	7,5
Duitsland	0,901	49,9	8,7	27,5	4,7
Italië	0,696	71,6	30,4	39,4	16,6
Japan	0,703	70,8	29,6	38,9	16,1
Nederland	0,905	49,6	8,4	27,4	4,6
Noorwegen	0,663	75,6	34,4	41,6	18,8
VK	0,626	80,5	39,3	44,2	21,4
VS	0,994	41,7	0,5	23,1	0,3
Zweden	0,726	68,0	26,8	37,4	14,6

Bron: Griffith e.a. (2000). RTFP staat voor Relatieve Totale Factor Productiviteit.

Ook in andere empirische studies wordt het belang van R&D voor zowel ontwikkeling van nieuwe kennis als adoptie van bestaande kennis benadrukt.¹⁸ Recent voorbeeld is Kinoshita (2001), waarin de effecten van R&D en buitenlandse spillovers verbonden aan buitenlandse directe investeringen op de productiviteit van Tsjechische bedrijven wordt onderzocht. Hij vindt dat het “leer-effect” van R&D belangrijker is dan het “innovatie-effect” bij de verklaring van productiviteitsgroei. Verder wordt gevonden dat kennisspillovers gerelateerd aan buitenlandse directe investeringen optreden voor bedrijven die R&D-intensief zijn. R&D bepaalt dan ook in belangrijke mate de mogelijkheden voor het bedrijf om te profiteren van bestaande buitenlandse kennis.

4.4 Interactie tussen onderwijs en technologische verandering

Nauw gerelateerd aan het adoptie-mechanisme besproken in de vorige paragraaf is het idee dat onderwijs en technologische verandering elkaar beïnvloeden.¹⁹

Recent voorbeeld hiervan is Helpman en Rangel (1999). Zij onderzoeken de effecten van de komst van een nieuwe *General Purpose Technology* (GPT) en de gevolgen voor de macro-productiviteit. Twee effecten worden onderscheiden, een adoptie-effect en een introductie-effect. Het adoptie-effect treedt op wanneer de introductie van een nieuwe technologie ervaring met de bestaande technologie teniet doet, met als gevolg een tijdelijke verlaging in productiviteit voor degenen die de nieuwe technologie overnemen. Bovendien is er een introductie-effect, dat zowel positief als negatief kan zijn. Het is positief wanneer de nieuwe technologie minder scholing vereist, en ertoe leidt dat studenten sneller naar de arbeidsmarkt kunnen (het geval van *technology-skill substitutability*). En het effect is negatief wanneer de nieuwe technologie meer scholing vereist, en tot gevolg heeft dat mensen later de arbeidsmarkt betreden (*technology-skill complementarity*). Helpman en Rangel concluderen dat de komst van een GPT kan leiden tot een tijdelijke groeivertraging, en dit is waarschijnlijker als (i) er meer onderwijs is vereist om met de nieuwe technologie te werken (zodat mensen later op de arbeidsmarkt komen) en (ii) er meer ervaring verloren gaat bij de vervanging van de oude technologie.

Een ander voorbeeld is Redding (1996), waarin de relatie wordt onderzocht tussen investeringen in menselijk kapitaal en in R&D binnen een endogeen groeiemodel. Werknemers

¹⁸ Zie ook Klette e.a. (2000) waarin wordt betoogd dat wanneer eigen R&D de absorptie-capaciteit van R&D uitgevoerd in andere bedrijven verhoogt, spillovers ook R&D kunnen *stimuleren*. Het rendement van eigen R&D neemt namelijk toe met de omvang van de “spillover pool”, en dit creëert een positief terugkoppelingsmechanisme tussen R&D investeringen in technologisch gerelateerde bedrijven. Zij concluderen dat “... little attention has been paid to the role of such complementarities and no results seem to be available discussing to what extent a market equilibrium will lead to too little investment in R&D in this case” (blz. 488).

¹⁹ Nelson en Phelps (1966) zijn de grondleggers van dit idee.

investeren in menselijk kapitaal en bedrijven investeren in R&D. Beide vormen van investeringen zijn strategisch complementair: voor werknemers is investeren in menselijk kapitaal met name aantrekkelijk wanneer bedrijven in R&D investeren en, vice versa, voor werkgevers zijn R&D investeringen aantrekkelijker wanneer werknemers in menselijk kapitaal investeren. Redding toont aan dat een economie vast kan komen te zitten in een evenwicht met weinig investeringen in menselijk kapitaal en R&D. In dat geval is er een (tijdelijke) rol voor de overheid om verwachtingen te coördineren, zodat werknemers en werkgevers bereid zijn te investeren.

Ook in empirische studies wordt vaak rekening gehouden met interactie-effecten tussen onderwijs en technologie. Wolff (2000) onderzoekt de relatie tussen de groei in arbeidsproductiviteit en een interactie-term – het product van het opleidingsniveau van de beroepsbevolking en de R&D-intensiteit – (plus een aantal andere verklarende variabelen) voor 24 OESO landen in de periode 1960-90. Hierbij worden twee maatstaven voor R&D-intensiteit gebruikt, namelijk het gemiddeld aandeel van R&D-uitgaven in het BNP, en het aantal wetenschappers en ingenieurs tewerkgesteld in R&D-activiteiten per 10000 inwoners. De interactie-term is in alle schattingen insignificant. Met andere woorden, er worden geen aanwijzingen gevonden voor inhaalgroei gedreven door technologie-adoptie vanwege een goed opgeleide beroepsbevolking. Wolff onderzoekt ook de hypothese dat een goed opgeleide beroepsbevolking adoptie van buitenlandse technologie vergemakkelijkt, door het opnemen van een interactie-effect tussen het opleidingsniveau van de bevolking en de *technology gap* (achterstand in productiviteit ten opzichte van de VS). Maar ook deze term verschijnt met een insignificant teken in de regressie-vergelijking. Vergelijkbare resultaten voor Nederland worden gevonden door Jacobs e.a. (2000). Zij vinden geen aanwijzingen voor het idee dat menselijk kapitaal de adoptie van binnen- en buitenlandse technologie bevordert.

Benhabib en Spiegel (1994) vinden wel een positieve invloed van menselijk kapitaal op de adoptie- en diffusie-snelheid van buitenlandse technologie. Zij introduceren een model waarbij het niveau van menselijk kapitaal direct de totale factorproductiviteit beïnvloedt via twee kanalen:

- In navolging van Romer (1990) wordt gepostuleerd dat menselijk kapitaal direct de productiviteit beïnvloedt door het vergroten van de capaciteit om te innoveren;
 - In navolging van Nelson en Phelps (1966) wordt verondersteld dat het niveau van menselijk kapitaal van invloed is op de snelheid van technologische *catch-up* en diffusie van kennis.
- De empirische resultaten van Benhabib en Spiegel suggereren dat het niveau van menselijk kapitaal een significant positieve relatie vertoont met de groei van het BBP. De elasticiteit bedraagt ongeveer 0.13: 1% meer menselijk kapitaal levert een extra groei van zo'n 0.13%. Verder wordt gevonden dat landen met meer menselijk kapitaal de technologische achterstand sneller

inhalen dan andere landen. Bij splitsing van de groep landen in drie sub-groepen wordt gevonden dat bij de rijkste 26 landen het innovatie-effect domineert, terwijl voor de armste 26 landen alleen het adoptie-effect een rol speelt. Voor de middengroep zijn beide effecten insignificant.

Barro en Sala-i-Martin (1995) onderzoeken interactie-effecten tussen onderwijs en technologische verandering via een interactieterm tussen initieel inkomen en initiële voorraad menselijk kapitaal. In de groeiregressies verschijnt deze interactieterm met een significant negatief teken. De economische interpretatie hiervan is dat inhaalgroei sneller verloopt als er meer menselijk kapitaal is. Verder maken Barro en Sala-i-Martin (1995) onderscheid in lager, middelbaar en hoger onderwijs, en onderzoeken de relatie tussen onderwijsniveau en economische groei voor een grote groep landen. Ze vinden de volgende resultaten. Er is geen significant effect van deelname aan lager onderwijs door mannen en vrouwen op de economische groei. Voor mannen wordt wel een significant positief verband gevonden bij middelbaar en hoger onderwijs: de coëfficiënt is 0,016 (0,006) en 0,050 (0,030), respectievelijk (standaardfouten staan tussen haakjes). Dit betekent dat een stijging van de deelname aan middelbaar onderwijs met 1 standaarddeviatie (0,68 jaar) de economische groei met 1,1%-punt per jaar verhoogt; een stijging van de deelname aan hoger onderwijs met 1 standaarddeviatie (0,091 jaar) verhoogt de economische groei met 0,5%-punt per jaar. Barro en Sala-i-Martin vinden dus een oplopend (convex) verband tussen economische groei en jaren scholing. Een vreemd resultaat is dat onderwijsdeelname van vrouwen slecht is voor de economische groei: Barro en Sala-i-Martin verklaren dit resultaat als volgt: een lage onderwijsdeelname van vrouwen kan een signaal zijn voor onderontwikkeling, en onderontwikkelde landen hebben een hoger groeipotentieel via het convergentie-mechanisme.

Tenslotte, Caselli en Coleman (2001) onderzoeken internationale technologie-diffusie met als case computers. Computers zijn een goed voorbeeld van belichaamde technologie (*embodied technology*). De computer-industrie is sterk geconcentreerd in een beperkt aantal landen. Voor de overige landen die geen eigen computer-industrie hebben geldt dan dat de geïnstalleerde capaciteit gelijk is aan de geïmporteerde capaciteit. Caselli en Coleman gebruiken panel-data van een omvangrijke groep landen (1970-1990) om de determinanten van de import van computers te identificeren. Zij vinden dat de adoptie van computers een sterk verband vertoont met menselijk kapitaal (gemeten in niveaus). Het effect is kwantitatief belangrijk: een 1%-punt stijging van de fractie van de beroepsbevolking met meer dan primair onderwijs leidt tot een stijging in computer-investeringen per werknemer van ongeveer 1%. Deze bevindingen onderschrijven dat recente technologische veranderingen een *skill-biased* component bevatten.

Concluderend, empirische resultaten suggereren dat onderwijs een bijdrage kan leveren aan de productiviteit via wisselwerking met technologische verandering: scholing draagt bij aan de

adoptie van nieuwe technologie en, vice versa, invoering van nieuwe productietechnieken vereist dikwijls additionele scholing en training.

5 Samenvatting en opties voor beleid

In deze notitie is de relatie onderzocht tussen onderwijs, R&D en economische groei. Hierbij zijn zowel theoretische als empirische bevindingen aan de orde gekomen. Bij het verband tussen onderwijs en economische groei stond het model van Lucas (1988) centraal. Dit model voorspelt een directe relatie tussen investeringen in onderwijs en de lange termijn economische groei. Echter, in veel empirische studies werd een zwak verband gevonden tussen economische groei en investeringen in menselijk kapitaal. De *human capital approach* vond dan ook geen bijval vanuit de macro-economische groeiliteratuur. Dit in tegenstelling tot schattingen van het privaat rendement op micro-niveau, die een sterk en robuust verband laten zien tussen aantal jaren onderwijs en inkomen. Recent is de hypothese onderzocht dat dit zwakke verband op macro-niveau wordt veroorzaakt door meetfouten. Metingen van de onderwijsdeelname bevatten fouten en deze fouten worden opgeblazen wanneer er in eerste verschillen wordt geschat. Hierdoor wordt de regressie-coëfficiënt neerwaarts vertekend. Recente onderzoeken hebben aangetoond dat gebruik van betere data wél leidt tot een positief verband tussen investeringen in menselijk kapitaal en economische groei. Temple (2000) komt tot de conclusie dat “this literature is beginning to suggest that there is a correlation between changes in education and growth” (blz. 26). Het is duidelijk dat de literatuur nog niet is uitgekristalliseerd en verwacht kan worden dat de komende jaren nog veel onderzoek naar deze relatie zal worden verricht. Overigens moet worden benadrukt dat een positieve relatie tussen onderwijsinvesteringen en economische groei op zich nog niets zegt over de wenselijkheid van publieke onderwijssubsidies. Zo volgt uit de analyse van Lucas (1988) dat er een positief verband tussen onderwijsinspanning en economische groei kan zijn zonder de aanwezigheid van uitstralingseffecten van menselijk kapitaal. De marktoplossing is dan tevens de maatschappelijk optimale oplossing en er is geen overheidsinterventie in de onderwijssector nodig. Wanneer er uitstralingseffecten uitgaan van menselijk kapitaal, dan overstijgt het sociale rendement van scholing het privaat rendement. Individuen zullen dan mogelijk te weinig in onderwijs investeren. De overheid kan dan via subsidiëring van onderwijs proberen het maatschappelijk optimum te herstellen.²⁰

Ook R&D activiteiten kunnen een bijdrage leveren aan de economische groei. Kennis bezit (meer dan menselijk kapitaal belichaamd in personen) aspecten van een publiek goed, en schattingen suggereren grote discrepanties tussen private en sociale rendementen. Belangrijke

²⁰ Zie ook CPB en CHEPS (2001).

onder-investeringen in R&D kunnen het gevolg zijn. De economische groei is dan lager dan de maatschappelijk optimale groeivoet. Maar ook kennis is niet een volledig publiek goed, en de laatste tijd komt er meer aandacht voor *tacit knowledge* en andere vormen van kennis die moeilijker zijn over te dragen. Bij *tacit knowledge* gebeurt kennisoverdracht door persoonlijk contact, zodat fysieke afstand van belang is voor de intensiteit van *knowledge spillovers*. Het onderscheid tussen *codified* en *tacit knowledge* heeft belangrijke implicaties voor beleid. *Tacit knowledge* introduceert een ruimtelijk element in R&D-beleid, bijvoorbeeld gericht op stimulering van regionale kennisclusters ("Veldhoven valley").

Tenslotte zijn mogelijke indirecte effecten van onderwijs en R&D op de economische groei aan de orde gekomen. Deze inhaalgroei kan optreden door (absolute en conditionele) convergentie, de aanwezigheid van sociaal kapitaal, technologie-adoptie en interactie tussen onderwijs en technologie. Overheidssubsidiëring kan private rendementen dichter in de buurt brengen van het sociale rendement wanneer inhaalgroei (bijvoorbeeld ten gevolge van adoptie van buitenlandse technologie) ten goede komt aan de maatschappij als geheel.

Meer inzicht in het kwantitatieve belang van de afzonderlijke transmissiemechanismen is nodig voordat concrete beleidsimplicaties kunnen worden gepresenteerd. Centrale vraag hierbij dient te zijn hoe groot de private en sociale rendementen van onderwijs en R&D zijn. Een extra complicerende factor in dit geheel is dat er meerdere redenen kunnen zijn waardoor private en sociale rendementen van elkaar afwijken, en een kleine discrepantie tussen beide rendementen betekent niet automatisch dat externe effecten geen rol van betekenis spelen.

We sluiten af met twee cijfervoorbeeldjes. De la Fuente en Doménech (2000) vinden een productie-elasticiteit van menselijk kapitaal van ongeveer 0,27. Een stijging van de voorraad menselijk kapitaal met 1% vertaalt zich dan in een toename van de economische groei met 0,27%. Een rendement van menselijk kapitaal van 10% impliceert dan een Y/H -verhouding van 0,37. Bij een Nederlands Bruto Binnenlands Product van 374 miljard euro (1999) volgt dan een voorraad menselijk kapitaal van 1010 miljard euro. Bij een beroepsbevolking van 7,4 miljoen mensen vinden we een gemiddelde hoeveelheid menselijk kapitaal per hoofd van 137000 euro. Een toename van de totale hoeveelheid menselijk kapitaal met 1 miljard euro (zo'n 0,1%) resulteert dan in een stijging van het BBP met 100 miljoen euro (0,027% van het BBP). Dit betekent overigens niet dat een toename van de overheidsbestedingen aan onderwijs met 1 miljard euro zal leiden tot een toename van het BBP met 100 miljoen euro, omdat er weinig bekend is over de productiefunctie van menselijk kapitaal. Zowel kwaliteit als kwantiteit speelt een rol. Kwaliteit is wellicht meetbaar aan de hand van testcores en kwantiteit wordt normaliter gerelateerd aan onderwijsdeelname. In een hoogontwikkelde economie zoals die van Nederland is het plafond van de onderwijsdeelname zo langzamerhand wel bereikt (hoewel nog veel inspanningen nodig zijn om het aantal uitvallers te verminderen, met name in het VO), en zal

wellicht meer moeten worden ingezet op kwaliteit. De recente studie van Hanushek en Kimko (2000) bevestigt het nut van zo'n kwaliteitsstrategie.

Een vergelijkbare exercitie kan worden uitgevoerd voor R&D-investeringen. Schattingen van de productie-elasticiteit variëren behoorlijk (vgl. Tabel 3.1), maar laten we als min of meer representatieve schatting 0,1 nemen. Ook de schattingen voor de private en sociale rendementen lopen sterk uiteen. Gezien het vermoeden dat studies die geen rekening houden met complementaire innovatieve uitgaven resulteren in overschattingen van (private en sociale) rendementen (zie Annex) hebben we een voorkeur voor conservatieve rendementen en kiezen we 20% als schatting voor het sociale rendement van innovatieve investeringen. In dat geval komen we uit op een Y/K -verhouding van 2, waarbij K de ideeënvoorraad representeert. Een toename van de totale hoeveelheid R&D-kapitaal met 1 miljard euro (zo'n 0,13%) resulteert dan in een stijging van het BBP met 50 miljoen euro (0,013% van het BBP). Tabel 5.1 vat de cijfervoorbeelden samen.

Tabel 5.1 Samenvatting cijfervoorbeelden

Impuls	Verwachte verandering van Nederlands BBP
1 miljard euro meer menselijk kapitaal	100 miljoen euro
1 miljard euro meer R&D-kapitaal	50 miljoen euro

Annex: R&D-uitgaven en complementaire innovatieve bestedingen

Uitgaven aan “harde” R&D moeten vaak gepaard gaan met allerlei complementaire innovatieve bestedingen voordat een nieuw product succesvol op de markt kan worden gezet. Hierbij kan gedacht worden aan marketinguitgaven, opleidingen, licenties, etc. Bij schattingen van het rendement van R&D worden zulke additionele uitgaven normaliter niet in beschouwing genomen. Dit zou betekenen dat het rendement van harde R&D een vertekend beeld geeft van het rendement van de totale innovatieve uitgaven. Ook schattingen van de R&D-elasticiteit kunnen vertekend zijn, maar wanneer R&D uitgaven en overige innovatieve uitgaven proportioneel zijn gerelateerd dan geldt dat de productie-elasticiteit van R&D-uitgaven gelijk is aan de productie-elasticiteit van de overige uitgaven. Stel bijvoorbeeld dat R&D uitgaven (“RD”) een fractie f van de overige innovatieve uitgaven (“O”) vormen. De elasticiteit wordt dan gegeven door

$$\frac{\partial Y}{\partial RD} \frac{RD}{Y} = \frac{\partial Y}{\partial fO} \frac{fO}{Y} = \frac{\partial Y}{\partial O} \frac{O}{Y}$$

Bij rendementsschattingen van R&D is de invloed van complementaire innovatieve uitgaven weer te geven door

$$\frac{\partial Y}{\partial RD} = \frac{\partial Y}{\partial fO} = f^{-1} \frac{\partial Y}{\partial O}$$

Het rendement op de totale innovatieve uitgaven wordt bepaald door

$$\frac{\partial Y}{\partial (RD + O)} = \frac{\partial Y}{\partial (1 + f^{-1})RD} = \frac{f}{1 + f} \frac{\partial Y}{\partial RD}$$

In woorden, het rendement op de totale innovatieve uitgaven is gelijk aan een fractie $f/(1 + f)$ van het rendement op R&D.

We maken gebruik van data van het CBS (Tabel 4.1.4.1. in *Kennis en Economie 2000*) om de relatie tussen R&D uitgaven en overige innovatieve uitgaven te onderzoeken. Resultaten staan vermeld in Tabel A.1 en Tabel A.2. Afhankelijke variabele is in alle gevallen de uitgaven aan eigen onderzoek, welke kan worden geïnterpreteerd als pure R&D. De onafhankelijke variabele is de post overige innovatieve uitgaven, en wordt gevormd door de som van uitgaven aan inkoop van apparatuur, uitbesteed onderzoek, industrieel ontwerp, licenties, marketing en opleidingen.

Tabel A.1 presenteert de uitkomsten van kleinste kwadratenschattingen waarbij een constante term in het regressiemodel is opgenomen. In vergelijkingen (1)–(3) wordt een lineaire specificatie opgelegd, terwijl in (4)–(6) ook een kwadratische term is opgenomen. (1) en (4) bevatten alle waarnemingen, en in de overige modellen maken we onderscheid tussen industrie (2 & 5) en diensten (3 & 6). De geschatte waarde voor f ligt tussen de 0,21 en 1,84, en is in bijna alle gevallen statistisch significant (t -waarde groter dan 2). De constante term wijkt in alle gevallen niet significant van nul af. Vergelijkingen (1)–(3) suggereren dat $RD=fO$ een

redelijke benadering vormt voor de relatie tussen R&D uitgaven en overige innovatieve uitgaven, ondanks aanzienlijke verschillen in de schattingsresultaten voor de industrie en de dienstensector. Bij zo'n proportioneel verband tussen beide innovatieve bestedingen is er geen bron van vertekening in de schatting van de R&D-elasticiteit. Echter, zoals (4)–(6) laten zien, is mogelijk sprake van een niet-lineair verband tussen R&D en overige innovatieve uitgaven. De kwadratische term verschijnt met een significant negatieve coëfficiënt in vergelijking (4), maar met een insignificante coëfficiënt voor de afzonderlijke sectoren. De mogelijke aanwezigheid van een niet-lineair verband tussen eigen onderzoek en overige uitgaven kan aanleiding geven tot vertekening van schattingen van de R&D-elasticiteit. Om te onderzoeken of opname van een kwadratische term in econometrisch opzicht iets toevoegt maken we gebruik van de *F statistic*. Voor de totale dataset bedraagt deze *F statistic* 4,36 terwijl de kritieke *F statistic* gelijk is aan 7,64 (1% significantieniveau). Opname van de kwadratische term voegt dan ook in econometrisch opzicht te weinig toe aan de resultaten zodat vergelijking (1) het geprefereerde model is.

In Tabel A.2 worden de schattingen uit Tabel A.1 herhaald waarbij de constante term wordt weggelaten zodat proportionaliteit tussen *RD* en *O* wordt opgelegd (afgezien van de kwadratische term). Opnieuw hebben we met de *F statistic* de toevoeging van de kwadratische term gecontroleerd en ook hier wordt de lineaire specificatie geprefereerd. De schattingen suggereren dat *f* kan variëren van 0,25 tot 1,41. Bij deze variatie van *f* vinden we dat het rendement op de totale uitgaven 20%-59% van het rendement op R&D bedraagt.

R&D en complementaire innovatieve uitgaven, I						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	Totaal	Industrie	Diensten	Totaal	Industrie	Diensten
<i>c</i>	98,8 (0,82)	-159,8 (-0,78)	43,9 (1,06)	-179,1 (-1,01)	31,5 (0,09)	-42,8 (-0,65)
<i>O</i>	0,47 (2,17)	1,71 (3,56)	0,21 (3,45)	1,84 (2,63)	0,51 (0,28)	0,58 (2,47)
<i>O</i> ²	–	–	–	-0,0009 (-2,05)	0,001 (0,68)	-0,0002 (-1,63)
<i>R</i> ²	0,14	0,49	0,57	0,26	0,51	0,68
<i>N</i>	30	15	11	30	15	11
Noot: <i>N</i> is het aantal waarnemingen; <i>t</i> -waarden staan tussen haakjes.						

R&D en complementaire innovatieve uitgaven, II

	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
	Totaal	Industrie	Diensten	Totaal	Industrie	Diensten
c	—	—	—	—	—	—
O	0,60 (4,14)	1,41 (4,99)	0,25 (6,3)	1,23 (3,55)	0,66 (0,87)	0,44 (4,32)
O ²	—	—	—	-0,0006 (-1,98)	0,001 (1,06)	-0,0001 (-1,94)
R ²	0,12	0,47	0,52	0,23	0,51	0,66
N	30	15	11	30	15	11

Noot: N is het aantal waarnemingen; t-waarden staan tussen haakjes.

Dit vermoeden dat rendementsschattingen kunnen zijn vertekend is niet nieuw. Zo vinden ook Yang en Brynjolfsson (2001) dat het rendement van R&D opwaarts wordt vertekend wanneer complementaire innovatieve uitgaven buiten beschouwing worden gelaten.²¹

De vertekening hangt af van de vorm van de productiefunctie. In bovenstaande berekening is uitgegaan van een productiefunctie van het type $Y = F(K, L, (O + RD))$, zodat het rendement van innovatieve uitgaven wordt bepaald door $\partial Y / \partial (RD + O)$. Wanneer de productiefunctie echter wordt beschreven door $Y = F(K, L, O, RD)$ dan zijn O en RD onderling niet meer perfect substitueerbaar en is de relatie tussen het rendement op R&D en het rendement op de totale innovatieve uitgaven ingewikkelder. Nader onderzoek moet uitwijzen in hoeverre de bestaande rendementsschattingen moeten worden bijgesteld wanneer met beide bronnen van vertekening rekening wordt gehouden.

Concluderend, we hebben gevonden dat de relatie tussen R&D en complementaire innovatieve uitgaven kan worden beschreven door een proportioneel verband. Dit impliceert dat weglating van complementaire uitgaven bij geschatte R&D-elasticiteiten geen belangrijke bron van vertekening vormt. Echter, bij rendementsschattingen speelt vertekening wel een belangrijke rol. Er is sprake van een sterke opwaartse vertekening van het rendement op innovatieve bestedingen wanneer alleen pure R&D in beschouwing wordt genomen. Feitelijke rendementen op innovatieve bestedingen bedragen 1/5 tot 3/5 van rendementsschattingen van pure R&D-uitgaven.

²¹ Een andere referentie is Schankerman (1981), waarin het effect van dubbeltellingen van R&D wordt onderzocht (wanneer R&D-personeel en R&D-kapitaal worden meegenomen zowel in de productiefunctie als in de uitgaven voor R&D). Dit leidt tot een neerwaartse vertekening van het rendement van R&D in de orde van grootte van 25-85%.

Referenties

- Abramovitz, M. (1990), "The catch-up factor in postwar economic growth", *Economic Inquiry*, 28, 1-18.
- Acemoglu, D., en J. Angrist (1999), "How large are the social returns to education? Evidence from compulsory schooling laws", *NBER Working Paper*, Nr. 7444.
- Adams, J.D. (2001), "Comparative localization of academic and industrial spillovers", *NBER Working Paper*, Nr. 8292.
- Ahituv, A., en J. Zeira (2000), "Technical progress and early retirement", *CEPR Discussion Paper*, Nr. 2614.
- Aghion, P., en P. Howitt (1992), "A model of growth through creative destruction", *Econometrica*, 60(2), 323-351.
- Baily, M.N. (1993), "Competition, regulation, and efficiency in service industries", *Brookings Papers on Economic Activity, Microeconomics*, 2, 71-130.
- Baily, M.N., en H. Gersbach (1995), "Efficiency in manufacturing and the need for global competition", *Brookings Papers on Economic Activity, Microeconomics*, 4, 307-347.
- Barro, R.J. (1991), "Economic growth in a cross section of countries", *Quarterly Journal of Economics*, 106, 407-443.
- Barro, R.J., en J.W. Lee (1996), "International measures of schooling years and schooling quality", *American Economic Review Papers and Proceedings*, 86, 218-223.
- Barro, R.J., en X. Sala-i-Martin (1995), *Economic Growth*, McGraw-Hill, Inc., New York.
- Bassanini, A., en S. Scarpetta (2001), "Does human capital matter for growth in OECD countries? Evidence from pooled mean-group estimates", *OECD Economics Department Working Paper*, Nr. 282.
- Baumol, W.J. (1986), "Productivity growth, convergence, and welfare: What the long-run data show", *American Economic Review*, 76, 1072-1085.
- Baumol, W.J., en E.N. Wolff (1988), "Productivity growth, convergence, and welfare: Reply", *American Economic Review*, 78, 1155-1159.
- Becker, G.S. (1964), *Human capital: A theoretical and empirical analysis with special reference to education*, NBER, New York.
- Benhabib, J., en M.M. Spiegel (1994), "The role of human capital in economic development: Evidence from aggregate cross-country data", *Journal of Monetary Economics*, 34, 143-173.
- Beugelsdijk, S., en M. Cornet (2001), "Does proximity matter for knowledge spillovers in the Netherlands?", *Research Paper*, Nr. 0111, Centraal Bureau voor de Statistiek.
- Bils, M., en P.J. Klenow (2000), "Does schooling cause growth?", *American Economic Review*, 90(5), 1160-1183.

- Blundell, R., L. Dearden, C. Meghir, en B. Sianesi (1999), "Human capital investment: The returns from education and training to the individual, the firm and the economy", *Fiscal Studies*, 20(1), 1-23.
- Branstetter, L.G. (2001), "Are knowledge spillovers international or intranational in scope? Microeconomic evidence from the U.S. and Japan", *Journal of International Economics*, 53(1), 53-79.
- Cameron, G. (1998), "Innovation and growth: A survey of the empirical evidence", *Mimeo*, Nuffield College, Oxford.
- Canton, E. (2002), "Concurrentie en innovatie: Implicaties voor marktwerkingsbeleid. Literatuuroverzicht ten behoeve van de LT-studie van de afdeling Kenniseconomie", *CPB Memorandum*, Nr. 2, Centraal Planbureau.
- Canton, E., H.L.F. de Groot, en R. Nahujs (1999), "Vested interests and resistance to technology adoption", *CentER Discussion Paper*, Nr. 99106, te verschijnen in *European Journal of Political Economy*.
- Caselli, F., en W.J. Coleman (2001), "Cross-country technology diffusion: The case of computers", *American Economic Review*, 91(2), 328-335.
- Ciccone, A., en G. Peri (2000), "Human capital and externalities in cities", *CEPR Discussion Paper*, Nr. 2599.
- Coe, D.T., en E. Helpman (1995), "International R&D spillovers", *European Economic Review*, 39, 859-887.
- Cornet, M., E. Canton, en A. Hoen (2001), "Interpretatie van schattingen van het private en het sociale rendement van R&D", *CPB Memo*, 20-9-2001.
- Cornet, M., en M. Rensman (2001), "The location of R&D in the Netherlands: Trends, determinants and policy", *CPB Document*, Nr. 14, Centraal Planbureau.
- CPB en CHEPS (2001), *Higher Education Reform: Getting the Incentives Right*, Sdu Uitgevers, Den Haag.
- de la Fuente, A., en R. Doménech (2000), "Human capital in growth regressions: How much difference does data quality make?", *CEPR Discussion Paper*, Nr. 2466.
- de la Fuente, A., en R. Doménech (2001), "Schooling data, technological diffusion, and the neoclassical model", *American Economic Review Papers and Proceedings*, 91(2), 323-327.
- DeLong, J.B. (1988), "Productivity growth, convergence, and welfare: Comment", *American Economic Review*, 78, 1138-1154.
- Gemmel, N. (1997), "Externalities to higher education: a review of the new growth literature", http://www.leeds.ac.uk/ncihe/r8_129.htm.
- Griffith, R., S. Redding, en J. Van Reenen (2000), "Mapping the two faces of R&D: productivity growth in a panel of OECD industries", *Working Paper*, Nr. 02/00, Institute for Fiscal Studies.

- Hall, R.E., en C.I. Jones (1999), "Why do some countries produce so much more output per worker than others?", *Quarterly Journal of Economics*, 114(1), 83-116.
- Hanushek, E.A., en D.D. Kimko (2000), "Schooling, labor-force quality, and the growth of nations", *American Economic Review*, 90(5), 1184-1208.
- Heckman, J.J., en P.J. Klenow (1997), "Human capital policy", *Mimeo*, Universiteit van Chicago.
- Helpman, E., en A. Rangel (1999), "Adjusting to a new technology: experience and training", *Journal of Economic Growth*, 4(4), 359-383.
- Holmes, T.J., en J.A. Schmitz, Jr. (1994), "Resistance to change and trade between areas", *Research Department Staff Report*, Nr. 184, Federal Reserve Bank of Minneapolis.
- Jacobs, B., R. Nahuis, en P.J.G. Tang (2000), "Human capital, R&D, productivity growth and assimilation of technologies in the Netherlands", in: B. van Ark, S.K. Kuipers, en G.H. Kuper (red.), *Productivity, Technology and Economic Growth*, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Jones, C.I., en J.C. Williams (1998), "Measuring the social return to R&D", *Quarterly Journal of Economics*, 113(4), 1119-1135.
- Jovanovic, B. (1997), "Learning and growth", in: D.M. Kreps en K.F. Wallis (red.), *Advances in Economics and Econometrics; Theory and Applications*, Vol. II, Cambridge University Press, Cambridge.
- Keller, W. (2001), "The geography and channels of diffusion at the world's technology frontier", *NBER Working Paper*, Nr. 8150.
- Kinoshita, Y. (2001), "R&D and technology spillovers through fdi: Innovation and absorptive capacity", *CEPR Discussion Paper*, Nr. 2775.
- Klette, T.J., J. Møen, en Z. Griliches (2000), "Do subsidies to commercial R&D reduce market failures? Microeconomic evaluation studies", *Research Policy*, 29, 471-495.
- Krueger, A.B., en M. Lindahl (2000), "Education for growth: why and for whom?", *NBER Working Paper*, Nr. 7591.
- Levine, R., en D. Renelt (1992), "A sensitivity analysis of cross-country growth regressions", *American Economic Review*, 82, 942-963.
- Lucas, R.E. (1988), "On the mechanics of economic development", *Journal of Monetary Economics*, 22, 3-42.
- Mankiw, N.G., D. Romer, en D.N. Weil (1992), "A contribution to the empirics of economic growth", *Quarterly Journal of Economics*, 107(2), 407-437.
- Møen, J. (2000), "Is mobility of technical personnel a source of R&D spillovers?", *NBER Working Paper*, Nr. 7834.
- Murphy, K.M., A. Shleifer, en R.W. Vishny (1991), "The allocation of talent: Implications for growth", *Quarterly Journal of Economics*, 106(2), 503-530.
- Nahuis, R., E. Canton, en H. de Groot (2000), "Vested interests, ageing and growth", *CPB Report*, 2000/3, 44-47.

- Nelson, R., en E. Phelps (1966), "Investment in humans, technological diffusion, and economic growth", *American Economic Review: Papers and Proceedings*, 61, 69-75.
- Nonneman, W., en P. Vanhoudt (1996), "A further augmentation of the Solow model and the empirics of economic growth for the OECD countries", *Quarterly Journal of Economics*, 111(3), 943-953.
- Parente, S.L., en E.C. Prescott (1994), "Barriers to technology adoption and development", *Journal of Political Economy*, 102, 298-321.
- Porter, M.E., en S. Stern (2000), "Measuring the "ideas" production function: evidence from international patent output", *NBER Working Paper*, Nr. 7891.
- Poterba, J.M. (1996), "Demographic structure and the political economy of public education", *NBER Working Paper*, Nr. 5677.
- Pritchett, L. (1996), "Where has all the education gone?", *World Bank Policy Research Department Working Paper*, Nr. 1581.
- Quah, D. (1993), "Galton's fallacy and tests of the convergence hypothesis", *Scandinavian Journal of Economics*, 95(4), 427-443.
- Rauch, J.E. (1993), "Productivity gains from geographic concentration of human capital: evidence from the cities", *Journal of Urban Economics*, 34, 380-400.
- Redding, S. (1996), "The low-skill, low-quality trap: strategic complementarities between human capital and R&D", *Economic Journal*, 106, 458-470.
- Romer, P.M. (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.
- Sala-i-Martin, X. (1997), "I just ran four million regressions", *NBER Working Paper*, Nr. 6252.
- Schankerman, M. (1981), "The effects of double-counting and expensing on the measured returns to R&D", *Review of Economics and Statistics*, 63(3), 454-458.
- Schultz, T.W. (1961), "Investment in human capital", *American Economic Review*, 51, 1-17.
- Sianesi, B., en J. van Reenen (2000), "The returns to education: A review of the macro-economic literature", <http://cep.lse.ac.uk/cee/papers/papers.shtml>.
- Solow, R.M. (1956), "A contribution to the theory of economic growth", *Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65-94.
- Steel, J., en C. Sausman (1997), "The contribution of graduates to the economy: rates of return", http://www.leeds.ac.uk/ncihe/r7_o86.htm.
- Temple, J.R.W. (1999a), "The new growth evidence", *Journal of Economic Literature*, 37(1), 112-156.
- Temple, J.R.W. (1999b), "A positive effect of human capital on growth", *Economics Letters*, 65, 131-134.

- Temple, J.R.W. (2000), "Growth effects of education and social capital in the OECD", *Mimeo*, Nuffield College, Oxford, <http://www.nuff.ox.ac.uk/economics/growth/>.
- Tirole, J. (1988), *The Theory of Industrial Organization*, the MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Topel, R. (1999), "Labor markets and economic growth", hoofdstuk 44 in: O. Ashenfelter and D. Card (red.), *Handbook of Labor Economics, Volume 3*, Elsevier Science B.V.
- Uzawa, H. (1965), "Optimal technical change in an aggregative model of economic growth", *International Economic Review*, 6, 18-31.
- Venables, A.J. (2001), "Geography and international inequalities: The impact of new technologies", paper geschreven voor World Bank Annual Bank Conference on Development Economics, Washington, D.C., mei 2001.
- Venniker, R. (2000), "Social returns to education: A survey of recent literature on human capital externalities", *CPB Report*, Nr. 2001, 47-50.
- Weiss, A. (1995), "Human capital vs. signalling explanations of wages", *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), 133-154.
- Wolff, E.N. (2000), "Human capital investment and economic growth: Exploring the cross-country evidence", *Structural Change and Economic Dynamics*, 11, 433-472.
- Yang, S., en E. Brynjolfsson (2001), "Intangible assets and growth accounting: Evidence from computer investments", *Mimeo*, Massachusetts Institute of Technology.