



## Subsidies voor schone technologie nadelig voor milieu

**Auteur(s):**

Vries, F.P., de  
Nentjes, A.

*Frans de Vries en Andries Nentjes zijn verbonden aan de sectie Economie en Openbare Financiën van de Faculteit der Rechtsgeleerdheid, Rijksuniversiteit Groningen. Dit artikel is gebaseerd op 'An evolutionary perspective on technology diffusion and competitiveness under taxation and subsidies' en is beschikbaar via: [beheer.oprit.rug.nl/devries31/](http://beheer.oprit.rug.nl/devries31/).*

**Verschenen in:**

ESB, 86e jaargang, nr. 4316, pagina 528, 22 juni 2001

**Rubriek:****Trefwoord(en):**

*Milieusubsidies voor schone technologie leiden tot een grotere diffusie van die technologie. In imperfecte productmarkten kunnen de emissies daardoor echter toenemen. Wanneer meerdere bedrijven met de schone en de vuile technologie elkaar beconcurreren, stijgen door prijscompetitie de productie en daarmee de emissies. Dit effect is groter met subsidies dan zonder. Subsidiëring is dus niet bij elke marktform wenselijk.*

**Vanaf de jaren dat het milieuprobleem op de politieke agenda kwam (rond 1970) tekent zich in de discussie over economische groei en milieu een scheiding der geesten af tussen pessimisten en optimisten. De pessimisten, met representanten als Hueting en Pen, zien milieubehoud en productiegroei als water en vuur. De optimisten - de tweede auteur van dit artikel heeft zich tot nu toe hardnekkig tot die richting bekend - menen dat de milieutechnische vooruitgang ons kan redden mits er een wilskrachtig milieubeleid met veel marktwerking wordt gevoerd. Een recente studie van het CPB gaat nog een stap verder: de daling van emissies op een aantal gebieden zou meer te danken zijn aan tamelijk autonome technologische ontwikkelingen dan aan het geleverde milieubeleid<sup>1</sup>. De vraag of 'duurzame groei' mogelijk is en hoe de relaties tussen productiegroei, innovatie, diffusie en milieuvervuiling zich verhouden, ligt na al die decennia van meningsverschil nog steeds op tafel.**

In dit artikel willen we dit oude maar immer terugkomende vraagstuk op een 'innovatieve' manier benaderen door de evolutionaire speltheorie toe te passen op de diffusie van milieuvriendelijke productinnovatie. Er zal worden geanalyseerd of en in welke mate milieubeleid daarin een rol speelt. In het bijzonder richten we ons op het subsidie instrument. Subsidies, zoals de 'Regeling willekeurige afschrijving milieu-investeringen' (VAMIL-regeling), energie-investeringsaftrek (EIA) en de milieu-investeringsaftrek (MIA), zijn in Nederland bij uitstek de instrumenten om innovaties, investeringen in energiebesparing en diffusie van schonere en energie-efficiënte productietechnologieën te bevorderen die vervolgens tot een schoner milieu zouden moeten leiden. Daarnaast worden vooral in het kader van het klimaatbeleid subsidies op 'schone' energie-efficiënte producten, zoals bijvoorbeeld hoogrendementsketels, verstrekt.

In een simplistische gedachtegang zou men voorstander van zo'n beleid kunnen zijn in de verwachting dat een snellere en grotere penetratie van schone technologie ook wel de totale emissies zal verminderen. Maar doen ze dat nu daadwerkelijk ook? Dit is de kernvraag van dit artikel.

De genoemde vraag is op zich niet nieuw. Wel nieuw is in de eerste plaats de manier waarop het probleem wordt onderzocht, namelijk met behulp van de evolutionaire speltheorie, waardoor een beter inzicht wordt gekregen in de economische dynamiek achter de diffusie van schone technologie. Bovendien richten de meeste studies die de invloed van instrumenten van milieubeleid op diffusie van schone technologie analyseren zich op markten van volledige mededinging. Onder economen heerst consensus dat marktgeoriënteerde instrumenten zoals heffingen, subsidies en verhandelbare emissierechten superieur zijn aan directe regelgeving als stimulans voor innovatie in geval van volledig competitieve markten. Echter, het is minder eenduidig in welke mate de verschillende instrumenten de diffusie van schone technologie binnen oligopolistische markten stimuleren<sup>2</sup>. Dit onderzoeksterrein ligt dan ook nog voor een groot gedeelte braak. Daarom gaan we in dit artikel uit van een markt waarop de bedrijven concurreren op een productmarkt à la Cournot.

### Evolutionaire spelen

Een evolutionair spel is een model dat dynamische strategische interactie analyseert. De oorsprong van de theorie is te vinden in het vakgebied van de evolutionaire biologie waar de theorie wordt gebruikt om de geschiktheid (ofwel 'fitness') van biologische eigenschappen of gedrag van individuen binnen populaties van diersoorten te bepalen<sup>3</sup>. In dit geval vloeit strategische interactie voort uit het feit dat de geschiktheid van een bepaald type gedrag niet alleen afhankelijk is van de natuurlijke leefomgeving maar ook van gedrag (en alternatief gedrag) dat binnen de populatie van individuen heerst. De geschiktheid bepaalt de overlevingskansen in het proces van natuurlijke selectie.

Economische toepassingen van evolutionaire speltheorie zijn nog niet echt veelvuldig te vinden. Dat terwijl begin jaren negentig de Amerikaanse econoom Daniel Friedman al een raamwerk ontwikkeld had dat geschikt is voor economische toepassingen<sup>4</sup>. In een meer recente studie geeft hij aan aan welke criteria moet worden voldaan om evolutionaire speltheorie te kunnen toepassen<sup>5</sup>.

» monotonie: strategieën met een lagere opbrengst worden vervangen door strategieën met een hogere opbrengst;

» inertie;

» spelers nemen huidig en toekomstig gedrag van andere spelers als gegeven.

De eerste eigenschap representeert het 'survival of the fittest' argument zoals bekend in de evolutionaire biologie. De tweede eigenschap geeft het onderscheid weer tussen evolutie en revolutie. Dit impliceert dat geaggregeerd gedrag niet te abrupt verandert; het aanpassingsproces is gradueel. De derde eigenschap betekent dat de toekomst onbekend is. Spelers kunnen niet vooruit zien en baseren zich op de waarnemingen van het heden. Kortom, er is sprake van kortzichtig gedrag.

Deze drie eigenschappen tezamen leggen de basis voor 'natuurlijke selectie'. Kortzichtig gedrag dat succesvol blijkt te zijn, verdringt het kortzichtige niet succesvolle gedragstype. Evolutionaire speltheorie geeft daardoor inzicht in het aanpassingsproces van spelers aan de continue veranderende omstandigheden waarin zij verkeren. Gegeven de kenmerkende veronderstellingen van evolutionaire speltheorie zoals hierboven geschetst, kan zij antwoord geven op *hoe* en *wanneer* een eventueel evenwicht wordt bereikt. In dit artikel ligt het accent op de eerste vraag.

De neo-klassieke evenwichtstheorie geeft uitdrukkelijk geen inzicht in de weg waarlangs het evenwicht tot stand komt. Er is geen sprake van inertie en monotonie, maar veelal een extreme vorm van onbeperkte rationaliteit. De theorie van de herhaalde spelen veronderstelt dat spelers helderziend zijn en in de toekomst andere spelers systematisch trachten te beïnvloeden. Vanwege deze verschillen is Friedman van mening dat de evolutionaire speltheorie meer adequate voorspellingen kan genereren dan de reguliere speltheorie<sup>6</sup>.

### Model en diffusieproces

Het model beschrijft de diffusie van een schone productietechnologie als een evolutionair proces. De innovatie zelf wordt als gegeven beschouwd. Ze zou het gevolg kunnen zijn van het zoeken naar lagere productiekosten. Daarin is men dan geslaagd: er ligt een octrooi dat beschrijft hoe een bestaand product op een meer materiaalzuinige wijze, bijvoorbeeld met minder energieverbruik en daardoor met minder emissies per eenheid product, kan worden voortgebracht. Door onder andere materiaalbesparingen zijn de gemiddelde variabele kosten lager, maar daar tegenover zijn de totale vaste kosten inclusief de uitgaven voor verwerving van de licentie hoger. Laten we er eenvoudigheidshalve vanuit gaan dat de variabele kosten lineair zijn ten aanzien van de individuele productie.

Het milieu-innovatieve product heeft voor de verbruiker een milieuvriendelijk imago. De twee producten kunnen worden gezien als imperfecte substituten. In dit artikel veronderstellen we dus geen homogene productmarkt maar een heterogeen oligopolie. Dit komt tot uitdrukking in twee onderscheiden vraagcurven. De prijsniveau's zijn een functie van de geaggregeerde productie van de ondernemingen die het betreffende product voortbrengen. Omdat de analyse zich concentreert op de kostenkant is ervan uitgegaan dat de directe en kruislingse prijselasticiteit van de twee vraagcurven identiek zijn. De intercepten van de vraagfuncties kunnen wel verschillend zijn.

Op de twee markten tezamen opereren in totaal  $N$  ondernemingen die met elkaar concurreren als Cournot oligopolisten. Een fractie  $s$  van de bedrijven gaat over tot de productie van het innovatieve product. Er geldt dus dat de geaggregeerde vuile productie afhankelijk is van de diffusiegraad  $s$ ,  $N$  en de optimale individuele productie welke ook afhankelijk is van de diffusiegraad. Hetzelfde geldt voor de geaggregeerde schone productie.

De kernvraag van het model is hoe  $s$  zich in de loop van de tijd zal ontwikkelen, of en zo ja op welke waarde  $s$  zich zal stabiliseren en welke consequenties dit alles heeft voor de groei van de productie en vervolgens de vervuiling. Met betrekking tot de emissies veronderstellen we eenvoudigheidshalve dat ze proportioneel toenemen met de totale productie. Maar de emissies per eenheid product via schone technologie zijn lager dan in geval van productie met de vuile technologie.

### Diffusie

We gaan ervan uit dat ondernemingen hun winst maximaliseren gegeven het aantal ondernemingen dat het vuile product produceert, respectievelijk het schone product voortbrengt. Cournot-oligopolistisch gedrag impliceert dat bij het kiezen van het productievolume het aanbod van de concurrenten bekend is en als gegeven wordt beschouwd<sup>7</sup>. De markt brengt via momentane prijsaanpassing het evenwicht tussen vraag en aanbod tot stand.

De evolutionaire speltheorie wordt in de analyse betrokken via de analyse van verandering in het aantal ondernemingen dat het vuile, respectievelijk het schone product produceert. Als de winst van de ondernemingen die het schone product leveren groter is dan van de ondernemingen die het vuile product voortbrengen, neemt  $s$  toe en omgekeerd. Het omschakelen van vuile naar schone productie of van schoon naar vuil is een vorm van kortzichtig gedrag. De onderneming die van productietechnologie verandert, doet dat op grond van het huidige verschil in winst, zij moet maar afwachten of na de omschakeling het oorspronkelijke voordelige verschil nog bestaat. In de verandering van  $s$  komt het eerder genoemde monotonie-principe tot uitdrukking.

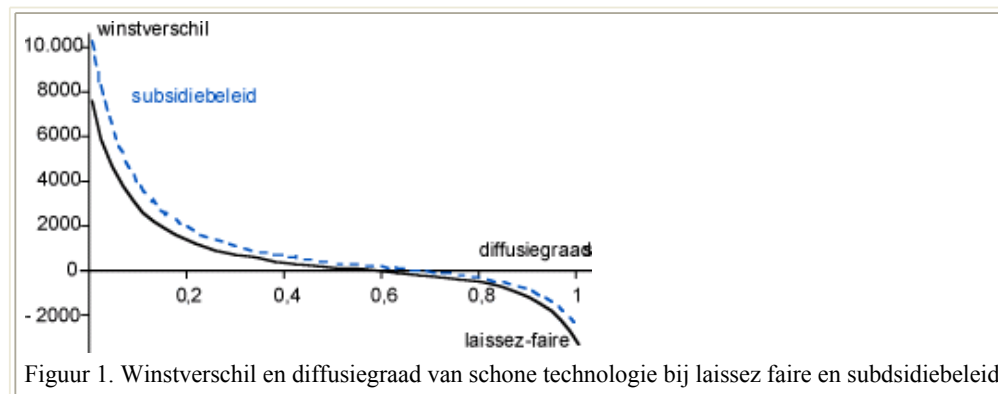
Zijn nu de uitkomsten voor het milieu in termen van emissies te verbeteren door een subsidie te verstrekken op het schone product? Via een numerieke analyse geven we een antwoord op deze vraag.

### Grottere diffusie van schone technologie...

We beperken ons tot een analyse van twee verschillende vormen van beleid. In de eerste variant wordt simpelweg geen milieubeleid gevoerd (*laissez-faire regime*). Dit beleidsregime wordt als basis genomen. Hierop kunnen we de gevolgen projecteren voor de tweede vorm van milieubeleid, namelijk een subsidie per eenheid emissiereductie die in feite neerkomt op een subsidie op schone producten<sup>8</sup>. Hieronder volgt nu een overzicht van de gevolgen van de subsidieverstrekking met betrekking tot de graad van diffusie, de

geaggregeerde productie en de totale hoeveelheid emissies binnen de industrie. Het numerieke model is weergegeven in het kader, waarbij subscript 1 en 2 het vuile respectievelijk het schone product weergeven.

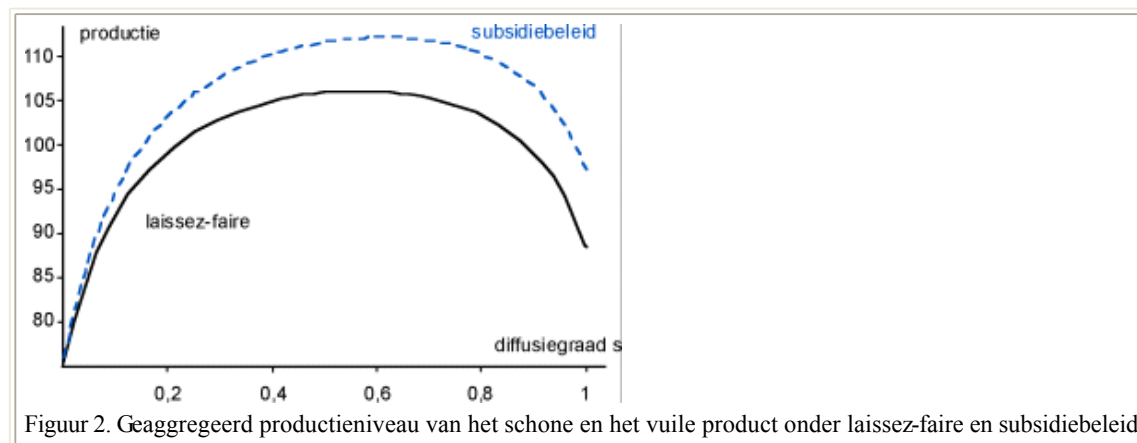
[figuur 1](#) geeft de relatie weer tussen de graad van diffusie en de meerwinst per onderneming die het schone product voortbrengt ten opzichte van de ondernemingswinst gemaakt op het vuile product. Uit [figuur 1](#) blijkt dat een subsidie tot een hogere penetratiegraad leidt dan wanneer geen milieubeleid wordt gevoerd: het winstverschil bij laissez faire en subsidie is nihil bij  $s^* = 0,58$  respectievelijk  $s^* = 0,67$ . Milieubeleid in de vorm van subsidie stimuleert dus diffusie van schone producttechnologie. Voor beide beleidsregimes geldt dat het winstverschil dalend is in de graad van diffusie. Bij lage penetratie van de schone technologie is de meerwinst positief. Dit komt doordat bij Cournot-oligopolie een geringer aantal aanbieders grotere winstmarges toelaat. Naarmate de graad van diffusie stijgt, daalt de prijs van het schone product en stijgen prijs en productie van het vuile product per onderneming. Bijgevolg slinkt het positieve winstverschil en slaat vervolgens om in een negatief verschil.



Het is evident dat wanneer het winstverschil nihil is er voor de bedrijven geen prikkel bestaat om over te stappen op de andere technologie. De graad van diffusie waarbij dit het geval is, is dan een Nash-evenwicht. Bij een positief winstverschil (links van het Nash evenwicht) neemt diffusie toe en in het geval van een negatief winstverschil (rechts van het Nash evenwicht) daalt de graad van diffusie. Het interne Nash-evenwicht is dus stabiel. Zo'n evenwicht is dan een zogenaamd evolutionair evenwicht<sup>9</sup>. Een eerste conclusie is dus dat de subsidie op schone producten leidt tot een evolutionair stabiel evenwicht met, gerekend naar aantal ondernemingen, een hogere penetratiegraad dan bereikt wordt zonder subsidie.

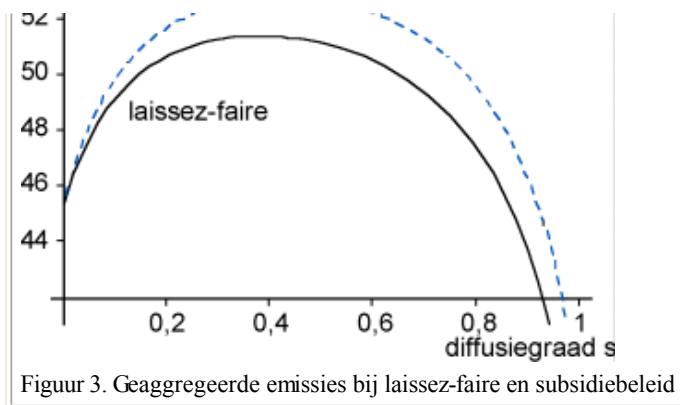
### ...maar ook meer productie

In [figuur 2](#) staan de geaggregeerde productieniveaus binnen de industrie. Dit is de som van de totale productie van alle bedrijven die het schone en alle bedrijven die het vuile product produceren. In de allereerste plaats blijkt dat in de eerste fase van het diffusieproces, met winstvoordeel voor bedrijven die omschakelen naar de schone technologie, de totale productie toeneemt. Verder blijkt dat in het evolutionaire evenwicht de totale productie onder het subsidie regime groter is dan bij laissez-faire. Subsidies stimuleren de productie.



### ...en daarom meer emissies

Om de analyse transparant te houden veronderstellen we dat de vervuiling ook lineair is in de productie en de hoeveelheid emissies per eenheid productie zijn voor het schone product het laagst. In [figuur 3](#) zien we tenslotte de consequenties van het diffusieproces voor de vervuiling. In eerste instantie nemen de totale emissies toe bij een toename van diffusie. Pas in een latere fase wordt de vervuiling minder. De toename van vervuiling in de eerste fase is te verklaren door de vraagzijde van het model. Wanneer beide typen goederen worden geproduceerd door meerdere bedrijven valt via het mechanisme van prijscompetitie de evenwichtsprijs lager uit en wordt er meer geconsumeerd dan wanneer slechts één goed wordt geproduceerd door dezelfde hoeveelheid bedrijven. Dit productie-effect van innovatie en diffusie domineert het substitutie-effect van vuile naar schone producten. Het resultaat is dat milieu-innovatie en diffusie leidt tot grotere vervuiling. Niet alleen in het evolutionair stabiele evenwicht bij een laissez-faire regime, maar in sterkere mate nog bij subsidiëring van schone producten. [figuur 3](#) laat zien dat onder beide beleidsregimes de vervuiling in het evolutionaire evenwicht hoger is dan wanneer alle bedrijven via de vuile technologie produceren of alle bedrijven schoon produceren. Echter, deze gunstige situaties worden onder de gegeven marktcondities niet bereikt.



Figuur 3. Geaggregeerde emissies bij laissez-faire en subsidiebeleid

### Conclusie

In dit artikel zijn we ingegaan op de vraag of subsidies een positieve invloed hebben op de keuze van bedrijven om over te stappen naar het gebruik van een energie-efficiënte technologie. Hierbij hebben we onze aandacht gericht op imperfecte productmarkten. Het blijkt dat bij zo'n marktformule de diffusie wordt gestimuleerd wanneer subsidies worden geïntroduceerd. De literatuur op het gebied van instrumentkeuze en diffusie op volledig competitieve markten geeft hetzelfde effect weer. Echter, in het geval van een imperfecte productmarkt wordt door de introductie van subsidies de productie op zo'n manier gestimuleerd dat ze hoger uitvalt dan onder een laissez-faire regime. Door deze productietoename zullen ook de totale emissies onder subsidies hoger zijn dan onder een laissez-faire regime.

Onder beide beleidsregimes vertonen de totale emissies een stijgende tendens in de eerste fase van diffusie van de schone technologie. Wanneer de schone technologie door een bepaald aantal bedrijven binnen de industrie wordt toegepast, is de totale hoeveelheid emissies groter dan wanneer alle bedrijven via de oude of vuile technologie produceren. Dus bij een voldoende mate van heterogeniteit hoeft diffusie van de energie-efficiënte technologie niet tot een lager volume van emissies te leiden. Als beide type goederen door meerdere bedrijven worden geproduceerd zorgt prijscompetitie voor een lagere evenwichtsprijs welke vervolgens tot meer consumptie leidt. Dit effect doet zich niet voor indien slechts één type product door meerdere bedrijven op de markt wordt gebracht.

Het 'blindelings' verstrekken van subsidies op schone producten zonder rekening te houden met de marktcondities kan dus tot gevolg hebben dat de vervuiling toeneemt in plaats van vermindert.

Zie voor numerieke model [figuur 4](#)

<p><b>prijsniveaus</b></p> $p_1 = 175 - 2X_1 - 0,98 X_2$ $p_2 = 200 - 2X_2 - 0,98 X_1$ <p>met <math>X_1 = (1 - s)N x_1</math> en <math>X_2 = s N x_2</math></p> <p><b>geaggregeerde emissies</b></p> $E_1 = (1 - s) Ne_1$ $E_2 = s Ne_2$ <p>met de individuele emissies</p> $e_1 = 0,6 x_1 \quad e_2 = 0,4 x_2$ <p><b>totale kosten</b></p> $TK_1 = 30 + 5x_1$ $TK_2 = 130 + x_2 - br$ <p>met emissiereductie <math>r = (0,6 - 0,4)x</math>  en de subsidie per eenheid  emissiereductie <math>b = 100</math></p> <p><b>N = 8</b></p>	<p>Figuur 4. Numeriek model. Gehanteerde numerieke model ter berekening van de graad van diffusie van schone technologie in een heterogeen oligopolie. Hierin staat het subscript 1 voor de vuile technologie en subscript 2 voor de schone technologie.</p>
---	--

2 A.B. Jaffe, R.G. Newell en R.N. Stavins, *Technological change and the environment*, NBER working paper nr. 7970, Cambridge MA, 2000 (verschijnt ook in *Handbook of Environmental Economics*, North-Holland/Elsevier Science).

3 J. Maynard Smith, *Evolution and the theory of games*, Cambridge University Press, Cambridge, 1982.

4 D. Friedman, Evolutionary games in economics, *Econometrica*, mei 1991, blz. 637-666.

5 D. Friedman, On economic applications of evolutionary game theory, *Journal of Evolutionary Economics*, nr. 8, 1998, blz. 15-43.

6 Friedman, *op. cit.*, 1998.

7 Dit zijn de reactiefuncties in een Cournot-oligopolie.

8 De VAMIL-regeling, EIA en MIA zijn een vorm van lump-sum subsidie. Een lump-sum subsidie kan vrij eenvoudig als een constante worden ingevoerd in het model. Uiteraard hebben we simulaties uitgevoerd met een lump-sum subsidie, maar de uitkomsten voor het aanpassingsproces zijn kwalitatief hetzelfde als onder een subsidie per eenheid emissiereductie.

9 J. Hirshleifer, Evolutionary models in economics and law: cooperation versus conflict strategies, *Research in Law and Economics*, 1982, blz. 1-60.