
NEMO: CPB's energievraagmodel tussen *top-down* en *bottom-up*

PETER MULDER*

Samenvatting

Dit artikel doet verslag van het doorrekenen van vier beleidsscenario's met behulp van NEMO, het Nederlandse energievraagmodel van het Centraal Planbureau (CPB). Uit de modelberekeningen blijkt dat een emissieheffing op CO₂ tot aanzienlijke effecten in termen van energiebesparing kan leiden, terwijl de effecten van een investeringssubsidie en een rentabiliteitsmaatregel naar verwachting zeer beperkt zullen zijn. Deze conclusies zijn echter gebonden aan de beperkte mogelijkheden om genoemde beleidsmaatregelen in NEMO expliciet door te rekenen. De belangrijkste reden hiervoor is dat NEMO een top-down model is waarin micro-economische en technologische bottom-up gegevens over technologieën noodzakelijkerwijs slechts op gestileerde wijze zijn opgenomen via geschatte trendparameters en elasticiteiten. De belangrijkste toegevoegde waarde van NEMO is dat het, door de koppeling met het economische bedrijfstakkenmodel ATHENA, geschikt is voor een analyse van het effect van milieubeleidsmaatregelen op het energiegebruik en de energievoorziening, alsook op de (macro-economische) kosten en de eventuele verschuiving in de sectorstructuur van de Nederlandse economie.

1 Introductie

De relatie tussen economische groei, energiegebruik en technologische ontwikkeling is ingewikkeld en dynamisch. Dat betekent dat het analyseren van deze relatie gebaat is bij een model waarin alle drie de elementen in hun onderlinge relatie zijn opgenomen. Het energievraagmodel NEMO, ontwikkeld door het Centraal Planbureau (CPB), is een dergelijk model voor Nederland. NEMO is een *top-down* model gebaseerd op *bottom-up* informatie, dat zich richt op het analyseren van energiegebruik in verschillende sectoren van de Nederlandse economie. De energievraag wordt in het model voornamelijk bepaald door economische groei en verschillende substitutiemogelijkheden tussen kapitaal, arbeid en energie in de productie op sectoraal niveau. Deze substitutiemogelijkheden worden op hun beurt bepaald

* Vrije Universiteit, Amsterdam. Deze bijdrage is grotendeels tot stand gekomen tijdens mijn verblijf op het CPB in het kader van mijn promotieonderzoek. Ik ben het CPB dank verschuldigd voor hun gastvrijheid. Ik dank Henri de Groot, Mark Lijesen en Raymond Florax voor nuttig commentaar op een eerdere versie van dit artikel.

door (relatieve) prijzen en energiebesparende technologische ontwikkeling, waarvoor de gegevens afkomstig zijn uit een bottom-up gegevensbestand voor nieuwe technologieën.

Met deze korte typering is ook direct de belangrijkste toegevoegde waarde van NEMO aangegeven: het model integreert gedetailleerde micro-economische en *MEI-engineering* gegevens van concrete technologieën in een macro-economisch model, dat bovendien gekoppeld is aan andere modellen van het CPB, namelijk het bedrijfstakkenmodel ATHENA, en het materiaalstromenmodel STREAM. Daardoor is NEMO, in tegenstelling tot de modellen MEI-Energie en SAVE van de andere planbureaus, geschikt voor een analyse van het effect van beleidsmaatregelen op zowel het energiegebruik alsook op de (macro-economische) kosten en eventuele sectorale verschuivingen van de productie binnen de Nederlandse economie. Een voorbeeld hiervan is de analyse van het effect van een verhoging en verbreding van de Regulerende Energie Belasting (REB) op het energiegebruik en de economie (zie Lijesen et al., 2001). Een ander voorbeeld betreft de analyse van het effect van een emissiehandelssysteem op milieu (energie) en economie. Het CPB heeft in 2002 een dergelijke analyse uitgevoerd op verzoek van de Commissie CO₂-handel (CPB, 2002). Daartoe is NEMO uitgebreid met een module waarin de prijs van CO₂-emissierechten wordt bepaald door het aanbod van en de vraag naar deze rechten, en waarbij vervolgens een stijgende prijs van emissierechten via een stijgende energieprijs van invloed is op de energiebesparing, substituties binnen de energievoorziening, en de (macro)economische doorwerking. Als belangrijkste nadeel van NEMO geldt dat het integreren van de bottom-up informatie in een top-down structuur noodzakelijkerwijs met zich mee brengt dat concrete technologieën geen zelfstandige rol spelen binnen het model, met als gevolg dat beleidsinstrumenten die zich direct richten op bepaalde technologieën niet of slechts met moeite kunnen worden geanalyseerd.

In het kader van een vergelijking van de verschillende Nederlandse beleidsmodellen met betrekking tot energiebesparing biedt dit artikel een beschrijving van de belangrijkste karakteristieken van NEMO inclusief de empirische onderbouwing, gevolgd door een verslag van het doorrekenen van vier beleidsscenario's met behulp van NEMO.

2 Karakteristieken van NEMO

2.1 Algemene modelschets

NEMO is een energievraagmodel voor de Nederlandse economie, waarbij onderscheid gemaakt wordt tussen 20 sectoren, waaronder 14 industriële sectoren, diensten, transport, land- en tuinbouw, overheid en huishoudens (zie Tabel A1 in de Appendix). NEMO is een *top-down* model in die zin dat het wordt gekarakteriseerd door een relatief hoog aggregatieniveau en een relatief abstracte weergave van technologie en technologische ontwikkeling (Böhringer, 1998). Technologie is in het model gedefinieerd in termen van (technologische kennis over) input-output relaties die worden weergegeven door middel van parameters en

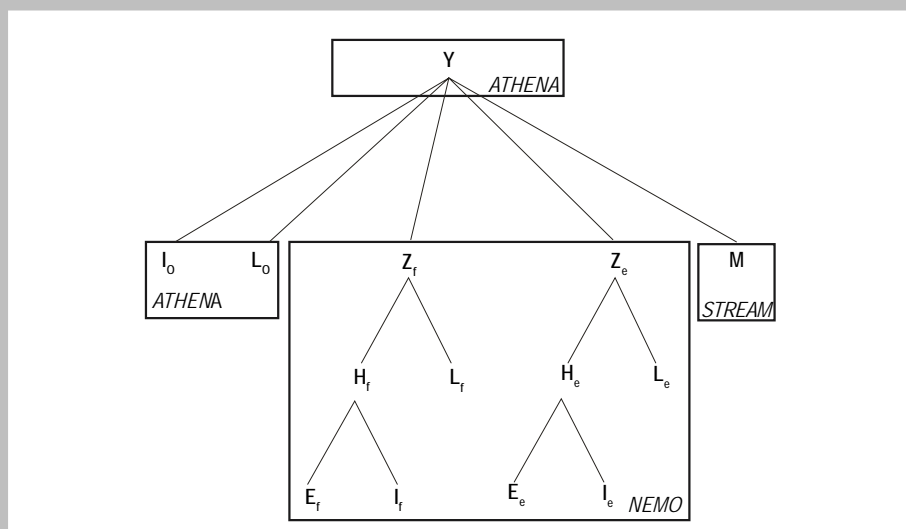
substitutie-elasticiteiten in een productiefunctiestructuur. Een belangrijke motivatie voor het ontwikkelen van NEMO was om in een *top-down* model een expliciete plaats te geven aan de zogenaamde energie-efficiëntie paradox. Dit is het verschijnsel dat veel bedrijven niet direct in de meest energiezuinige technologieën investeren zodra die beschikbaar zijn. Dit resulteert in een (aanzienlijk) verschil tussen het daadwerkelijke niveau van energie-efficiëntie in de economie en het niveau dat mogelijk zou zijn op basis van het volledig inzetten van *best-practice* technologieën (zie bijvoorbeeld Jaffe en Stavins, 1994 en De Beer, 1998).

De energie-efficiëntie paradox krijgt in het model op twee manieren vorm. In de eerste plaats wordt verondersteld dat bedrijven en huishoudens een hoog rendement op hun investeringen eisen. Gebaseerd op een empirische studie naar determinanten van energiebesparende investeringen door Velthuisen (1995), wordt in NEMO verondersteld dat bedrijven en huishoudens een disconteringsvoet van 15% hanteren. Onder de veronderstelling van deze hoge disconteringsvoet worden op basis van het *bottom-up* gegevensbestand ICARUS de belangrijkste parameters in het model geschat. In de tweede plaats kent NEMO een jaargangenstructuur, inclusief een extra aanpassingsmechanisme voor zogenaamde 'retrofit'-technologieën (zie ook onderstaand), hetgeen bijdraagt aan een langzame diffusie van nieuwe energiebesparende technologieën in het model.

2.2 Modelstructuur

De modelstructuur van NEMO is gebaseerd op een geneste productiefunctiestructuur van

FIGUUR 1 NEMO's productiefunctiestructuur en de relatie met de modellen ATHENA en STREAM



het zogeheten KLEM-type (Berndt en Wood, 1975). Dat wil zeggen dat verondersteld wordt dat een viertal productiefactoren, kapitaal (K), arbeid (L), energie (E) en materialen (M), nodig is voor de productie van (consumptie)goederen (Y). In aanvulling hierop wordt in NEMO de productiefactor energie nader onderverdeeld in elektriciteit en (fossiele) brandstoffen. NEMO is een partieel model dat wordt gebruikt in combinatie met andere modellen van het CPB. De hoeveelheid productie (Y) en het volume van de totale investeringen (I) en arbeid (L) wordt berekend in het ATHENA-model, terwijl de hoeveelheid gebruikte materialen (M) afkomstig is uit het STREAM-model. Figuur 1 bevat een weergave van de modelstructuur.

Kapitaal is weergegeven met het symbool I , aangezien in NEMO kapitaal gelijk staat aan investeringen (zie ook onderstaand). Bovendien is het zo dat de totale hoeveelheid kapitaal (I) en arbeid (L) is opgebouwd uit een deel dat gesubstitueerd kan worden voor energie (respectievelijk I_f, I_e en L_f, L_e), en een deel waarvoor dat niet geldt (I_o en L_o). Figuur 1 laat zien dat productie (Y) resulteert uit de inzet van kapitaal (I_o) en arbeid (L_o) die niet voor energie kunnen worden gesubstitueerd, twee typen energie (brandstof Z_f en elektriciteit Z_e), en materialen (M). Figuur 1 laat ook zien dat de twee typen energie die uiteindelijk in het productieproces worden ingezet (Z_f en Z_e), het resultaat zijn van een tweetal substitutiemogelijkheden. In de eerste plaats is het mogelijk om een deel van de kapitaalvoorraad (I_f en I_e) te substitueren voor energiegebruik (E_f en E_e). Dit resulteert in een kapitaal-energiecomponent (H_f en H_e). In de tweede plaats is het mogelijk om deze kapitaal-energiecomponent te substitueren voor arbeid (L_f en L_e). NEMO beperkt zich tot het beschrijven van deze substitutiemogelijkheden tussen kapitaal, arbeid en energie in het bepalen van de hoeveelheid energie die uiteindelijk wordt ingezet in het productieproces (Z_f en Z_e). Dit is in Figuur 1 aangegeven door het kader met de aanduiding 'NEMO'. Zoals eerder opgemerkt is de overige informatie afkomstig uit de modellen ATHENA en STREAM.

NEMO is een jaargangenmodel omdat nieuwe technologieën worden geïntroduceerd in de vorm van nieuwe kapitaalgoederen (machines). Technologische verandering vertaalt zich in het model in een verlaging van de energie-kapitaal ratio, oftewel in een lagere energie-intensiteit c.q. een hogere energie-efficiëntie van de productie. Aangezien technologische ontwikkeling is geïncorporeerd in nieuwe kapitaalgoederen heeft technologische ontwikkeling pas effect op de energie-intensiteit van de productie als er geïnvesteerd wordt in nieuwe machines. Daarmee is technologische ontwikkeling dus direct gekoppeld aan investerings- en afschrijvingsbeslissingen, terwijl de kapitaalgoederenvoorraad op elk moment in de tijd bestaat uit een verzameling verschillende machines van verschillende leeftijd en met verschillende niveaus van energie-intensiteit.

Voor het beschrijven van de substitutiemogelijkheden tussen kapitaal, arbeid en energie maakt NEMO gebruik van een CES-productiefunctie. Volgens het principe van kostenminimalisatie worden vervolgens de vraagfuncties voor deze drie productiefactoren berekend. Het ICARUS gegevensbestand dat gebruikt wordt om de belangrijkste parameters in het model te schatten bevat slechts informatie over de *additionele* investeringen in kapitaal die nodig zijn voor het besparen van een bepaalde hoeveelheid energie, en geen informatie over de daadwerkelijke niveaus van, respectievelijk, de kapitaal-energiecomponent

(H), energiebesparende kapitaalgoederen (I) en energiegebruik (E). Derhalve zijn de vraagfuncties van de verschillende productiefactoren getransformeerd naar een (log-)lineaire vorm, hetgeen resulteert in constante prijselasticiteiten die onafhankelijk zijn van de vraagniveaus van de productiefactoren. Verder is de productiefunctie een zogeheten putty-semi-putty type productiefunctie (Fuss, 1977). Dit betekent dat de verschillende productiefactoren zowel ex-ante (op het moment van investeren) als ex-post (na installatie van een nieuwe jaargang) substitueerbaar zijn, maar dat de ex-post substitutiemogelijkheden beperkter zijn dan de ex-ante substitutiemogelijkheden. Voor een gedetailleerde beschrijving van het model en een formele afleiding van het energiegebruik in NEMO verwijst ik naar Koopmans et al. (1999), en Koopmans en Te Velde (2001).

2.3 Modelling van technologie en energiebesparing

Ik beperk mij hier tot een korte samenvatting van het model door het weergeven van de belangrijkste modelvergelijkingen. In essentie neemt het model het energie-intensiteitsniveau (F) in een basis jaar t_0 als de numeraire en bepaalt vervolgens in vier stappen het *relatieve* energie-intensiteitsniveau¹ van de kapitaalgoederenvoorraad voor jaar t .

In de eerste plaats worden in de jaargangenstructuur van NEMO ex-ante energie-efficiëntieverbeteringen gerealiseerd door middel vervangingsinvesteringen. Het relatieve ex-ante niveau van energie-intensiteit (F^{ea}) van een jaargang geïnstalleerd in jaar t is gedefinieerd als (indices voor brandstof en elektriciteit zijn weggelaten):

$$(1) \quad F_{\tau,t}^{ea} \equiv \frac{E_{\tau}^{ea} / Z_{\tau}}{E_{t_0} / Z_{t_0}} = e^{-\alpha(\tau-t_0)} \left(\frac{P_{E,\tau}}{P_{E,t_0}} \right)^{-\beta}$$

waarbij α de jaargangtrend is die de exogene energie-efficiëntieverbeteringen van opeenvolgende technologieën beschrijft, P_E de energieprijs is, en β de prijselasticiteit. Zoals in jaargangmodellen gebruikelijk is, worden de investeringen in jaar t volledig besteed aan de nieuwste jaargang (zie bijvoorbeeld Salter, 1960, en Meijers, 1994). De reden dat er op elk moment in de tijd zowel oude als nieuwe jaargangen in gebruik zijn komt door de gedane investeringen en de daarmee verbonden ‘verzonken’ kosten die het niet optimaal maken om oude jaargangen onmiddellijk af te schrijven als er een nieuwe technologie op de markt verschijnt. Als gevolg hiervan is in NEMO de diffusie van nieuwe energiebesparende technologieën een gradueel proces, waarbij oude technologieën pas na verloop van tijd afgeschreven worden. Vervolgens kent NEMO een tweetal mogelijkheden om ex-post, dat wil zeggen na installatie van een nieuwe jaargang, energie-efficiëntieverbeteringen te realiseren gedurende de tijd dat een jaargang in gebruik is. De eerste mogelijkheid betreft additionele energiebesparende investeringen die worden toegevoegd aan de bestaande jaargang, bijvoorbeeld in de vorm van *end-of-pipe* technologieën. Dit worden ‘retrofit investeringen’ genoemd. De tweede mogelijkheid betreft de inzet van extra arbeid. Deze substitutie-

1 De relatieve energie-intensiteit is gedefinieerd als $F_{\tau,t} = F_{\tau,t} / F_{\tau,t_0}$ met $F_{t_0} = 1$ is de energie-intensiteit op tijdstip 0, en τ is het tijdstip van installatie van een jaargang.

mogelijkheid wordt 'good housekeeping' genoemd. In het vervolg wordt achtereenvolgens beschreven hoe beide mogelijkheden tot ex-post energie-efficiënte verbeteringen zijn gemodelleerd in NEMO.

De tweede stap bij het bepalen van het relatieve niveau van energie-intensiteit van de kapitaalgoederenvoorraad in jaar t in NEMO bestaat uit het berekenen van het relatieve *potentiële* ex-post niveau van energie-intensiteit ('potential retrofit'; F^{pr}) van een jaargang geïnstalleerd in jaar τ . Dit is als volgt gedefinieerd:

$$(2) \quad F_{\tau,t}^{pr} \equiv \frac{E_{\tau,t}^{pr} / Z_{\tau,t}}{E_{t_0} / Z_{t_0}} = F_{\tau}^{ea} e^{-\gamma(t-\tau)} \left(\frac{P_{E,t}}{P_{E,\tau}} \right)^{-\delta}$$

waarbij γ de jaargangtrend is die de energie-efficiëntieverbeteringen van bestaande jaargangen als gevolg van opeenvolgende retrofit-investeringen beschrijft, en δ de prijselasticiteit is. Vergelijking (2) beschrijft dus de mate waarin de energie-intensiteit van bestaande jaargangen verder verlaagd kan worden door middel van *upgrading* via retrofit-investeringen. Deze formulering impliceert dat, in tegenstelling tot de vervangingsinvesteringen, retrofit-investeringen een direct effect hebben op de gehele kapitaalgoederenvoorraad zodra een nieuwe retrofit-technologie beschikbaar komt op de markt.

Aangezien dit een onrealistische veronderstelling is in het licht van de energie-efficiëntie paradox, kent NEMO een aanpassingsmechanisme dat er voor zorgt dat ook nieuwe retrofit-technologieën slechts vertraagd hun weg vinden in de economie. Dit is de derde stap in het model, waarbij de relatieve *actuele* of daadwerkelijke ex-post energie-intensiteit ('actual retrofit'; F^{ar}) van een jaargang τ in jaar t wordt berekend volgens:

$$(3) \quad \begin{aligned} F_{\tau,t}^{ar} &\equiv \frac{E_{\tau,t}^{ar} / Z_{\tau,t}}{E_{t_0} / Z_{t_0}} = F_{\tau}^{ea} && \text{als } t = \tau \\ &= F_{\tau,t-1}^{ar} + \psi \left(\frac{I_t^{tot}}{K_t} \right)^{\varepsilon} [F_{\tau,t}^{pr} - F_{\tau,t-1}^{ar}] && \text{als } \text{en} \\ &= F_{\tau,t-1}^{ar} && \text{anders} \end{aligned}$$

waarbij ψ en ε aanpassingsparameters zijn, I^{tot} het volume van de totale investeringen weergeeft, en K de totale kapitaalgoederenvoorraad is. De actuele ex-post energie-intensiteit van een jaargang geïnstalleerd in jaar τ is dus gelijk aan de ex-ante energie-intensiteit in het jaar van installatie plus een graduele aanpassing van het *potentiële* ex-post niveau van de energie-intensiteit gedurende de levensduur van de jaargang. De snelheid waarmee de *daadwerkelijke* ex-post energie-intensiteit zich aanpast aan het *potentiële* ex-post niveau van de energie-intensiteit hangt af van de snelheid waarmee de totale kapitaalgoederenvoorraad vervangen wordt (I_t^{tot} / K_t) zodat de retrofit-investeringen worden beïnvloed door de totale investeringsbereidheid.

De vierde stap in NEMO is het berekenen van het relatieve niveau van ex-post energie-intensiteit (F^{op}) inclusief *good-housekeeping* van een jaargang geïnstalleerd in jaar τ . Dit is als volgt gedefinieerd:

$$(4) \quad F_{\tau,t}^{ep} \equiv \frac{E_{\tau,t}^{ep} / Z_{\tau,t}}{E_{t_0} / Z_{t_0}} = F_{\tau,t}^{ar} \left(\frac{P_{E,t} / W_t}{P_{E,t_0} / W_{t_0}} \right)^{-\theta},$$

waarbij w de loonvoet is en θ de prijselasticiteit.

Tenslotte wordt het relatieve niveau van energie-intensiteit van de totale voorraad kapitaalgoederen (F_t) bepaald volgens:

$$(5) \quad F_t = \frac{\sum_{\tau=t-a_{\max}}^t (1-c_{t-\tau}) I_{\tau} F_{\tau,t}^{ep}}{\sum_{\tau=t-a_{\max}}^t (1-c_{t-\tau}) I_{\tau}}$$

waarbij $c_{t-\tau}$ de cumulatieve afschrijving is na τ jaren. De afschrijving van kapitaal wordt verondersteld lineair te zijn over een symmetrisch tijdsinterval $[a_{\min}, a_{\max}]$ rond de gemiddelde levensduur van een jaargang, volgens:

$$(6) \quad c_{t-\tau} = 0 \quad \text{als } t - \tau < a_{\min}$$

$$= \frac{(t - \tau) - a_{\min}}{a_{\max} - a_{\min}} \quad \text{als } a_{\min} \leq t - \tau \leq a_{\max}$$

$$= 1 \quad \text{als } t - \tau > a_{\max}$$

waarbij de gemiddelde levensduur per sector is bepaald (zie paragraaf 3 en Tabel A1 in de Appendix).

Als gevolg van deze jaargangenstructuur verlopen reacties op een stijging in de energieprijz deels direct, via ex-post substitutie (retrofit-investeringen en *good house-keeping*), en deels gradueel, via ex-ante substitutie (vervangingsinvesteringen). Vandaar dat prijselasticiteiten groter zijn op de lange termijn dan op de korte termijn, en dat het volledige effect van een energieprijzverandering pas bereikt wordt als de volledige kapitaalgoederenvoorraad zich heeft vernieuwd.

3 Empirische onderbouwing van NEMO

Deze paragraaf bevat een korte beschrijving van de wijze waarop NEMO is gekalibreerd. In Tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste mechanismen in NEMO, zoals uiteengezet in de vorige paragraaf, en de daarbij behorende parameters, die in NEMO de uiteindelijke energie-intensiteit van de kapitaalgoederenvoorraad bepalen door middel van trends, elasticiteiten en een aanpassingsmechanisme voor retrofit-technologieën.

Voor elke sector zijn de waarden van deze parameters berekend op basis van informatie afkomstig uit het *bottom-up* gegevensbestand ICARUS. Dit gegevensbestand bevat informatie over de kosten en het energiebesparingspotentieel van alle beschikbare energie-

TABEL 1
Mechanismen en determinanten in NEMO

Effect op:	Effect van:				
	Jaargang trend	Leeftijd trend	Prijs elasticiteit	Investerings-elasticiteit	Partiële aanpassing
Initiële efficiëntie	α		β		
Theoretische (potentiële) retrofit		γ	δ		
Actuele (reële) retrofit				ε	ψ
Good housekeeping			θ		

besparende technologieën in Nederland die in 1990 nog niet waren geïmplementeerd. Door gebruik te maken van dit gegevensbestand is NEMO gebaseerd op gedetailleerde informatie over technische, economische en milieukeurmerken van reële energiebesparende technologieën. Voor de kalibratie van NEMO is met behulp van ICARUS het energiebesparingspotentieel van rendabele technologieën berekend over de periode 1990–2015, tegen constante prijzen van 1990. Een techniek is winstgevend als, gegeven een disconteringsvoet van 15%, de Netto Contante Waarde (NCW) van de kosten van een technologie kleiner zijn dan de NCW van de energiebesparingen die met de technologie gerealiseerd kunnen worden. Met deze informatie zijn per sector de jaargangentrends α and γ berekend door middel van het afleiden van energiebesparingcurven, die het verband beschrijven tussen de relatieve energie-intensiteit en de daarvoor benodigde investeringskosten (Van Vuuren, 1996). Zoals eerder beargumenteerd, zijn de *ex-post* substitutiemogelijkheden kleiner dan de *ex-ante* substitutiemogelijkheden, hetgeen impliceert dat $\alpha > \gamma$. De prijselasticiteiten β en δ zijn berekend door het vergelijken van de energie-efficiëntieverbeteringen als gevolg van, respectievelijk, vervangings- en retrofit- investeringen bij verschillende constante reële energieprijzen. Aangezien het erg moeilijk is om de kosten van *good housekeeping* te bepalen wordt verondersteld dat deze kosten zodanig zijn dat de *good housekeeping* maatregelen net niet rendabel waren in 1990. Derhalve kunnen energie-efficiëntieverbeteringen via *good housekeeping* alleen gerealiseerd worden na prijsstijgingen. Verder is voor elke sector een minimumwaarde voor de *good housekeeping* prijselasticiteit θ verondersteld. De geschatte waarden voor de verschillende parameters in NEMO zijn weergegeven in Tabel A1 in de Appendix.

ICARUS bevat geen informatie om de aanpassingsparameters ψ and ε te schatten. Derhalve wordt verondersteld dat $\psi = 0.9$ en $\varepsilon = 0.4$ voor alle sectoren, zodat de totale aanpassingsparameter $\psi (I_t^{tot} / K)^{\varepsilon}$ ongeveer gelijk is aan 0.3, hetgeen impliceert dat ongeveer 50% van de rendabele *retrofit*-technieken wordt geadopteerd binnen twee jaar, ongeveer 75% binnen vier jaar, enzovoorts. Tenslotte, de gemiddelde levensduur op sectoraal niveau is berekend als de gewogen levensduur van gebouwen, toepassingen en processen, waarbij de gewichten bepaald worden door de energieconsumptie ten gevolge van, respectievelijk, het verwarmen van gebouwen en het gebruik van diverse toepassingen en proces-

sen. Voor de transportsector en het gebruik van brandstof in huishoudens zijn data van het CBS over het afschrijven van, respectievelijk, voertuigen en huizen gebruikt. Tabel A1 in de Appendix geeft de resulterende waarden van a_{min} en a_{max} per sector.

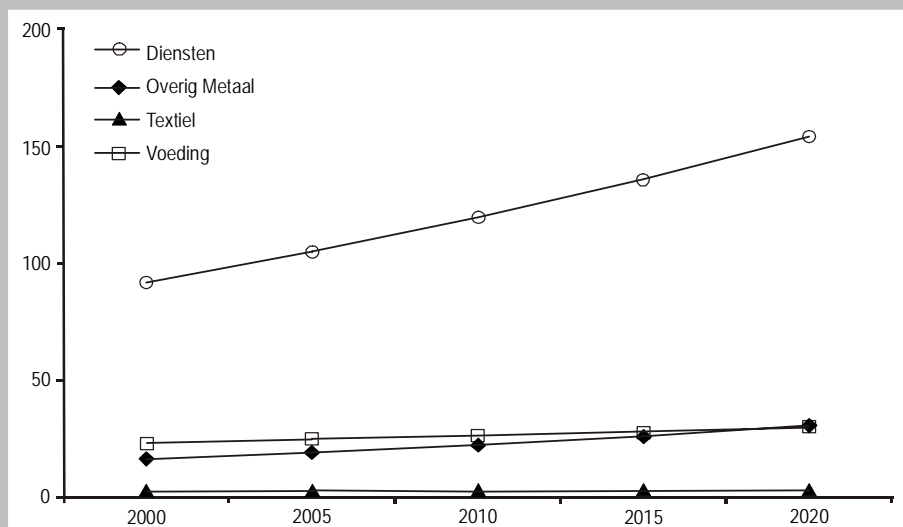
4 Beleidsscenario's

In deze paragraaf worden de resultaten van het doorrekenen van de vier beleidsscenario's (zie ook Florax en De Groot in dit katern) met NEMO gepresenteerd. Dit is gedaan voor de vier sectoren voeding (VOE), overige metalen (MET), textiel (TEX), en diensten (DIE). Het basisjaar in NEMO is 1999. De scenarioperiode is 2000–2020. De resultaten worden gepresenteerd voor de twee energievormen die in NEMO worden onderscheiden, 'elektriciteit' en 'brandstoffen'.

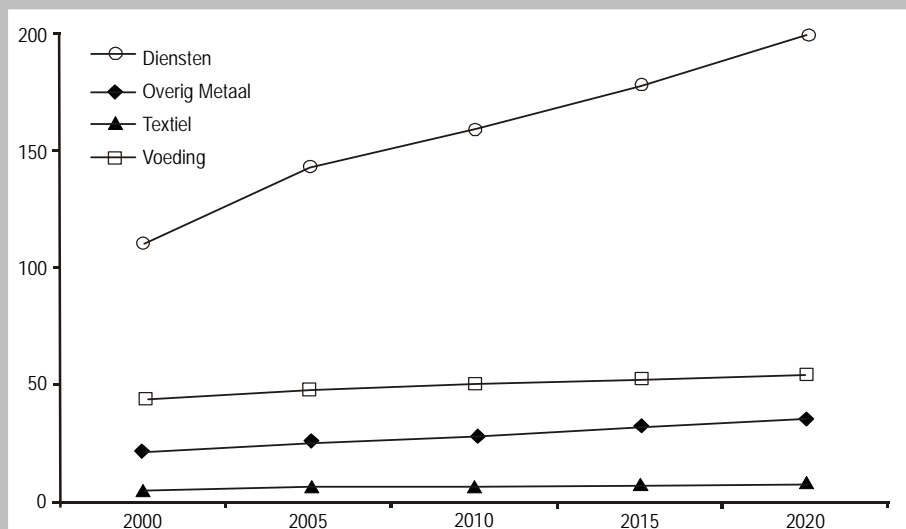
4.1 Nulscenario zonder beleid

Het nulscenario bestaat uit een standaard modelrun met NEMO zonder enige vorm van beleid. Zoals aangegeven in Florax en De Groot (dit katern) is voor de scenario-input uitgegaan van een gemiddelde jaarlijkse groei van de toegevoegde waarde van de vier sectoren van, respectievelijk, 2%, 3,25%, 2,25% en 3,5%. Verder wordt een onderscheid gemaakt tussen twee varianten, waarbij de veronderstelde jaarlijkse groei van de energieprijis in de basisvariant 2% is, en in de alternatieve variant 5%. De resultaten voor NEMO in termen

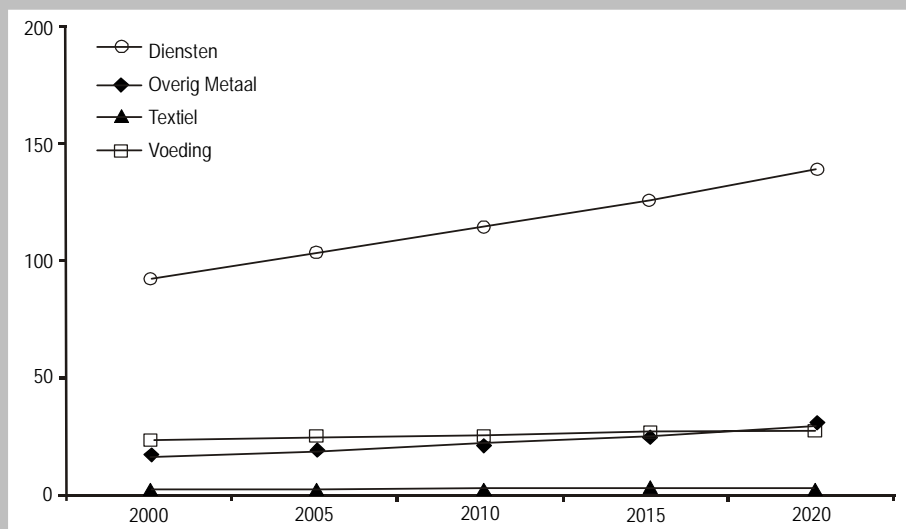
FIGUUR 2a Finaal verbruik elektriciteit nulscenario in de basisvariant



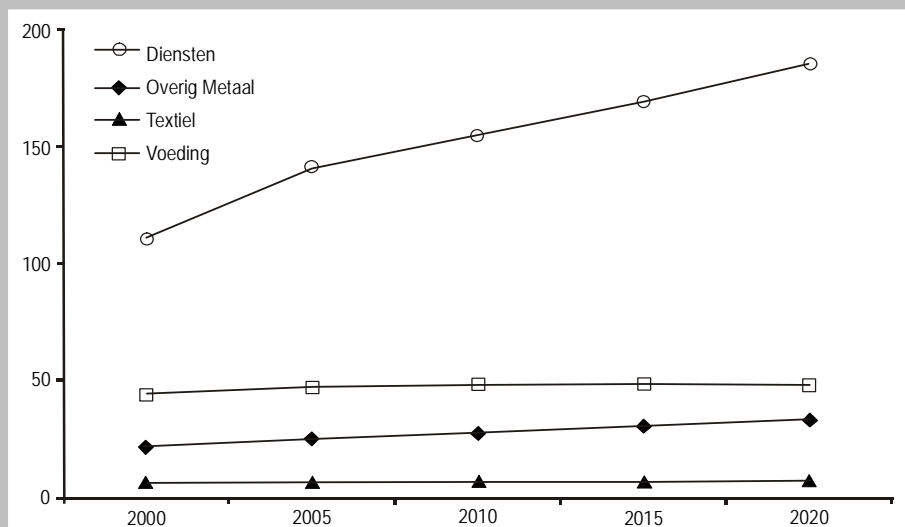
FIGUUR 2b Finaal verbruik brandstof nulscenario in de basisvariant



FIGUUR 2c Finaal verbruik elektriciteit nulscenario in de alternatieve variant



FIGUUR 2d Finaal verbruik brandstof nulscenario in de alternatieve variant



van finale consumptie van respectievelijk elektriciteit en brandstoffen in PJ zijn weergegeven in Figuur 2. Uit de figuur blijkt dat van de vier sectoren de sector diensten veruit de grootste hoeveelheid energie verbruikt.

In Tabel 2 is deze ontwikkeling voor beide varianten weergegeven in procentuele veranderingen ten opzichte van het basisjaar 2000 (= 100), samen met de procentuele verandering van de intensiteit van het energiegebruik voor de twee vormen van energie. De tabel laat zien dat de grootste procentuele toename van het verbruik van elektriciteit te verwachten is in de metaalsector en van het verbruik van brandstoffen in de dienstensector, terwijl voor beide vormen van energie de stijging het geringst is in de voedingsindustrie. Behalve het energiegebruik neemt ook de productie in de verschillende sectoren toe, en het is derhalve zinvol om ook te kijken naar de ontwikkeling van de energie-intensiteit. Uit het onderste gedeelte van de figuur blijkt dat de grootste afname van de energie-intensiteit voor elektriciteit te verwachten is in de dienstensector, terwijl de metaalsector de geringste afname laat zien. Voor brandstof is de grootste daling van de energie-intensiteit te verwachten voor de voedingssector (en diensten bij een energieprijsstijging van 2%) terwijl de geringste daling plaatsvindt in de textiel en de metaal bij een energieprijsstijging van, respectievelijk, 2% en 5%. Tenslotte laat een vergelijking van de basisvariant met de alternatieve variant in Tabel 2 zien dat een energieprijsstijging met 3% (het verschil tussen beide varianten), *ceteris paribus*, leidt tot een afname in het gebruik c.q. de intensiteit van elektriciteit en brandstof met, respectievelijk, 4–10% en 7–12% over een periode van 20 jaar.

TABEL 2

Resultaten nulscenario: verandering in finaal verbruik elektriciteit en brandstof bij een stijging van de energieprijis met 2% en 5%

	Elektriciteit								Brandstof							
	Stijging energieprijis 2%				Stijging energieprijis 5%				Stijging energieprijis 2%				Stijging energieprijis 5%			
	2005	2010	2015	2020	2005	2010	2015	2020	2005	2010	2015	2020	2005	2010	2015	2020
% verandering ten opzichte van basisjaar (=100)																
Energiegebruik																
DIE	114	130	148	168	112	124	137	151	129	144	161	180	127	139	153	167
MET	117	136	159	187	115	133	154	178	117	131	147	166	115	126	139	153
TEX	108	116	127	139	107	114	123	133	112	120	129	138	109	113	116	120
VOE	107	113	120	128	105	110	114	119	109	114	119	124	107	109	110	110
Energie-intensiteit																
DIE	93	87	81	75	91	83	75	67	96	92	88	85	95	89	84	79
MET	96	93	90	87	95	91	87	83	98	95	92	89	96	92	87	83
TEX	94	88	83	79	93	86	81	76	99	96	93	90	96	90	84	79
VOE	94	88	82	76	92	85	78	71	97	93	89	85	95	89	82	75

4.2 Scenario 1: CO₂ belasting van • 50 per ton

NEMO kent geen expliciete weergave van (CO₂-)emissies. Het effect van een CO₂-belasting op de energie-efficiëntie van de productie is indirect en loopt via een hogere energieprijis. De vraag in welke mate de energieprijis stijgt als gevolg van een CO₂-belasting hangt af van een aantal factoren, waaronder de mix van energiedragers die wordt gebruikt in het productieproces en de mogelijkheden om deel te nemen aan een systeem van emissiehandel. Dit laatste vraagt nogal wat extra veronderstellingen ten aanzien van de vorm en werking van een markt voor het verhandelen van emissierechten (zie CPB, 2002). Daarom zie ik hier af van deze mogelijkheid en bereken het effect van een CO₂-belasting van • 50 per ton op het energiegebruik en de energie-intensiteit van de productie, via het berekenen van een direct effect van deze belasting op de energieprijis voor de verschillende sectoren. Ik onderscheid daarbij twee mogelijkheden ten aanzien van het effect van de heffing op de prijs van elektriciteit. In de eerste plaats veronderstel ik dat de elektriciteitsproducenten opdraaien voor deze kosten. In tweede instantie veronderstel ik dat de elektriciteitsproducenten deze kosten geheel doorberekenen aan de eindverbruikers.

Voor het berekenen van het effect van een CO₂-belasting op de prijs van energie heb

TABEL 3
Energieprijsstijging als gevolg van emissieheffing

Sector	Basis energieprijs/GJ	Niet doorberekenen CO ₂ belasting elektriciteitsproductie		Wel doorberekenen CO ₂ belasting elektriciteitsproductie	
		% stijging door CO ₂ tax	Nieuwe energieprijs/GJ	% stijging door CO ₂ tax	Nieuwe energieprijs/GJ
Diensten	7.93	35.3	10.73	91.2	15.16
Metaal	6.26	50.7	9.43	86.3	11.66
Textiel	7.55	37.6	10.38	59.0	12.00
Voeding	3.04	96.2	5.97	133.0	7.10

Prijzen in Euro's

ik allereerst per sector de totale CO₂-emissies berekend op basis van de verwachte energieconsumptie volgens het nulscenario, gespecificeerd naar de verschillende energiedragers. Ik heb daarbij gebruik gemaakt van standaard emissiefactoren voor het omrekenen van energieconsumptie naar CO₂-emissies voor de verschillende energiedragers (Spakman et al., 1997; zie Tabel A2 in de Appendix). Voor elektriciteit is in de berekening van de emissiefactor gebruik gemaakt van de standaard conversiefactor 1TWh = 3,6 PJ (Gijsen en Spakman, 2001). Vervolgens heb ik per sector de omvang van de CO₂-belasting berekend per eenheid energie (GJ), en die tenslotte uitgedrukt als percentage van de in NEMO gehanteerde basisprijzen voor energie per sector.¹ De resulterende toename van de energieprijzen per sector is weergegeven in Tabel 3.

De tabel laat zien dat de procentuele stijging van de energieprijzen als gevolg van een belasting op CO₂-emissie het hoogst is in de voedingsindustrie aangezien deze sector in NEMO de laagste basisenergieprijs kent. Bovendien blijkt dat de sectorale verschillen in procentuele prijsstijgingen afnemen als verondersteld wordt dat de stijgende kosten van elektriciteitsproductie worden doorberekend aan de eindverbruikers. De reden hiervoor is dat zowel voeding als diensten relatief veel elektriciteit gebruiken.

In Tabel 4 wordt het effect van de stijging in de energieprijzen op het energiegebruik en de energie-intensiteit weergegeven, zowel voor het geval waarin de stijgende kosten van elektriciteitsproductie *niet* en *wel* worden doorberekend aan de eindverbruikers. Uit het bovenste deel van de tabel blijkt dat in het eerste geval het grootste effect van de belasting op CO₂ op het gebruik van energie en de energie-intensiteit, in het bijzonder voor brandstof, te verwachten is in de voedingssector. De reden hiervoor is uiteraard dat deze sector de sterkste procentuele stijging van de energieprijzen kent, zoals blijkt uit Tabel 4. Voor elektriciteit ligt de daling in het gebruik en de intensiteit respectievelijk rond de 3,5% en de 8%. Voor brandstof bedraagt dit, respectievelijk, ongeveer 13% en 16%, over een periode van

2 Deze prijzen zijn gebruikt in Lijesen et al. (2001).

TABEL 4

Effect van een CO₂-belasting op finaal verbruik en finale intensiteit van elektriciteit en brandstof bij een stijging van de energieprijzen met 2% en 5%

	Elektriciteit								Brandstof							
	Stijging energieprijzen 2%				Stijging energieprijzen 5%				Stijging energieprijzen 2%				Stijging energieprijzen 5%			
	2005	2010	2015	2020	2005	2010	2015	2020	2005	2010	2015	2020	2005	2010	2015	2020
% verandering ten opzichte van nulscenario																
CO ₂ -belasting elektriciteitsproductie <i>niet</i> doorberekend aan eindverbruikers																
Energiegebruik																
DIE	2.0	-2.8	-3.3	-3.7	-1.9	-2.5	-3.1	-3.4	-2.0	-2.6	-2.9	-3.1	-1.8	-2.3	-2.6	-2.8
MET	-1.6	-1.9	-2.0	-2.1	-1.5	-1.8	-1.9	-1.9	-2.7	-3.3	-3.5	-3.7	-2.5	-3.1	-3.3	-3.4
TEX	-0.9	-1.2	-1.4	-1.6	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-3.0	-3.9	-4.2	-4.3	-2.8	-3.6	-3.8	-3.9
VOE	-2.7	-3.4	-3.6	-3.7	-2.6	-3.2	-3.5	-3.6	-6.7	-9.5	-11.5	-13.3	-6.4	-9.1	-11.0	-12.8
Energie-intensiteit																
DIE	-4.6	-5.3	-5.8	-6.2	-4.1	-4.8	-5.3	-5.7	-3.4	-3.9	-4.2	-4.4	-3.0	-3.6	-3.8	-4.0
MET	-3.3	-3.6	-3.7	-3.8	-3.1	-3.4	-3.5	-3.5	-5.2	-5.7	-6.0	-6.1	-4.8	-5.4	-5.6	-5.8
TEX	-1.9	-2.2	-2.4	-2.6	-1.7	-2.0	-2.2	-2.3	-6.1	-7.1	-7.3	-7.4	-5.7	-6.5	-6.7	-6.8
VOE	-7.4	-8.0	-8.2	-8.3	-7.1	-7.7	-7.9	-8.1	-10.3	-13.0	-14.9	-16.6	-9.9	-12.5	-14.3	-16.0
CO ₂ -belasting elektriciteitsproductie <i>wel</i> doorberekend aan eindverbruikers																
Energiegebruik																
DIE	-4.5	-6.1	-7.3	-8.1	-4.2	-5.7	-6.8	-7.6	-4.3	-5.6	-6.3	-6.7	-4.1	-5.3	-5.9	-6.3
MET	-2.4	-2.9	-3.1	-3.2	-2.3	-2.7	-2.9	-3.0	-4.1	-5.0	-5.4	-5.6	-3.9	-4.7	-5.1	-5.3
TEX	-1.3	-1.8	-2.1	-2.3	-1.2	-1.7	-1.9	-2.1	-4.4	-5.7	-6.0	-6.2	-4.2	-5.3	-5.5	-5.6
VOE	-3.4	-4.2	-4.5	-4.6	-3.2	-4.1	-4.3	-4.4	-8.4	-11.9	-14.2	-16.5	-8.0	-11.3	-13.5	-15.5
Energie-intensiteit																
DIE	-9.9	-11.3	-12.5	-13.3	-9.4	-10.8	-11.8	-12.5	-7.3	-8.5	-9.1	-9.6	-6.9	-8.1	-8.6	-9.0
MET	-5.0	-5.5	-5.7	-5.8	-4.8	-5.2	-5.3	-5.4	-7.9	-8.7	-9.1	-9.3	-7.5	-8.3	-8.6	-8.8
TEX	-2.8	-3.3	-3.6	-3.8	-2.6	-3.1	-3.3	-3.5	-9.1	-10.3	-10.7	-10.8	-8.7	-9.7	-10.0	-10.0
VOE	-9.3	-10.1	-10.3	-10.4	-8.9	-9.7	-9.9	-10.0	-12.8	-16.1	-18.4	-20.5	-12.3	-15.4	-17.5	-19.5

20 jaar. In de overige sectoren variëren de percentages tussen ongeveer 1,5% en 7%.

Het onderste deel van de tabel laat zien dat in het geval van doorberekening van de stijgende kosten van elektriciteitsproductie aan de eindverbruikers, voor brandstof het grootste effect nog steeds te verwachten is in de voedingsindustrie, met een daling van het brandstofgebruik van 15% à 16% en een daling van de intensiteit van brandstof van ongeveer 20% in 2020. Voor elektriciteit is in dit geval het grootste effect te verwachten in de

dienstensector, met een daling van het gebruik van ongeveer 8%, en een daling van de intensiteit van ongeveer 10% over een periode van 20 jaar. In de overige sectoren variëren de percentages tussen ongeveer 2% en 10%.

4.3 Scenario 2: Investeringssubsidie van 10%

Een investeringssubsidie kan in NEMO niet direct worden geanalyseerd. De belangrijkste reden daarvoor is dat informatie over de investeringskosten van energiebesparende technologieën niet expliciet in NEMO is geïncorporeerd maar besloten ligt in het ICARUS gegevensbestand. Deze informatie is slechts impliciet in NEMO aanwezig en wel via de technologie parameters α and γ , die de jaargangentrends van energiebesparende technologische ontwikkeling in, respectievelijk, vervangingsinvesteringen en retrofit-investeringen beschrijven. Zoals uiteen gezet in paragraaf 2 en 3, is via deze weg het *top-down* NEMO gebaseerd op *bottom-up* informatie over energiebesparende technologieën. De prijs die hier echter voor wordt betaald is dat de actuele kosten van investeringen in energiebesparende technologieën niet in NEMO zijn opgenomen. Een adequate analyse van het effect van een investeringssubsidie op het energiegebruik vereist derhalve een complete herformulering van het model waarbij NEMO verder moet worden geïntegreerd met het ICARUS gegevensbestand. Dit valt buiten het bestek van het onderzoeksproject waarvan dit artikel verslag doet.

Om toch enig zicht te krijgen op het mogelijke effect van investeringssubsidies op het energiegebruik in de verschillende sectoren, presenteer ik hier het resultaat van een gevoeligheidsanalyse van NEMO voor de waarden van de technologieparameters α en γ . Bovendien presenteer ik een gevoeligheidsanalyse van NEMO voor de omvang van de totale investeringen, waarvoor de gegevens, die afkomstig zijn uit ATHENA, als exogene input voor NEMO fungeren. De achterliggende gedachte is dat een investeringssubsidie een positief effect heeft op de genoemde technologieparameters, aangezien het de Netto Constante Waarde van de kosten van een technologie verlaagt, hetgeen resulteert in een verschuiving van energiebesparingscurven die het verband beschrijven tussen de relatieve energie-intensiteit en de daarvoor benodigde investeringskosten.

Tabel 5 laat het effect op het energiegebruik zien van een verhoging van de technologie parameters α en γ met 10%. Uit het bovenste deel van de tabel blijkt dat een stijging van α met 10% over een periode van 20 jaar tot een daling van het energiegebruik en de energie-intensiteit leidt van enkele procenten ten opzichte van het nulscenario. Voor elektriciteit is het effect het grootst in de diensten en in de voeding, en het geringst in de metaal. Voor brandstof is het effect eveneens het grootst in de diensten, terwijl de textiel het kleinste effect laat zien. De reden hiervoor is dat de op basis van ICARUS geschatte sectorale waarden voor α , respectievelijk, het hoogst en het laagst zijn in genoemde sectoren (zie ook Tabel A1 in de Appendix).

Uit het onderste deel van de tabel blijkt dat een stijging van de technologieparameter γ met 10% een geringer effect heeft op het energiegebruik dan een equivalente

TABEL 5

Effect van een stijging van de technologieparameters α en γ met 10% op finaal verbruik en finale intensiteit van elektriciteit en brandstof bij een stijging van de energieprijzen met 2% en 5%

	Elektriciteit								Brandstof							
	Stijging energieprijzen 2%				Stijging energieprijzen 5%				Stijging energieprijzen 2%				Stijging energieprijzen 5%			
	2005	2010	2015	2020	2005	2010	2015	2020	2005	2010	2015	2020	2005	2010	2015	2020
% verandering ten opzichte van nulscenario																
verhoging van de technologieparameter α met 10%																
Energiegebruik																
DIE	-1.5	-2.1	-2.6	-3.1	-1.5	-2.0	-2.5	-3.0	-0.8	-1.2	-1.4	-1.7	-0.8	-1.1	-1.4	-1.6
MET	-0.6	-0.9	-1.2	-1.3	-0.6	-0.9	-1.1	-1.3	-0.5	-0.7	-0.9	-1.0	-0.5	-0.7	-0.8	-1.0
TEX	-1.0	-1.7	-2.2	-2.6	-1.0	-1.7	-2.2	-2.6	-0.1	-0.3	-0.4	-0.5	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4
VOE	-1.3	-2.0	-2.6	-3.1	-1.3	-2.0	-2.5	-3.0	-0.4	-0.7	-0.0	-1.0	-0.4	-0.6	-0.7	-0.8
Energie-intensiteit																
DIE	-2.3	-2.9	-3.4	-3.8	-2.2	-2.8	-3.2	-3.6	-1.1	-1.5	-1.8	-2.0	-1.1	-1.4	-1.7	-1.9
MET	-0.9	-1.2	-1.4	-1.6	-0.9	-1.1	-1.3	-1.5	-0.7	-0.9	-1.0	-1.2	-0.7	-0.9	-1.0	-1.1
TEX	-1.2	-1.9	-2.5	-2.9	-1.2	-1.9	-2.4	-2.8	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4
VOE	-1.8	-2.5	-3.0	-3.6	-1.7	-2.4	-3.0	-3.5	-0.6	-0.8	-1.0	-1.2	-0.6	-0.8	-0.9	-1.0
verhoging van de technologieparameter γ met 10%																
Energiegebruik																
DIE	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
MET	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
TEX	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0
VOE	-0.7	-0.8	-0.9	-0.9	-0.6	-0.8	-0.8	-0.8	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1
Energie-intensiteit																
DIE	-0.6	-0.7	-0.7	-0.8	-0.6	-0.6	-0.6	-0.5	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2
MET	-0.5	-0.5	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.5	-0.6	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
TEX	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0
VOE	-1.0	-1.1	-1.2	-1.2	-1.0	-1.1	-1.1	-1.1	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2

stijging van de technologieparameter α , met de afname van het energiegebruik en de energie-intensiteit variërend tussen 0 en 1%. De reden hiervoor is uiteraard dat de geschatte basiswaarden van γ kleiner zijn dan die van α (zie Tabel A1 in de Appendix). Zoals reeds genoemd in de introductie is de onderliggende reden hiervoor dat de ex-post substitutiemogelijkheden kleiner zijn dan de ex-ante substitutiemogelijkheden, oftewel het energiebesparingspotentieel van retrofit-technologieën is kleiner dan dat van vervangingsinvesteringen.

TABEL 6

Effect van een stijging van het algehele investeringsvolume met 10% op verandering in finaal verbruik en finale intensiteit van elektriciteit bij een stijging van de energieprijis met 2% en 5%

	Elektriciteit								Brandstof							
	Stijging energieprijis 2%				Stijging energieprijis 5%				Stijging energieprijis 2%				Stijging energieprijis 5%			
	2005	2010	2015	2020	2005	2010	2015	2020	2005	2010	2015	2020	2005	2010	2015	2020
% verandering ten opzichte van basisjaar (=100)																
Energiegebruik																
DIE	-0.1	-0.2	-0.1	0.0	-0.2	-0.1	0.0	0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
MET	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
TEX	-0.2	-0.3	-0.4	-0.4	-0.2	-0.3	-0.4	-0.3	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0
VOE	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.3	-0.3	-0.5	-0.5	-0.4
Energie-intensiteit																
DIE	-0.1	-0.2	-0.1	0.0	-0.1	-0.1	0.0	0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
MET	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
TEX	-0.2	-0.3	-0.4	-0.4	-0.2	-0.3	-0.4	-0.3	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0
VOE	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.4	-0.3	-0.3	-0.5	-0.5	-0.4

Een alternatieve benadering is het meten van het effect op het energiegebruik van een verhoging van het algehele investeringsvolume met 10%. Bovenstaand werd al opgemerkt dat de omvang van de totale investeringen in ATHENA wordt bepaald, en vervolgens een exogene input vormt voor NEMO waar het vooral van invloed is op het volume van de vervangingsinvesteringen. Daarmee bepaalt deze analyse in feite de gevoeligheid van NEMO voor het jaargangeneffect op het energiegebruik. Bovendien heeft het totale investeringsvolume ook effect op de retrofit-investeringen via het aanpassingsmechanisme (zie vergelijking 3), maar gezien de lage waarden van γ is dit effect zeer beperkt. De resultaten van deze analyse zijn weergegeven in Tabel 6.

Uit de tabel blijkt dat het gezamenlijke effect van een stijging van het totale investeringsvolume op het energiegebruik en de energie-intensiteit zeer beperkt is voor de geanalyseerde periode. Zowel voor elektriciteit als voor brandstof variëren de dalingen tussen 0.0% en 0.4% in 2020.

Hoewel NEMO dus minder geschikt is om het directe effect van energiesubsidies op energiebesparing te berekenen, kan het wel goed worden gebruikt om bepaalde neveneffecten van subsidieverlening te bepalen. Zo heeft het CPB onderzoek verricht naar het zogenaamde rebound-effect en het Baumol-effect van het verstrekken van energiebesparingssubsidies (CPB, 2001). Het rebound-effect komt erop neer dat subsidies de aanschaf van energiebesparende technieken en daarmee energiegebruikende activiteiten relatief goedkoper maakt, waardoor de vraag naar deze activiteiten, en daarmee het energieverbruik, in omvang kan toenemen. Het Baumol-effect houdt in dat voor zover ontvangers van subsidie

meer ontvangen dan ze nodig hebben om tot een energiebesparende investering over te gaan (het zogenaamde ‘free rider effect’), zij als het ware een financiële gift krijgen die in een concurrerende markt via een prijsverlaging van hun producten extra afzet stimuleert, als gevolg waarvan het energiegebruik kan toenemen. Hoewel NEMO niet direct is gebruikt voor de inschatting van het rebound-effect, is de omvang van het Baumol-effect berekend door middel van de interactie tussen NEMO en ATHENA. In ATHENA is allereerst het effect van de subsidieverlening op het productie- en investeringsvolume in de verschillende bedrijfstakken berekend. Deze gegevens zijn vervolgens gebruikt als input voor NEMO, waarmee het effect op het energiegebruik en de CO₂-emissies is berekend. De modelstructuur van NEMO impliceert dat hierbij het mogelijke effect van de toename in de investeringen op de energie-efficiëntie van de kapitaalgoederenvoorraad is meegenomen. De resultaten zijn vermeld in Tabel 7.

TABEL 7
Toename energiegebruik en CO₂-emissies per totaal subsidiebedrag aan ‘free riders’

Extra uitgekeerd bedrag (mln. gulden per jaar)	Effect op Energiegebruik (PJ per jaar)	Effect op CO ₂ -emissies (Mton per jaar)
40	0.03	0.015
90	0.07	0.038
180	0.14	0.72
450	0.35	0.187

4.4 Scenario 3: alle technologieën met IRR van 10% adopteren

Evenals een investeringssubsidie kan ook deze beleidsmaatregel niet direct worden doorerekend met NEMO, omdat de berekening van de winstgevendheid van de energiebesparende technologieën plaatsvindt in het gegevensbestand ICARUS, terwijl deze informatie alleen impliciet in NEMO is opgenomen via de technologieparameters α and γ , en de prijselasticiteiten β en δ . Zoals uiteengezet in Paragraaf 3 worden de jaargangentrends α and γ berekend op basis van informatie uit het ICARUS gegevensbestand via het afleiden van sectorale energiebesparingcurven. Deze curven beschrijven het verband tussen de relatieve energie-intensiteit van de productie en de daarvoor benodigde investeringskosten, voor de periode 1990–2015, tegen constante 1990 prijzen en onder het hanteren van een disconteringsvoet van 15%. Met behulp van deze energiebesparingcurven worden vervolgens de prijselasticiteiten β en δ berekend door middel van het vergelijken van energie-efficiëntie verbeteringen via, respectievelijk, vervangings- en retrofit-investeringen bij verschillende constante reële energieprijzen.

Bij het kalibreren van NEMO op basis van het ICARUS gegevensbestand is de ge-

TABEL 8

Effect van een verhoging van prijsparameters β en δ met 10% op finaal verbruik en finale intensiteit van elektriciteit en brandstof bij een stijging van de energieprijzen met 2% en 5%

	Elektriciteit								Brandstof							
	Stijging energieprijzen 2%				Stijging energieprijzen 5%				Stijging energieprijzen 2%				Stijging energieprijzen 5%			
	2005	2010	2015	2020	2005	2010	2015	2020	2005	2010	2015	2020	2005	2010	2015	2020
% verandering ten opzichte van nulscenario																
verhoging van de prijselasticiteit β met 10%																
Energiegebruik																
DIE	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.1	-0.3	-0.6	-0.9	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4
MET	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.2
TEX	0.0	0.0	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	0.0	0.0	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	-0.2	-0.4
VOE	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	0.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1	-0.2	-0.3	-0.6	-0.1	-0.3	-0.6	-1.0
Energie-intensiteit																
DIE	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.2	-0.4	-0.6	-0.9	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1	-0.2	-0.3	-0.5
MET	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.2
TEX	0.0	0.0	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	0.0	0.0	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	-0.2	-0.4
VOE	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	0.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1	-0.2	-0.3	-0.6	-0.1	-0.3	-0.6	-1.0
verhoging van de prijselasticiteit δ met 10%																
Energiegebruik																
DIE	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4
MET	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	0.0	0.0	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2	-0.4	-0.5
TEX	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	0.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1	-0.4	-0.6	-0.8
VOE	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.2	-0.4	-0.5	-0.5
Energie-intensiteit																
DIE	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.5
MET	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	0.0	0.0	-0.1	-0.2	0.0	-0.2	-0.3	-0.5
TEX	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1	-0.4	-0.6	-0.8
VOE	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.2	-0.4	-0.5	-0.5

voeligheid van NEMO voor de omvang van de disconteringsvoet geanalyseerd. Hieruit bleek dat een verandering in de disconteringsvoet leidt tot een verschuiving van de curve die het verband beschrijft tussen de energie-intensiteit en de energieprijzen, maar niet tot een verandering in de helling van de curve. In NEMO-terminologie betekent dit: als de parameters uit NEMO worden geschat met alternatieve disconteringsvoeten leidt dit tot verschillende trendwaarden, maar tot min of meer dezelfde elasticiteiten (Koopmans et al. 1999, p. 32). Dit betekent dat het berekenen van het energiebesparingspotentieel in ICARUS, onder

de veronderstelling van een interne discontovoet (vereist rendement) van 10%, voornamelijk zal leiden tot een effect op de technologie trend parameters α en γ , en niet zozeer op de prijselasticiteitsparameters β en δ . In de vorige paragraaf hebben we een gevoeligheidsanalyse gepresenteerd voor de jaargangentrends α and γ . In Tabel 8 worden de resultaten gepresenteerd van het effect van een stijging van de prijsparameters β en δ met 10% op het energiegebruik en de energie-intensiteit. De tabel laat inderdaad zien dat het effect gering is: zowel het energiegebruik als de energie-intensiteit neemt met maximaal 1% af over een periode van 20 jaar.

5 Conclusies

In dit artikel zijn de belangrijkste karakteristieken van het Nederlands energievraagmodel NEMO van het CPB beschreven, inclusief de empirische onderbouwing ervan op basis van het bottom-up technologiegegevensbestand ICARUS. Vervolgens is verslag gedaan van het doorrekenen van vier beleidsscenario's met behulp van NEMO. Uit de analyses blijkt dat drie van de vier scenario's niet expliciet kunnen worden doorberekend in NEMO. De belangrijkste reden hiervoor is dat NEMO een top-down model is waarin energiebesparende technologische ontwikkeling slechts op gestileerde wijze een plaats heeft. Derhalve kunnen micro-economisch georiënteerde beleidsmaatregelen zoals investeringssubsidies, slechts met aanvullende veronderstellingen en indirect (in de vorm van een gevoeligheidsanalyse) worden doorberekend in NEMO. Opgemerkt zij dat het mogelijk is om NEMO aan te passen en opnieuw te kalibreren zodat deze beleidsmaatregelen, (althans ten dele) explicieter kunnen worden doorberekend. Ten aanzien van het berekenen van het effect van een CO₂-belasting op de energie-efficiëntie van de productie kan NEMO bovendien uitgebreid worden met een module voor de simulatie van een markt voor het verhandelen van emissierechten. Zoals op diverse plaatsen in het artikel aangegeven, is dit ook door het CPB gedaan in het kader van verschillende eerdere studies. Het doel van dit artikel is echter een vergelijking van de mogelijkheden en onmogelijkheden van de bestaande versie van NEMO met de andere twee Nederlandse beleidsmodellen op het terrein van energiegebruik. Daarom is gekozen voor het zo goed mogelijk inpassen van de vier beleidsscenario's in de standaard versie van NEMO.

De modelberekeningen laten zien dat voor de periode 2000–2020 in geval van afwezigheid van beleid (nulscenario), van de vier geanalyseerde sectoren, de grootste procentuele toename van het verbruik van elektriciteit te verwachten is in de metaalsector en van het verbruik van brandstoffen in de dienstensector, terwijl voor beide vormen van energie de stijging het geringst is in de voedingsindustrie. Voor wat betreft de energie-intensiteit, laat NEMO voor elektriciteit de grootste afname zien in de dienstensector en de geringste afname in de metaalsector. Bij een relatief geringe jaarlijkse energieprijsstijging (2%, zoals in de basisvariant) is voor brandstof de grootste daling van de energie-intensiteit te verwachten in de voeding- en de dienstensector, terwijl de geringste daling plaatsvindt in de textielsector. Bij een relatief hoge jaarlijkse energieprijsstijging (5%, zoals in de alternatieve variant) is voor brandstof de grootste daling van de energie-intensiteit eveneens te verwachten

voor de voedingsector, terwijl de geringste daling plaatsvindt in de metaalsector. Tenslotte laat een vergelijking van de basisvariant met de alternatieve variant zien dat een energieprijsstijging met 3% (het verschil tussen beide varianten), *ceteris paribus*, leidt tot een afname in het gebruik c.q. de intensiteit van elektriciteit en brandstof met, respectievelijk, 4–10% en 7–12% over een periode van 20 jaar.

Uit het doorrekenen van de beleidsscenario's blijkt dat een emissieheffing op CO₂ tot aanzienlijke effecten kan leiden in termen van energiebesparing. Afhankelijk van de vraag of de stijgende kosten van elektriciteitsproductie worden doorberekend aan de eindverbruikers, zal volgens NEMO voor de periode 2000–2020 de daling in het gebruik en de intensiteit van elektriciteit en brandstoffen ten opzichte van het nulscenario, respectievelijk, maximaal 10% en 20% bedragen. Het effect van de overige beleidsmaatregelen, namelijk een investeringssubsidie van 10% op alle technologie en een zodanige regulering dat alle technologieën met een rendement van meer dan 10% moeten worden geadopteerd door bedrijven, zal naar verwachting zeer beperkt zijn. De verwachte daling in het gebruik en de intensiteit van elektriciteit en brandstoffen bedraagt maximaal 1% ten opzichte van het nulscenario. Nogmaals zij opgemerkt dat deze conclusies sterk gebonden zijn aan de beperkte mogelijkheden om de diverse beleidsmaatregelen in NEMO door te rekenen, zonder daarbij te investeren in aanzienlijke uitbreidingen of aanpassingen van het model.

De belangrijkste toegevoegde waarde van NEMO is dat het, door de koppeling aan het economische bedrijfstakkenmodel ATHENA, geschikt is voor een analyse van het effect van milieubeleidsmaatregelen op zowel het energiegebruik en de energievoorziening, alsook op de economie in de vorm van (macro-economische) kosten en een eventuele verschuiving in de sectorstructuur. Een sterk punt is daarbij dat de belangrijkste parameters voor de substitutiemogelijkheden tussen kapitaal, arbeid en energie in de *top-down* modelstructuur zijn gebaseerd op *bottom-up* informatie over economische en technische aspecten van nieuwe energiebesparende technologieën. Dit maakt dat NEMO een redelijk compleet beeld biedt van de ingewikkelde en dynamische relatie tussen economische groei, energiegebruik en technologische ontwikkeling in Nederland.

Appendix

TABEL A1

Elasticiteiten, trendparameters en afschrijvingsleeftijden

	Trends				Elasticiteiten			Afschrijvings-leeftijd				
	Elektriciteit		Brandstoffen		Elektriciteit		Brandstoffen	Good-h.		a_{min}	a_{max}	
	Verv.	Retrof.	Verv.	Retrof.	Verv.	Retrof.	Good-h.	Verv.	Retrof.	Good-h.		
	α_e	γ_e	α_f	γ_f	β_e	δ_e	θ_e	β_f	δ_f	θ_f		
Voeding	1.14	1.02	0.38	0.34	0.08	0.07	0.06	0.33	0.14	0.02	25	35
Textiel	1.01	0.24	0.16	0.10	0.08	0.04	0.02	0.18	0.17	0.08	30	40
Overige Metalen	0.53	0.47	0.39	0.35	0.08	0.06	0.02	0.14	0.10	0.03	30	40
Diensten	1.07	0.96	0.73	0.20	0.18	0.09	0.06	0.18	0.10	0.02	15 ¹	25 ¹

¹ Elektriciteitswaarde; brandstofwaarden voor a_{min} en a_{max} zijn, respectievelijk, 37 en 47 jaar

TABEL A2

Emissiefactoren (kgCO₂/GJ) voor diverse energiedragers

	Emissiefactor kg CO ₂ /GJ
Natural Gas	56
Olie Producten	73
Fermentatiegas	74
Stoom	73
Kolen	94
Cokes	103
Cokes furniture gas	44
Petrol	73
Diesel	73
LPG	66
Elektriciteit	107

Literatuur

- Beer, J. de, 1998, *Potential for Industrial Energy-Efficiency*, Ph.D. Thesis, Utrecht University, Utrecht.
- Berndt, E.R. en D.O. Wood, 1975, Technology, prices, and the derived demand for energy, *Review of Economics and Statistics*, 57, 259–268.
- Böhringer, C., 1998, The synthesis of bottom-up and top-down in energy policy modeling, *Energy Economics*, 20, 233–248.
- CPB, 2001, *Neveneffecten van het verlenen van subsidies voor energiebesparing*, CPB Notitie, 12 maart 2001, Den Haag.
- CPB, 2002, *Economische effecten van nationale systemen van CO₂-emissiehandel*, CPB Document, no. 19, Den Haag.
- Fuss, M.A., 1977, The structure of technology over time: a model for testing the 'putty-clay' hypothesis, *Econometrica*, 45, 1797–1821.
- Gijssen, A. en J. Spakman, 2001, *DAMES: Een bestand voor de macro-emissies van het Nederlandse elektriciteitsaanbod in 1995, 1998, 2010, 2020 en 2030*, RIVM rapport, no. 773001 017, Bilthoven.
- Jaffe, A.B. en R.N. Stavins, 1994, The energy paradox and the diffusion of conservation technology, *Resource and Energy Economics*, 16, 91–122.
- Koopmans, C.C en D.W. te Velde, 2001, Bridging the energy-efficiency gap: using bottom-up information in a top-down energy demand model, *Energy Economics*, 23, 57–75.
- Koopmans, C.C., D.W. te Velde, W. Groot en J.H.A. Hendriks, 1999, *NEMO: Netherlands Energy Demand Model: A top-down model based on bottom-up information*, CPB Research Memorandum, no. 155, Den Haag.
- Lijesen, M., M. Mulder en M. Vromans, 2001, *Fiscale Vergoening en Energie II. Economische Effecten van Verhoging en Verbreding van de Regulerende Energiebelasting*, CPB Document, no. 006, Den Haag.
- Meijers, H., 1994, *On the Diffusion of Technologies in a vintage Framework. Theoretical Considerations and Empirical Results*, Ph.D. Thesis, Maastricht University, Maastricht.
- Salter, W.E.G., 1960, *Productivity and Technical Change*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Spakman, J. et al. (red.), 1997, *Methode voor de berekening van broeikasgasemissies. Publicatiereeks Emissieregistratie*, VROM report, no. 37, Den Haag.
- Velthuisen, J.W., 1995, *Determinants of Investment in Energy Conservation*, Ph.D. Thesis, Stichting Economisch Onderzoek (SEO), Amsterdam.
- Vuuren, D. van, 1996, *Karakterisering ICARUS-3 Maatregelen ten behoeve van het CPB Energie-model*, Department of Science, Technology and Society, Report no. 96007, Utrecht University, Utrecht.