

September 2000

ECN-RIVM/00-002

**DEFINITIESTUDIE KENNISINSTRUMENTARIUM
VOOR ENERGIE EN EMISSIES**

**Verkenning naar de opbouw van een gezamenlijke kennisstructuur
voor RIVM en ECN**

Verantwoording

Deze rapportage beschrijft de resultaten van een studie die is uitgevoerd in opdracht van en in samenwerking met RIVM. Het doel van de studie was in kaart te brengen op welke manier de gewenste kennisstructuur bij RIVM het best kan worden ontwikkeld, en welke mogelijkheden de bestaande ECN-modellen (alsmede de voorziene ontwikkeling daarin) bieden om deze structuur te bereiken. Het project staat bij ECN geregistreerd onder projectnummer 7.7250.

Namens ECN en RIVM hebben de volgende personen een bijdrage geleverd aan het tot stand komen van deze rapportage:

ECN		RIVM	
M. Beeldman		R. van den Wijngaart	
B.W. Daniëls	F.A.M. Rijkers	R.F.J.M. Engelen	J. Slootweg
P. Kroon	A.J. Seebregts	R.J.M. Folkert	D. Stein
M. de Noord		J.A. Oude Lohuis	H.C. Wilting

Het rapport heeft bij ECN rapportnummer ECN-C--00-082 gekregen. Bij RIVM heeft het rapport nummer 773001016 gekregen.

Abstract

As well at RIVM as at ECN a discussion is going on of how the present set of models for making energy scenarios can be improved. Both institutes intend to reach a mutual co-operation in this process. In this report several possibilities have been explored to improve the combined set of models. Important aspects to be improved are transparency, flexibility and decisiveness. The report starts with a description of the present way scenario calculations are carried out. This leads to the conclusion that there is a need for a model that shows the results of all the detailed models at a more aggregated level. This Integral Energy Model (IEM) gives a quick insight in results and makes it easier for users of the model to understand relations. Furthermore the possibilities have been explored for making more aggregate models compared to the models presently available. Although there seem to be some possibilities to reach this, it is advised to begin with developing the Integral Energy Model and to link it to the present detailed models of ECN/RIVM and/or other parties. In using the IEM the experiences will show whether there still is a need for developing more aggregate models.

INHOUD

1. INLEIDING	4
2. BESCHRIJVING VAN ENERGIESCENARIO-BEREKENINGEN	6
2.1 Opzet van energiescenario-studies in het algemeen	6
2.2 Opzet van NEV-instrumentarium	8
2.3 RIVM-instrumentarium energie en emissies	10
3. STRUCTUUR VAN DE ENERGIEVOORZIENING	13
4. INTEGRAAL ENERGIEMODEL	16
4.1 Specificaties integraal energiemodel	16
4.2 Structuur	17
5. AGGREGATIE VAN GEDETAILLEERDE MODELLEN	19
5.1 Opbouw database van verschillende runs	19
5.2 Aggregatie van SAVE	20
5.2.1 Clustering van maatregelen en koppeling aan instrumenten, een prototype	20
5.2.2 Clustering van maatregelen en koppeling aan instrumenten, toepassing	21
5.3 Warmtekracht	21
5.4 Duurzame energie	24
5.5 Conclusie	24
6. CONCLUSIES	26
BIJLAGE A CAPITA SELECTA NEDERLANDS MODELLENPARK ENERGIE	30
BIJLAGE B BESCHRIJVING INTEGRAAL ENERGIEMODEL	38
BIJLAGE C MAATREGELLEN IN DE VOEDINGS- EN GENOTMIDDELENINDUSTRIE	42

1. INLEIDING

Zowel bij RIVM als bij ECN wordt momenteel gezien hoe het instrumentarium voor het maken van prognoses beter toegesneden kan worden op toekomstige vragen. Binnen dit project is onderzocht langs welke wegen samenwerking op dit gebied voor beide instituten meerwaarde kan opleveren.

RIVM

Het instrumentarium voor het maken van prognoses bij RIVM was gebaseerd op het RIM+. Dit model is niet voldoende geschikt gebleken om vragen op het gebied van energieverbruik en CO₂-emissies te beantwoorden. Bovendien is het instrumentarium sterk afhankelijk van input van derden, waarmee het voor RIVM niet altijd duidelijk is welke veronderstellingen er zijn gedaan. Dit laatste bemoeilijkt het zelfstandig beantwoorden van vragen en leidt ertoe dat de structuur om kennis en inzichten vast te houden ontbreekt. Deze aspecten hebben RIVM doen besluiten te streven naar de opbouw van een nieuw instrumentarium voor de verdere ontwikkeling van haar kennisstructuur. Bij deze ontwikkeling staan de volgende onderwerpen centraal:

- kennis ten aanzien van het energieaanbod,
- kennis ten aanzien van de keten van de gehele energievoorziening,
- vragen kunnen beantwoorden op relevante schaalniveau (meer en meer Europees),
- eenvoudige doorrekeningen maken,
- meer inzicht in veronderstellingen achter de schermen,
- consistentie van gegevens,
- integratie van modellen van andere doelgroepen,
- beleidsrelevante vragen op hoofdlijnen kunnen beantwoorden.

Naast kennisontwikkeling binnen RIVM beoogt het modelinstrumentarium bij te dragen aan eisen die in toenemende mate door de buitenwereld aan het RIVM worden gesteld:

- reproduceerbaarheid,
- consistentie met eerdere resultaten,
- inzicht geven aan derden (wetenschap en beleid) in methodiek,
- verantwoording van keuzes en resultaten,
- inzicht geven en verantwoording afleggen ten aanzien van betrouwbaarheid, gevoelige parameters en onzekerheden.

Op dit moment is in Nederland geen instrumentarium voor de Nederlandse energievoorziening beschikbaar dat voldoet aan alle bovengenoemde eisen. Het project beoogt in deze leemte te voorzien. Er wordt gestreefd naar een instrumentarium met de volgende specificaties:

- het doorrekenen van de effecten van veranderingen in een deelgebied op de gehele energievoorziening,
- het doorrekenen van beleidsinstrumenten die sectoroverstijgend zijn,
- het vastleggen van scenario's,
- het als gebruiker interactief kunnen construeren van varianten en gestileerde scenario's,
- het inzichtelijk incorporeren van relaties op macroniveau van de resultaten van bestaande modellen,
- het als gebruiker eenvoudig en interactief kunnen wijzigen van genoemde relaties, uitgangspunten en parameters,
- het voldoende meenemen van de interface met de Europese omgeving.

ECN

Vanuit inhoudelijk oogpunt voldoet het huidige instrumentarium van ECN grotendeels aan de wensen die RIVM stelt ten aanzien van het nieuw te ontwikkelen instrumentarium. De mate van detail gaat in het algemeen echter dieper dan nodig voor RIVM, waarbij de structuur van de modellen zodanig is dat de toegankelijkheid voor derden vaak moeilijk is.

Binnen ECN leeft echter ook de wens om het instrumentarium slagvaardiger en toegankelijker te maken, waardoor de flexibiliteit en de snelheid waarmee globale resultaten verkregen kunnen worden toeneemt. Dit betekent dat ook andere medewerkers dan de modelexperts de modellen kunnen draaien en op hoofdlijnen analyses kunnen maken. Binnen het project BS-kennisinstrumentarium wordt sinds vorig jaar onderzocht langs welke weg dit doel het beste kan worden bereikt.

Hiernaast oriënteert ECN zich ten aanzien van de transportsector momenteel op welke onderdelen en op welke wijze modeluitbreiding voor deze sector noodzakelijk is. Dit is juist een punt waar het instrumentarium van RIVM meer mogelijkheden biedt.

Al verschilt de startsituatie ten aanzien van het modelinstrumentarium dus sterk, de richting waarnaar de gewenste ontwikkeling van het instrumentarium voor RIVM en ECN vertoont een duidelijke convergentie. Dit is de basis geweest voor deze definitiestudie. De structuur van deze rapportage is als volgt.

In Hoofdstuk 2 wordt kort ingegaan op het instrumentarium dat ECN momenteel gebruikt voor scenariostudies en de manier waarop dat gebeurt.

In de definitiestudie is gekozen voor een twee-richtingspoor. Enerzijds is onderzocht hoe een integraal energiemodel voor de gehele energievoorziening eruit dient te zien. Dit wordt beschreven in Hoofdstuk 3. Anderzijds is voor zowel de vraag- als de aanbodkant meer specifiek bepaald in hoeverre de bij ECN gebruikte modellen kunnen worden ingezet/omgezet voor een gebruik op wat hoger abstractieniveau.

In Hoofdstuk 4 wordt hier nader op ingegaan. In Hoofdstuk 5 wordt ingegaan op de conclusies van deze studie en hoe het traject het best kan worden voortgezet.

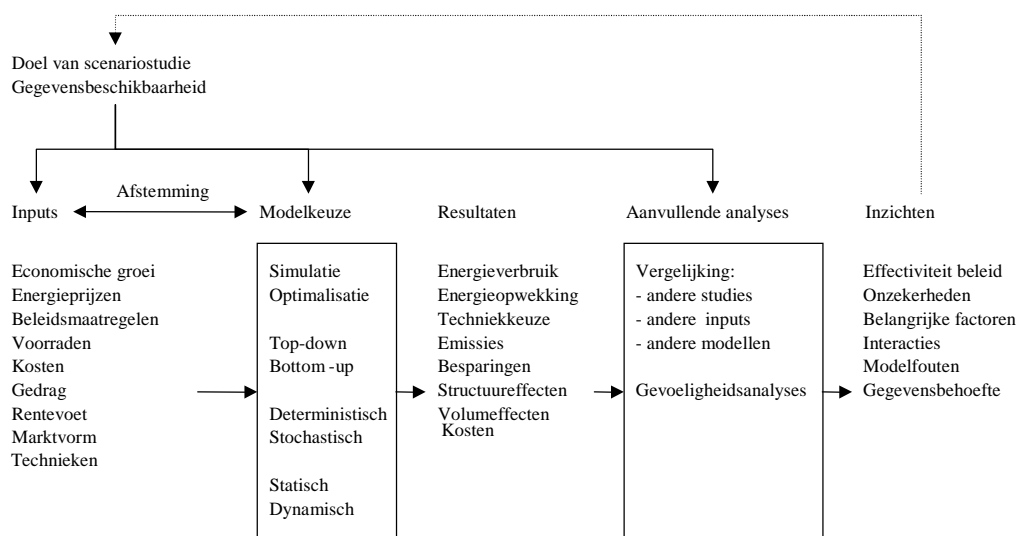
2. BESCHRIJVING VAN ENERGIESCENARIO-BEREKENINGEN

Voordat de mogelijkheden verkend worden van een nieuw te ontwikkelen instrumentarium, is het goed eerst stil te staan bij het huidige beschikbare instrumentarium en de activiteiten die daarmee uitgevoerd worden. Dit hoofdstuk geeft informatie over energiescenario's in het algemeen en gaat vervolgens in op het huidige instrumentarium dat ECN en RIVM ter beschikking hebben. Een breder overzicht van energiemodellen (inclusief die bij diverse andere instituten) is opgenomen in Bijlage A.

2.1 Opzet van energiescenario-studies in het algemeen

Het begrip scenario kent uiteenlopende interpretaties, variërend van een verzameling inputs, tot een samenhangend geheel van alle uitgangspunten en resultaten. Scenariostudies pogen, onafhankelijk van deze definitiekwestie, met inputs en daartussen bestaande samenhangen als uitgangspunt, het inzicht te verhogen in ontwikkelingen op een bepaald gebied.

Energie-scenariostudies richten zich op het verkrijgen van inzicht in ontwikkelingen op energiegebied, uitgaande van bijvoorbeeld economische en technische ontwikkelingen, overheidsbeleid en het gedrag van actoren. De schakel die met de inputs de resultaten genereert is een model of een verzameling van modellen. In deze (computer)modellen zijn allerlei directe en indirecte verbanden tussen de uitgangspunten en de ontwikkelingen op energiegebied gekoppeld.



Figuur 2.1 *Schema dat de globale opzet van energiescenario-studies weergeeft*

De opzet van scenariostudies kan sterk uiteenlopen. Sommige scenariostudies onderzoeken met name hoe bepaalde doelstellingen het beste bereikt kunnen worden, uitgaande van bepaalde randvoorwaarden. Andere studies zijn vooral gericht op het voorspellen van wat er waarschijnlijk zal gebeuren bij bepaalde uitgangspunten. De keuze van de modellen en de soort inputs hangt nauw samen met de doelen van een studie.

Figuur 2.1 geeft een schema met een globale opzet van scenariostudies, met de rol en onderlinge relaties van inputs, modellen, resultaten en de verworven inzichten. Tevens is een mogelijke invulling van de onderdelen gegeven. Het schema geeft ook aan dat in het verleden verworven inzichten weer verwerkt kunnen worden in actualiseringen van de scenariostudies.

Inputs

In het algemeen worden onder inputs alleen de gegevens verstaan die in de modellen ingevoerd worden en niet de in de modellen vastgelegde structurele relaties tussen verschillende factoren, hoewel deze grens niet altijd duidelijk is. Inputs kunnen variëren van een losse verzameling gegevens tot een samenhangend geheel van in onderlinge afstemming gekozen uitgangspunten. Dit laatste is bijvoorbeeld het geval als vooronderzoek is gedaan naar de waarschijnlijkheid dat bepaalde ontwikkelingen zich tegelijkertijd voordoen, of wanneer de inputs grotendeels ontleend zijn aan de resultaten van andere scenariostudies, bijvoorbeeld economische of technologische scenariostudies.

Inputs kunnen bestaan uit bijvoorbeeld startwaarden, exogene ontwikkelingen, en parameters die de relatie tussen verschillende factoren mee helpen definiëren, bijvoorbeeld de capaciteit van bepaalde installaties in het startjaar, energieverbruik in het startjaar etc. Exogene ontwikkelingen omvatten vaak de internationale politiek-economische ontwikkelingen, economische groei, eventueel per sector, implementatie van beleidsmaatregelen, energieprijzen, beschikbaarheid van technieken, bevolkingsgroei etc. Parameters die de relatie tussen verschillende factoren mee helpen definiëren zijn bijvoorbeeld prijselasticiteiten en rentevoeten, etc. Terwijl de modellen aangeven op welke manier dit soort factoren doorwerken (structuur), bepalen de inputgegevens de sterkte van deze doorwerking.

Modellen

Modellen zijn de componenten van scenariostudies waarin de structuur van het te onderzoeken gebied is vastgelegd. Modellen leggen vast op welke manier verschillende factoren met elkaar in verband staan.

Op grond van hun werking zijn modellen te onderscheiden naar bijvoorbeeld optimalisatiemodellen, simulatiemodellen, deterministische en stochastische modellen. Door het voorkomen van hybride situaties is een indeling in categorieën niet altijd zinvol. Het Gastale-model van Beleidstudies bijvoorbeeld, simuleert via het optimaliserend gedrag van gasproducenten de ontwikkelingen op de Europese gasmarkt.

Een belangrijk onderscheid is dat tussen bottom-up en top-down modellen. Bottom-up modellen werken met de kleinste functionele eenheden van een systeem, vaak vanuit causale verbanden. Top-down modellen rekenen op een meer geaggregeerd niveau met behulp van vaak statistische verbanden. Een voorbeeld is het gedrag van aanbieders en kopers op een (energie) markt. Door gedrag van individuele actoren op de markt in een model te simuleren kan bijvoorbeeld een marktprijs berekend worden. Maar door in het model te werken met prijselasticiteiten van vraag en aanbod, eigenschappen van de aanbieders en vragers als groepen, kan hetzelfde resultaat zeer goed benaderd worden. Zuivere top-down en bottom-up modellen komen overigens bijna niet voor; de meeste modellen bevinden zich tussen beide uitersten.

Top-down modellen zijn vooral geschikt voor situaties waarin alleen geaggregeerde resultaten belangrijk zijn, terwijl bottom-up modellen meer inzicht bieden in onderliggende factoren en vaak de mogelijkheid bieden uitsplitsingen op het niveau van afzonderlijke actoren te maken. Top-down modellen zijn alleen geschikt voor generiek beleid (b.v. heffingen), bottom up modellen kunnen ook specifieke instrumenten, regelgeving en plafonds aan.

Bottom-up modellen bevatten ook fysieke verbanden (b.v. opdeling van de totale woningvoorraad) en jaargangenaanpak. Bottom-up modellen zijn geschikt voor het analyseren van concrete nieuwe fenomenen, bijvoorbeeld relevante sectorale ontwikkelingen, specifiek beleid, technologie.

Door in modellen de expertise van verschillende specialisten vast te leggen en in de inputs gegevens vanuit verschillende bronnen vast te leggen kunnen de mogelijkheden van een model die van (teams van) individuele deskundigen verre overstijgen. Modellen zijn in feite een formele vastlegging van conceptuele denkmodellen en menselijke expertise.

Resultaten

De resultaten van een scenario-berekening zijn een afgewogen beoordeling en aggregatie van modeloutputs. Ze zijn een rechtstreeks uitvloeisel van de inputdata en de modellen. De resultaten omvatten bijvoorbeeld de ontwikkeling van het energiegebruik per energiedrager en hieraan gekoppelde emissies, kosten van energiegebruik, toepassing van en investeringen in energietechnieken en besparingen.

Scenariostudies gaan gewoonlijk verder dan alleen de berekening van de resultaten. Om bijvoorbeeld het effect van een specifieke factor, zoals een bepaalde beleidsmaatregel, vast te kunnen stellen zijn vaak meerdere modelberekeningen nodig waarbij slechts een factor tegelijkertijd wordt veranderd. Scenariostudies omvatten dan ook vaak vergelijkende modelberekeningen en aanvullende analyses, zoals gevoeligheidsanalyses.

Inzichten

Met energie-scenariostudies is het mogelijk om met een grote hoeveelheid kennis, gebundeld in de invoerdata en de modellen, inzichten te verkrijgen die met analyses op onderdelen niet bereikbaar zijn. Scenario-analyses maken het mogelijk om het uiterste te halen uit de beschikbare gegevens en inzichten, en via integratie van kennis op verschillende gebieden grotere verbanden en invloeden te ontdekken.

Voor het verkrijgen van inzicht is het vaak nodig om vergelijkende analyses uit te voeren. De vergelijking kan betrekking hebben op berekeningen met bijvoorbeeld andere inputs en andere modellen.

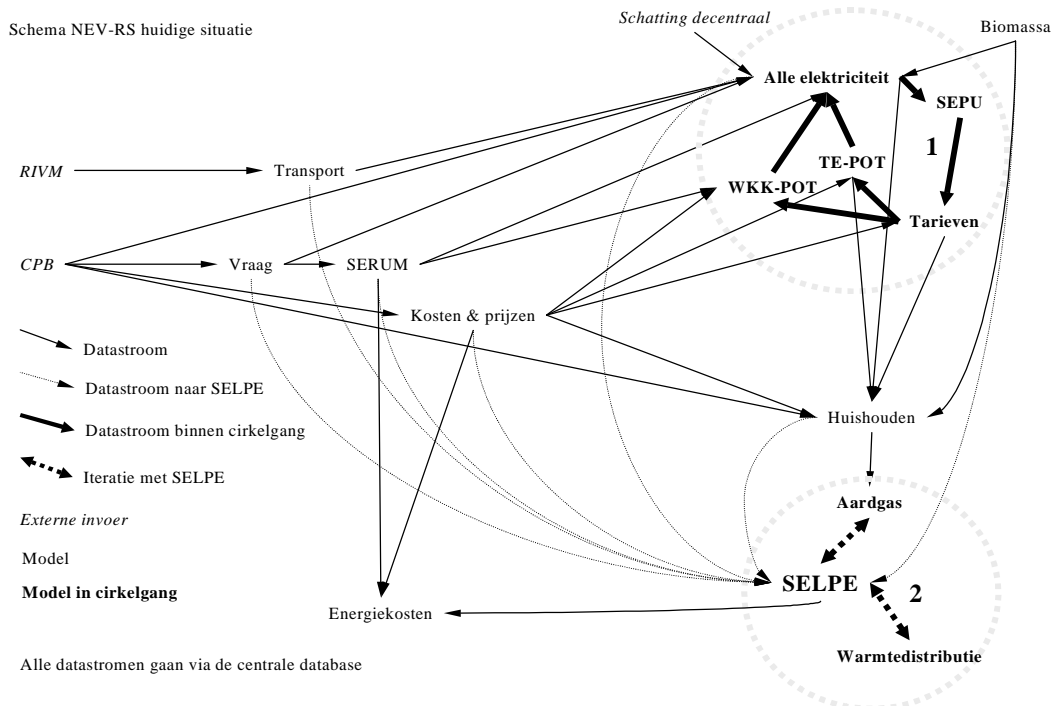
2.2 Opzet van NEV-instrumentarium

Het NEV-instrumentarium, of NEV-RS (NEV-RekenSysteem) is het modellensysteem van ECN Beleidsstudies waarmee scenario-analyses gedaan worden voor het nationale energieverbruik, op een zeer gedetailleerd niveau. Het NEV-RS bestaat uit deelmodellen die voor een belangrijk deel ook zelfstandig gebruikt worden. De resultaten omvatten de ontwikkeling van de Nederlandse energieopwekking, uitgesplitst naar sectoren, technieken en energiedragers in tijdstappen van 5 jaar. Momenteel wordt er aan gewerkt Europese gas- en elektriciteitsmodellen op te nemen in het NEV-rekensysteem, omdat dit nodig is om de nationale ontwikkelingen te kunnen schetsen.

Het NEV-RS kan ook gekoppeld worden met de SAVE-modellen. Deze berekenen het energieverbruik van sectoren in afhankelijkheid van economische groei, energieprijzen, en overheidsbeleid. Bij koppeling berekent het totale systeem de ontwikkeling van zowel energieverbruik als -opwekking, uitgesplitst naar sectoren, technieken en energiedragers.

Het NEV-RS gebruikt verschillende inputgegevens. Van het CPB worden de economische scenario's gebruikt evenals de energieverbruikprognoses, de laatste overigens niet bij koppeling met de SAVE-modellen. Van het RIVM worden transportdata gebruikt. Verder gebruikt het allerlei gegevens van BS of gegevens die door BS uit andere bronnen zijn gedestilleerd, met name op het gebied van techniek, gedrag van actoren en kostengegevens.

Binnen het NEV-RS zijn de modelresultaten vaak weer een onderdeel van de invoer van andere modellen. Hierbij komen ook cirkelgangen voor: resultaten van een model die via invoer in andere modellen weer de invoer voor het betreffende model beïnvloeden. Onderstaand schema geeft een overzicht van de informatiestromen binnen het NEV-RS. Alle gegevensstromen lopen via een centrale database, waarin zowel de oorspronkelijke inputs, intermediaire resultaten als de eindresultaten staan.



Figuur 2.2 Schema met de verbanden tussen deelmodellen van het NEV-rekensysteem

Het NEV-RS omvat verschillende typen modellen, met uiteenlopende complexiteit. Als verzameling modellen is het NEV-RS erg moeilijk in een categorie onder te brengen. De huidige opbouw komt voort uit de wens het Nederlandse energiesysteem zeer gedetailleerd en realistisch te beschrijven, en consequenties van allerlei ontwikkelingen voor het Nederlandse energiesysteem te kunnen doorgronden en voorspellen. De modellen verschillen onderling in de mate waarin ze top-down dan wel bottom-up opgezet zijn. Sommige onderdelen zijn statisch gemodelleerd (voor een jaar tegelijk), andere dynamisch (meerdere jaren tegelijk, bijvoorbeeld in een jaargangenbenadering). Tabel 2.1 geeft per model een zeer korte beschrijving van werking en doel.

Tabel 2.1 *Deelmodellen van het NEV-RS en de SAVE-modules*

Model	Beschrijving
Vraag	Zet CPB-gegevens om in energievraag per sector
Transport	Zet RIVM-gegevens om in energievraag voor transportsector
SERUM	Optimaliseert inzet raffinaderijen, berekent energievraag raffinaderijen
Kosten en prijzen	Zet CPB-gegevens om in kostprijsgegevens energiedragers voor NEV-modellen
Alle elektriciteit	Bepaalt de beschikbare opwekkingscapaciteit
Biomassa	Berekent energieopwekking uit biomassa
SEPU	Bepaalt inzet van elektriciteitscentrales om elk moment aan de vraag te voldoen
Tarieven	Berekent elektriciteitstarieven aan de hand van de SEPU-resultaten en kostengegevens
Warmtekracht-koppeling-POT	Berekent het potentieel voor grootschalige warmtekrachtkoppeling
TE-POT	Berekent het potentieel voor kleinschalige warmtekrachtkoppeling
Huishoudens	Berekent energievraag huishoudens naar functie en woning type
Aardgas	Berekent leveringen aardgas en verdelingen over leveranciers
Warmtedistributie	Berekent warmtevraag
SELPE	Minimaliseert kosten voor energievoorziening
Energiekosten	Berekent kosten voor energievoorziening
Vraagmodellen die aan het NEV-RS gekoppeld kunnen worden.	
SAVE-huishoudens	Berekent energievraag en besparingen in huishoudens
SAVE-utiliteit	Berekent energievraag en besparingen in utiliteitsbouw
SAVE-productie	Berekent energievraag en besparingen in industrie

Het NEV-RS bestond oorspronkelijk uit het SELPE-model dat de kosten van de Nederlandse energievoorziening minimaliseert. Voor het simuleren van ontwikkelingen in afzonderlijke sectoren is dit echter onbevredigend, met name omdat een dergelijke kostenminimalisatie niet aansluit bij de mechanismen die de ontwikkelingen in werkelijkheid bepalen. Naast het SELPE-model zijn meerdere modellen ontstaan die afgestemd zijn op de specifieke karakteristieken van deelgebieden. Veel deelmodellen zijn gericht op het simuleren van de beslissingen van relevante actoren, in afhankelijkheid van prijzen, economische groei, en beleid. Andere modellen berekenen bijvoorbeeld tarieven, inzet van elektriciteitscentrales, energiegebruik van raffinaderijen. In de loop van de tijd is het SELPE-model steeds verder teruggedrongen tot zijn huidige rol van consistentiebewaker, waarmee het min of meer fungeert als een boekhoudmodel, dat er voor zorgt dat vraag en aanbod met elkaar in evenwicht zijn.

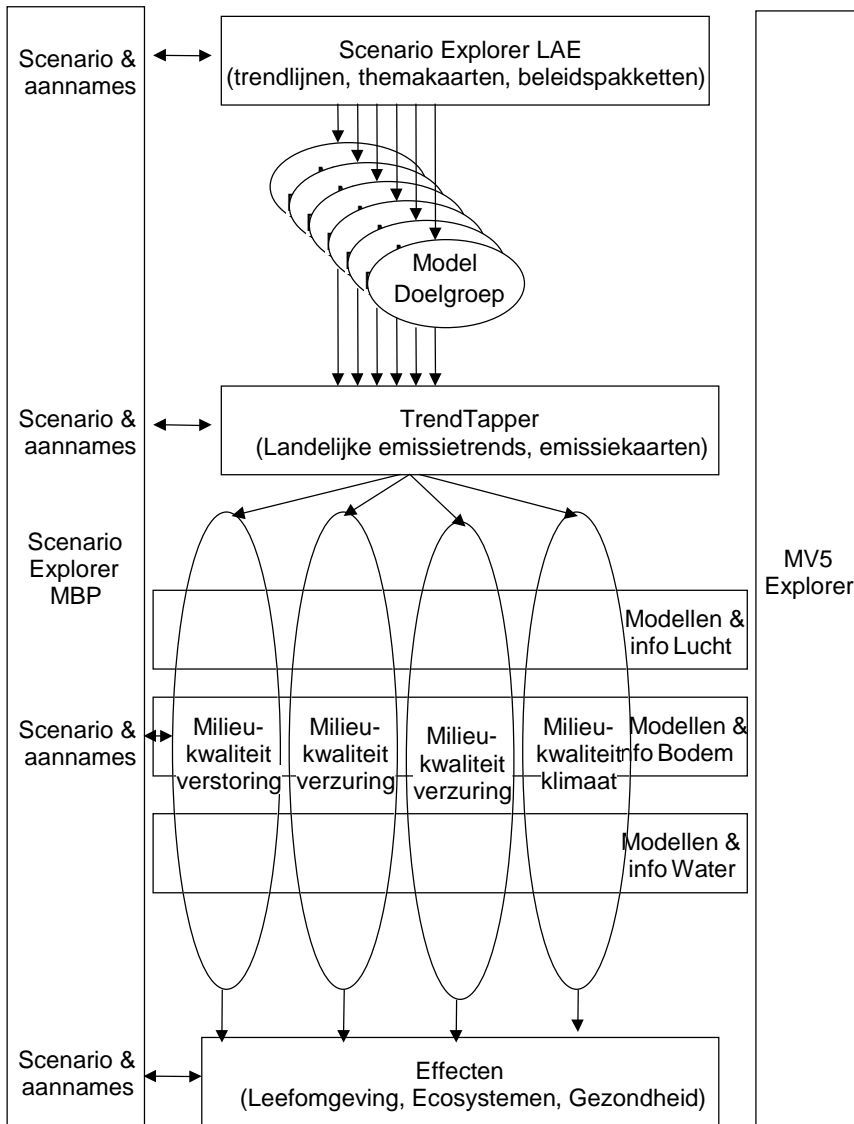
Het NEV-RS en de afzonderlijke deelmodellen worden ingezet bij diverse studies. Het NEV-RS is een van de belangrijkste structuren waarin de expertise van BS op het gebied van nationale energieontwikkelingen is vastgelegd en wordt geactualiseerd. Deze structuur wordt steeds weer verder ontwikkeld, uitgebreid en aangepast aan recente ontwikkelingen en ontwikkelingen die voor de toekomst worden voorzien.

Momenteel zijn met name de liberalisering van de energiemarkt, internationalisering en verving tussen vragers en aanbieders belangrijke ontwikkelingen. Hierdoor veranderen de factoren die de ontwikkelingen bij met name de elektriciteitsproductie en –distributie en gaswinning en –distributie sturen. In het NEV-RS worden deze ontwikkelingen verwerkt door middel van modelaanpassingen, incorporatie van nieuwe modellen en de integratie van de SAVE-modellen in het systeem. Zowel schema als tabel zijn dan ook slechts momentopnames van het modellen-systeem.

2.3 RIVM-instrumentarium energie en emissies

Het RIM+ instrumentarium dat onlangs is afgeschaft was te gedetailleerd en te star voor RIVM doeleinden met name voor het verkennen van toekomstige emissies die samenhangen met het energiegebruik in Nederland. Enkele nadelen waren een grote mate van gedetailleerdheid van energieprocessen en het veelal niet kunnen wijzigen van de samenstelling van de energieprocessen in een toekomstig zichtjaar (de mix was gebaseerd op het basisjaar 1995).

Thans wordt een instrumentarium ontwikkeld waarbij de doelgroepen binnen het LAE op basis van algemene scenariogegevens het energiegebruik inschatten en vertalen naar emissies, zie Figuur 2.3 (Maas,1999). De scenariogegevens zijn afkomstig van een centrale scenariodatabase. De emissies worden opgenomen in een centraal databestand: de trendtapper. Met de trendtapper is voorzien in het vastleggen en verwerken van de emissies van alle doelgroepen.



Figuur 2.3 Informatiestromen van scenario-explorer van Milieuplanbureau en LAE via emissie trendtapper naar effecten ten behoeve van de vijfde Milieuverkenningen (RIVM)

Voor het inschatten van het energiegebruik en de daarmee samenhangende emissies zijn en/of worden door de doelgroepen databestanden en modellen ontwikkeld. Echter een overzicht van het totale energiegebruik alsmede de mogelijkheden om integraal over alle doelgroepen energiebesparing en emissiereductie door te rekenen ontbreken. Om op hoofdlijnen beleidsrelevante vragen te kunnen doorrekenen is een integraal model van energievraag en -aanbod gewenst (Heiligenberg,1999). De Definitiestudie richt zich op:

1. het energieaanbod en de daarmee samenhangende emissies (specifiek voor de doelgroep Energie),
2. een integrale benadering van het energievraag en -aanbod en de daarmee samenhangende emissies van alle doelgroepen.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de doelgroepmodellen (zie ook Bijlage A)

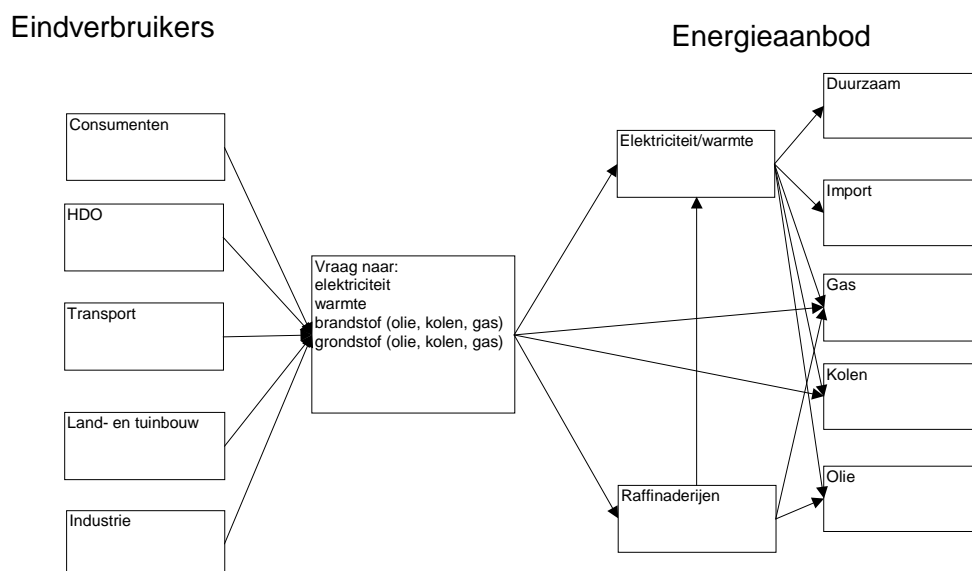
Tabel 2.2. *Doelgroepmodellen van RIVM/LAE*

Model	Beschrijving
DIMITRI	Energie- en materiaalgebruik van nieuwe technologieën
STREAM	Fysieke en economische productie van industriële sectoren
MEI-EI	Energiebesparing in de industrie op basis van omgevingskenmerken
DUBO	Energiebesparingsmaatregelen van Duurzaam Bouwen in de gebouwde omgeving
ATTACK	Energieverbruik en emissies van vracht- en bestelauto's
FACTS	Energieverbruik en emissies van personenauto's
CONSUMENTEN	Direct en indirect energiegebruik van consumptie door huishoudens
STEIN	Rekenregels voor energie- en koolstofintensiteit van de economie
MONNIE	Milieukosten

3. STRUCTUUR VAN DE ENERGIEVOORZIENING

De beschrijving en modellering van de energievoorziening kan vanuit verschillende invalshoeken gebeuren. In dit hoofdstuk wordt aan de hand van de structuur van de voorziening een voorstel afgeleid voor de meest geschikte invalshoek voor het integrale energiemodel. De energievoorziening kan geschetst worden als een matrix van sectoren (huishoudens, industrie, etc) en technologieën (warmtekracht, HR-ketel, isolatie, etc). Deze combinatie is uiteindelijk bepalend voor het daadwerkelijke energieverbruik en de bijbehorende emissies. Bij een modelmatige aggregatie kan gekozen worden voor een dwarsdoorsnede van de sector of een dwarsdoorsnede per technologie.

Geredeneerd vanuit de sector worden grenzen getrokken bij de aansluiting tussen eindverbruik en energieleverancier (zie Figuur 2.3). Links zijn de diverse eindverbruikssectoren aangegeven. De vraag naar energiedragers kan worden opgesplitst in warmte (vanuit een warmtenet), elektriciteit, gas en overige brandstoffen. Deze producten worden geleverd door het aanbod, eventueel via de tussenstappen van elektriciteits/warmtevoorziening en raffinaderijen.



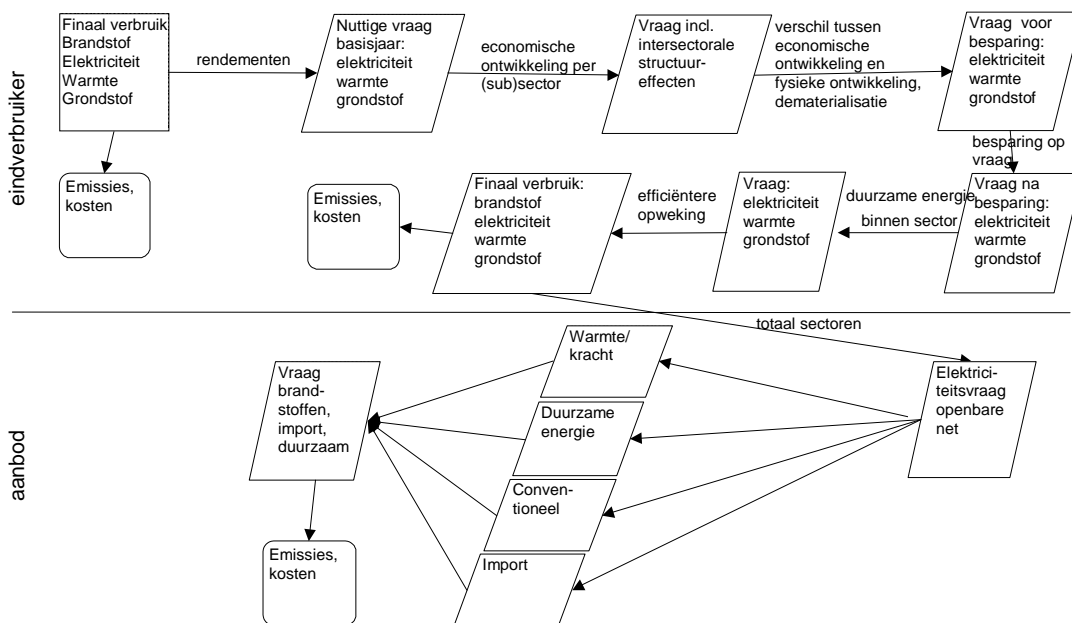
Figuur 2.3 *Vraag- en aanbodsectoren*

Bij benadering vanuit de sector valt alle omzetting van energie die binnen de sector plaats vindt (zoals zonneboilers en warmtepompen in huishoudens, warmtekracht in de industrie, windmolen bij een boerderij) onder de betreffende sector, de processen in de aanbodsectoren vallen onder het aanbod (warmtedistributie, windmolenparken, elektriciteitscentrales). Het ligt voor de hand de resultaten voor wat betreft energiestromen, balansen en emissies zoveel mogelijk langs dit spoor te presenteren.

Voor de dwarsdoorsnede per technologie is de actorenbenadering (wie is de eigenaar, wie investeert waarin, etc.) minstens zo belangrijk. Dit geldt zodra beslissingen over energieconversieprocessen sectoroverschrijdend zijn (plaatst de industrie zelf een ketel of wordt een joint-venture gestart met een distributiebedrijf) of zodra juist de energieconversieprocessen direct of indirect met elkaar concurreren (onafhankelijk van de sector). Ook kan in scenario's de grens tussen eindverbruikssectoren en energieaanbod verschuiven (warmtekrachtinstallatie in eigen beheer of in beheer van een distributiebedrijf).

In Figuur 2.4 is aan de hand van de sectorbenadering schematisch aangegeven hoe voor scenariostudies het toekomstig energieverbruik wordt bepaald. Er wordt gestart vanuit de vraag in het basisjaar van de eindverbruikssector (excl. transportsector). Op basis van het finaal verbruik (zoals terug te vinden in energiestatistieken) wordt met behulp van rendementen in het basisjaar bepaald hoe groot de nuttige vraag in het basisjaar is geweest (in termen van warmte, elektriciteit, grondstof). Dit dient als uitgangspunt voor het bepalen van de vraag in zichtjaren. De weg om vervolgens te komen tot de vraag in het zichtjaar is op te delen in verschillende stappen. Deze stappen zijn soms niet onafhankelijk van elkaar. Waar dit heel evident is wordt daar in de modellering rekening mee gehouden, indien de verbanden minder sterk zijn wordt daarvan geabstraheerd.

Allereerst wordt aan de hand van de economische groei bepaald hoe hoog de energievraag zou zijn, als deze per sector zou groeien volgens de economische groei (het zgn. volume-effect). Als de onderscheiden sectoren verschillende groeivoeten kennen, ontstaat daarmee al een eerste structureffect. Vervolgens wordt bepaald in hoeverre de ontwikkeling van de energieverbruik bepalende grootheden afwijkt van de economische groei van de sector (intrasectoraal structureffect). Hierbij speelt dematerialisatie vaak ook al een rol. Op deze manier ontstaat een vraag voor besparing. De besparing wordt vervolgens opgedeeld in verschillende stappen conform de trias energetica (vermijden, duurzaam, efficiënt). Hiervoor geldt, nog meer dan hiervoor, dat deze stappen zeker niet onafhankelijk van elkaar zijn. Ook geldt dat bepaalde vormen van duurzame energie en efficiënte opwekking die binnen de sector kunnen worden toegepast, concurreren met het energieaanbod.



Figuur 2.4 Sectorbenadering voor het bepalen van de energievraag

Uiteindelijk resulteert op sectorniveau een vraag naar elektriciteit, naar warmte, brandstof en grondstof. In deze vraag wordt voorzien door het energieaanbod. In Figuur 2.4 is ter illustratie het aanbod van elektriciteit weergegeven. In de elektriciteitsvraag kan worden voorzien door verschillende technieken.

Het uiteindelijke doel voor het integrale energiemodel is de gehele energievoorziening inclusief de energievraag van eindverbruikers te dekken, weliswaar op een relatief hoog abstractieniveau. Dit model wordt gevoed door meer gedetailleerde modellen. Voorgesteld wordt in de modellering de sectorbenadering te gebruiken voor de structuur van het model, maar voor de technologiekeuze de actorenbenadering te kiezen. Dit houdt in dat afwegingen m.b.t. de inzet van duurzame energie, efficiënte opwekking en brandstofkeuze voor zover deze binnen eindverbruikerssectoren plaats vinden ook daar gemodelleerd worden. In het grijze gebied waar deze splitsing niet eenduidig mogelijk is (bijvoorbeeld joint-ventures voor warmtekracht), wordt zoveel mogelijk aangesloten bij de structuur van de bestaande meer gedetailleerde modellen.

In Hoofdstuk 4 wordt verder ingegaan op het integrale model, in hoofdstuk 5 op de aggregatie van meer gedetailleerde modellen.

4. INTEGRAAL ENERGIEMODEL

Het doel van het project is de bouw van een kennisinstrumentarium waarmee de gehele keten van de Nederlandse energievoorziening kan worden doorgerekend op energiegebruik, CO₂-emissie en overige emissies (NO_x, SO₂, VOS en fijn stof). Met dit instrumentarium moeten (beleidsrelevante) vragen op het gebied van prognoses en oplossingsrichtingen voor energiege-relateerde emissies op hoofdlijnen kunnen worden doorgerekend. Belangrijke aspecten hierbij zijn onder meer potentieel, kosten en implementatiemogelijkheden van oplossingsrichtingen en effectiviteit van beleidsinstrumenten. Het integrale energiemodel dient echter op een hoger ab-stractioniveau een beeld te geven van de energievoorziening dan het NEV-instrumentarium dat in het vorige hoofdstuk is beschreven. Paragraaf 4.1 gaat dieper in op de specificaties van het model.

4.1 Specificaties integraal energiemodel

Het integrale energiemodel beslaat qua sectoren en zichtperiode vrijwel hetzelfde veld als het NEV-instrumentarium. Dit betekent dat:

- het model de gehele keten van economie van BBP-groei tot gebruik energiedragers omvat; vragen die met de energievoorziening te maken hebben moeten integraal kunnen worden beantwoord,
- zichtjaren 2010-2020-2030, basisjaar 1995 (of iets later als data volledig beschikbaar zijn).

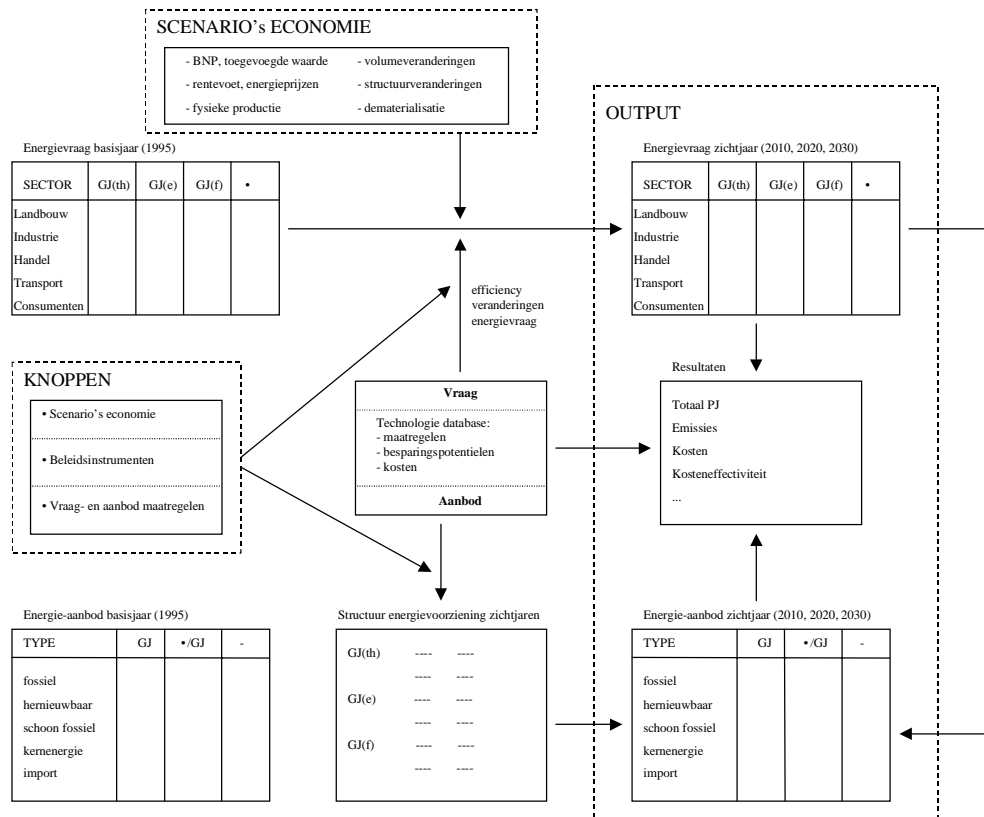
Belangrijk verschil is echter dat het gaat om het vastleggen van globale relaties; niet op maat-regelniveau. Er wordt gebruik gemaakt van uitkomsten van andere gedetailleerde analyses van andere partijen. Het aggregatieniveau moet hoog zijn. Er wordt een beperkt aantal verschillende sectoren van de samenleving onderscheiden.

Het integrale model dient uiteindelijk antwoord te kunnen geven op een scala aan vragen, zoals:

- Hoe verloopt de finale energievraag c.q. energie behoefte (met verdeling naar energiedra-gers) voor de verschillende doelgroepen?
- Hoe ziet op hoofdlijnen de energie-aanbodverdeling (elektriciteit en andere energiedragers) er uit en wat zijn de resulterende emissies?
- Hoe verlopen de CO₂-emissies en de emissies van NO_x, SO₂, fijn stof en VOS voor de ver-schillende doelgroepen?
- Welke oplossingsrichtingen zijn mogelijk voor de beperking van de emissies? Wat zijn hiervan de potentiële en kosten (o.a. investeringskosten, jaarlijkse kosten, kosteneffectivi-teit)? Wat zijn bijbehorende randvoorwaarden?
- Wat zijn mogelijkheden voor overheidsbeleid (o.a. effectiviteit van 4 verschillende soorten beleidsinstrumenten)?

4.2 Structuur

In Figuur 4.1 wordt de globale structuur van een integraal energiemodel geschetst. In Bijlage B is een indicatieve beschrijving opgenomen welke elementen het model uiteindelijk zal bevatten.



Figuur 4.1 *Structuur integraal energiemodel*

Idealiter zou de gebruiker direct het effect willen zien van het draaien aan één knop op alle onderscheiden onderdelen. Als bijvoorbeeld de Regulerende Energie Belasting verhoogd wordt, moet direct het uiteindelijke effect op de nationale CO₂-emissie van Nederland duidelijk worden, waarbij tevens inzicht wordt geboden in hoe dit effect is opgebouwd (vraagbesparing per sector, extra duurzame energie, etc).

Zowel vanuit de haalbaarheid van de modellering als vanuit de wenselijkheid voor de gebruiker wordt echter in eerste instantie uitgegaan van het draaien in stappen. De gebruiker 'loopt' van onderdeel naar onderdeel, waarbij de gebruiker per stap aangeeft hoe de betreffende stap genomen wordt. Hij/zij krijgt een overzicht van relevante inputs, tussenresultaten van vorige stappen etc. Op basis hiervan heeft de gebruiker 3 mogelijkheden om tot de output van het betreffende modelonderdeel te komen:

- 1 De gebruiker maakt gebruik van een reeds bestaand (meer gedetailleerd) model, dat op de achtergrond draait.
- 2 De gebruiker maakt gebruik van meer globale relaties die in het model worden gedefinieerd.
- 3 De gebruiker bepaalt zelf de output.

ad1: Meer gedetailleerd model

In dit geval zal op basis van de input, zoals die in het integrale energiemodel wordt gedefinieerd, een koppeling worden gelegd met de meer gedetailleerde modellen, zoals ECN en RIVM die beschikbaar hebben (modellen voor energievraag, transport, energieaanbod). Het gaat er vooral om de input en output te bepalen, die op het niveau van het globale energiemodel be-

schikbaar moet zijn. Ook dienen afspraken te worden gemaakt over gebruik, beheer en onderhoud van de gedetailleerde modellen.

ad2: Globale relaties

Op basis van de diverse modellen, die nu reeds in gebruik zijn kunnen meer globale relaties worden afgeleid. Dit leidt tot tijdwinst tijdens gebruik van het integrale model en kan ook de transparantie vergroten. In het volgende hoofdstuk is deze weg voor een aantal modellen nader onderzocht.

ad3: Gebruiker bepaalt output

In sommige gevallen wil de gebruiker zich niet noodzakelijkerwijs laten leiden door de uitkomsten van modellen, maar wil hij/zij gevoel krijgen, voor de consequenties van bepaalde uitkomsten. Dit is bijvoorbeeld het geval als snel gevoel moet worden verkregen voor het technisch potentieel, los van de effectiviteit van beleidsinstrumenten om dit daadwerkelijk te bereiken. Ook wanneer er belangrijke onzekerheden spelen (bijvoorbeeld de groei van warmtekracht) kan het handig zijn, de uitkomst van het warmtekrachtvermogen even handmatig te kunnen vastzetten, om vervolgens te bepalen wat het effect op de rest van de voorziening is. Deze mogelijkheid vergt waarschijnlijk relatief beperkte modellering, maar vraagt van de gebruiker wel behoedzaamheid bij interpretatie van de resultaten.

Bij mogelijkheid 1 en 3 is de behoefte aan nieuw inhoudelijk instrumentarium beperkt, bij mogelijkheid 2 dient nieuw instrumentarium ontwikkeld te worden. Voor alle mogelijkheden geldt dat wel een grote inspanning nodig is voor een overzichtelijke en consistente koppeling van de verschillende onderdelen.

5. AGGREGATIE VAN GEDETAILLEERDE MODELLEN

Binnen dit project is de haalbaarheid onderzocht om enkele modellen die ECN nu reeds gebruikt te vertalen naar een meer geaggregeerd niveau. Enerzijds dient dit omdat de mate van detail die ECN in de modellen onderscheidt voor RIVM vaak niet nodig is, anderzijds kunnen meer geaggregeerde modellen als basis dienen voor het integrale energiemodel. Om deze haalbaarheid te onderzoeken is een aantal ECN-modellen geselecteerd. Als op basis van de resultaten voor deze modellen de conclusie is dat deze richting als kansrijk wordt gezien, ligt uitbreiding naar andere modellen voor de hand.

Een relatief eenvoudige methode die voor alle onderzochte modellen kan worden toegepast is om veel modelruns te maken, en hier een database voor te maken. Gegeven een bepaalde set van inputparameters levert de database de bijbehorende output. Hierop wordt kort ingegaan in Paragraaf 5.1.

Voor de vraagkant is vervolgens verkend hoe bestaande SAVE-modules kunnen worden geaggregeerd (5.2). Er is onderzocht of het mogelijk is zodanig maatregelen te clusteren en daarop een bepaalde instrumentenmix los te laten dat iets te zeggen valt over implementatie (of effecten) van de maatregelcluster. De implementatie is vastgelegd met bepaalde rekenregels en keuzes voor de steilheid en buigpunt van de S-curve. Dit levert een gestileerde of geaggregeerde weergave van een SAVE-module op.

Voor de aanbodkant is onderzocht in hoeverre het warmtekrachtmodel van ECN kan worden omgezet naar een hoger aggregatieniveau (5.3). Aan de hand van verschillende modeluitkomsten zijn relaties afgeleid tussen inputparameters en daaruit resulterend opgesteld vermogen. Voor duurzame energie was ook een dergelijke aanpak voorzien, maar hier ontstond al snel de indruk dat gebruik van het ECN-model zelf een meer voor de hand liggende weg is dan de bouw van een nieuw model (5.4).

5.1 Opbouw database van verschillende runs

Een relatief eenvoudige route om snel een overzicht te krijgen van de relatie tussen input en output van meer gedetailleerde modellen is het opbouwen van een database van diverse modelruns. Hierbij zijn twee uitwerkingen mogelijk:

1. Zoek en vind systeem: welke gevraagde of door beleid gewenste ontwikkeling moet worden bekeken. Met zoeken en vinden wordt de modelrun bij de kop gepakt die het dichtst bij de gevraagde situatie komt.
2. Op basis van de $n \times m$ modelruns worden relaties afgeleid: 'elasticiteiten en trends'. Bij het bepalen van de relaties kunnen statistische methoden worden gebruikt, die overigens ook door RIVM mogelijk kunnen worden uitgevoerd.

Het opbouwen van een database van input en output heeft een aantal voordelen. Een eerste voordeel is dat het in principe relatief eenvoudig is op te zetten en daarmee qua tijdsomvang relatief beperkt. Een tweede voordeel is dat aansluiting met de uitkomsten van de gehanteerde ECN-modellen gewaarborgd is.

Nadeel is dat informatie verloren gaat over de meer inhoudelijke relaties (zoals bijvoorbeeld koppeling met Icarus). Ook vergt een dergelijke benadering relatief meer onderhoud. Zodra de structuur of input van de ECN-modellen verandert, dient de totale database opnieuw te worden gemaakt, terwijl dat voor de clusterbenadering waarschijnlijk slechts op enkel plaatsen nodig is.

5.2 Aggregatie van SAVE

Om deze benadering nader te onderzoeken is een prototype voor een dergelijk model onderzocht. Allereerst is een meer theoretische opzet gekozen, vervolgens is tentatief verkend in hoeverre aan de hand van enkele concrete sectoren daadwerkelijk toepassing mogelijk lijkt.

5.2.1 Clustering van maatregelen en koppeling aan instrumenten, een prototype

Het prototype beschrijft de mogelijkheden voor 1 sector en 1 zichtjaar om diverse beleidsinstrumenten op het gebied van energievraag door te rekenen. Het kent globaal de volgende structuur.

Invoergegevens

Een aantal invoergegevens kunnen gevarieerd worden om een bepaald scenario in het model te zetten. Dit zijn o.a.:

- Energieprijs (gas; elektriciteit)
- Groei van de sector
- Structuureffect
- Besparing op materiaalgebruik (dit is in het prototype een meerekenfunctie).

Knoppen met beleidsinstrumenten

Door de gebruiker te onderzoeken zijn vooral de beleidsinstrumenten. Een belangrijk uitgangspunt is dat er geen automatische terugkoppeling naar de economische ontwikkeling van de sector plaats vindt (groei van de sector, structuureffect). Het model kent een vijftal knoppen.

- Subsidie; hier geformuleerd in % van de investeringskosten
- Regelgeving: Hier kan gekozen worden voor een aantal van te voren bepaalde pakketten met regelgeving
- Heffingen: Hier kunnen energiehellingen ingevoerd worden (deze heffingen hebben in het model effect op de energieprijzen en daarmee de rentabiliteit van besparingsmaatregelen, er vindt geen macro-economische terugkoppeling plaats)
- Convenant: Hiermee kan het beslissingscriterium van bedrijven om besparingsmaatregelen te treffen beïnvloed worden. De maatregelen moeten wel rendabel blijven
- Verhandelbaarheid: Moet nog nader gespecificeerd worden voordat het in het model aangebracht wordt.

Niet opgenomen zijn knoppen als voorlichting en educatie en snelheid van technologische ontwikkeling (via onderzoeks- en demonstratieprogramma's)

Afwegingskader

In het prototype worden diverse beleidsmaatregelen losgelaten op diverse clusters van besparingsmaatregelen en SAVE-resultaten. Er is gekozen voor een fysieke variant in plaats van een cluster met elasticiteiten. Als penetratiegrondslag is hier een simpele kosten/baten verhouding aangehouden. De kosten/batenverhouding van een technologie, gecombineerd met de eisen die de afnemer daaraan stelt, bepalen de penetratie. De knoppen met beleidsinstrumenten beïnvloeden ofwel de kosten/batenverhouding ofwel de daaraan gestelde eisen. Gekozen is om elke beleidsmaatregel op 1 punt in de eindgebruikersafweging in te laten grijpen.

De fysieke keuze maakt het ook mogelijk om wat over kosten en kosteneffectiviteit te zeggen. Gezien de clustering die gehanteerd is en de gebruikelijke onzekerheden is dit toch vooral indicatief

Beperkingen en vragen

Het prototype toont aan dat een model te maken is dat kan werken met diverse knoppen met beleidsmaatregelen als gekozen wordt voor fysieke aanwezigheid van clusters maatregel type-

ringen. Er zijn enkele aspecten die op basis van de theoretische opzet verder uitgewerkt moeten worden.

- De beleidsmaatregel verhandelbaarheid is nu nog onvoldoende gedefinieerd om in het model op te nemen.
- Als ook jaargangen moeten worden meegenomen, wordt een dergelijk model vrij omvangrijk.

5.2.2 Clustering van maatregelen en koppeling aan instrumenten, toepassing

Om de werking van het prototype nader te onderzoeken is de sector voedings- en genotmiddelenindustrie nader onderzocht. Deze sector is enerzijds breed met veel verschillende subsectoren, anderzijds kennen de subsectoren vaak weer dezelfde maatregelen. In Bijlage C is een lijst opgenomen met de verschillende maatregelen.

Clustering van maatregelen

Er zijn verschillende mogelijkheden om maatregelen te clusteren. De meest voor de hand liggende clustering is op het niveau van de subsector. Op deze manier ontstaan 8 clusters. Bij nadere analyse van de maatregelen blijkt, dat deze niet zondermeer bij elkaar opgeteld kunnen worden. Ten eerste blijken sommige opties soms concurrerend met elkaar (verschillende vormen van drogen in de zuivel), bovendien betreft het een aantal opties, die wel relevant zijn voor de ontwikkeling van het energieverbruik maar geen besparingsopties zijn. Het gaat hierbij vooral om de optie nieuwe elektriciteitstoepassingen. Als hiervoor wordt gecorrigeerd ontstaat het volgende overzicht:

Tabel 5.1 *Gegevens voor besparingsopties per cluster*

Totalen	Totale investering [mln f_{2010}]	Gasbesparing [PJ]	Elektriciteitsbesparing [PJ]	Overige kosten [mln $f_{\text{per jaar}}$]
Zuivel	380	25	-1	0
Vlees	93	2	1	0
Veevoer	90	1	1	0
Oliën en vetten	154	5	0	0
Bier	147	3	0	0
Suiker	773	14	-1	0
Zetmeel	985	16	-1	0
Overige voeding	479	10	3	0

Resultaten

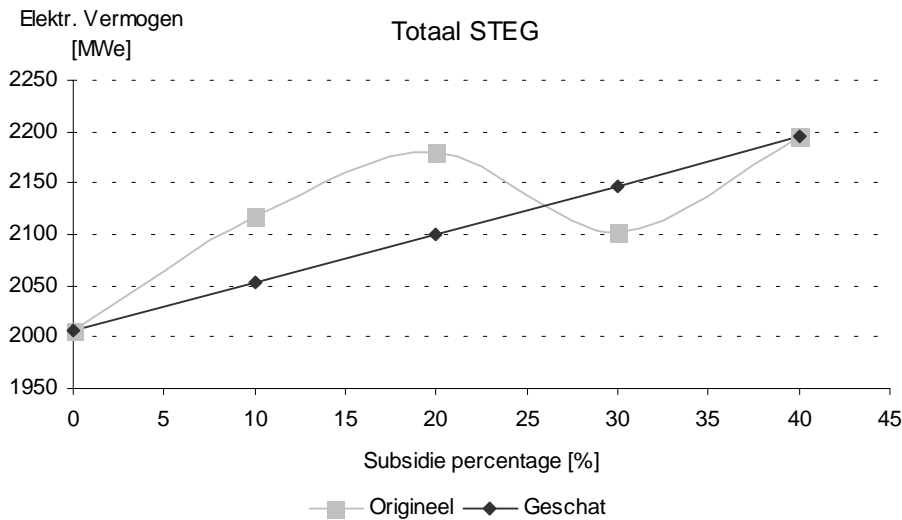
Op basis van het prototype is geïnventariseerd of de uitkomsten van SAVE benaderd kunnen worden door middel van het instellen van bepaalde parameters. Dat dit voor één concrete uitkomst kan gebeuren is voor de hand liggend. Bij het draaien van runs met gewijzigde uitgangspunten (bijvoorbeeld energieprijzen) blijkt dit meteen een stuk minder makkelijk, onder meer vanwege de hierboven beschreven problemen.

5.3 Warmtekracht

Voor het grootschalige warmtekrachtmodel is bepaald of het mogelijk is groeivoeten te gebruiken voor het modellenstelsel dat ontwikkeld zal worden voor RIVM. Hiertoe is per techniek gekeken naar de afhankelijkheid tussen het totaal elektrisch vermogen (in 2010) over alle sectoren en drie verschillende variabelen, nl:

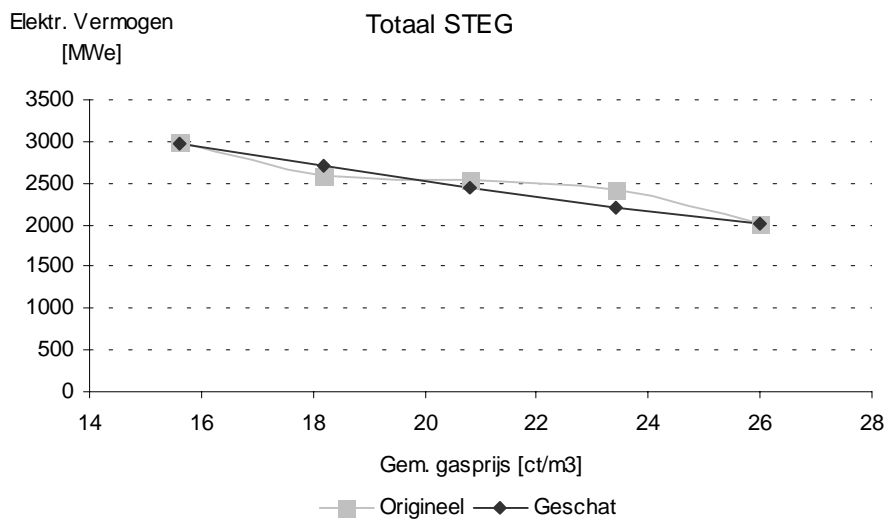
1. Subsidiepercentage
2. Gasprijs
3. Elektriciteitsprijs

De STEG is als voorbeeld gekozen. De drie onderstaande figuren geven het totale elektrisch vermogen als (geschatte) functie van één van de drie variabelen weer.

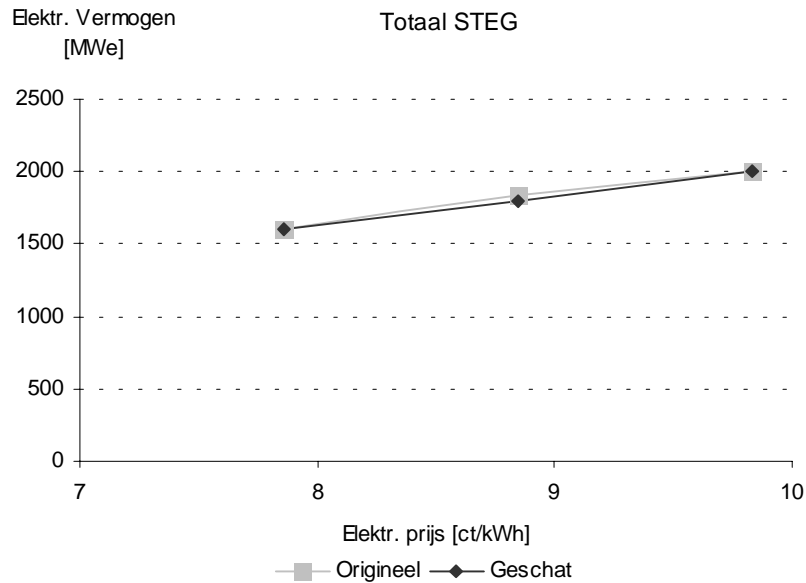


Figuur 5.1 *STEG-vermogen afhankelijk van subsidie op basis van WK-model (origineel) en ge-aggregeerde schatting*

Bovenstaand figuur geeft de (geschatte en originele) afhankelijkheid weer t.o.v. de subsidie. De originele functie lijkt hier zeer grillig: de y-as begint echter bij 1950 MWe. De terugval van ong. 75 MWe kan verklaard worden door de afronding naar gehele installaties in het model.



Figuur 5.2 *STEG-vermogen afhankelijk van gasprijs op basis van WK-model (origineel) en ge-aggregeerde schatting*



Figuur 5.3 *STEG-vermogen afhankelijk van elektriciteitsprijs op basis van WK-model (origineel) en geaggregeerde schatting*

De drie figuren laten zien dat een schatting m.b.v. een groeivoet (lineaire lijn met als intercept het vermogen in het 'basis' scenario) relatief een kleine afwijking geeft, dit vertekent echter.

Door een nieuwe set van gegevens (i.e. energieprijzen en subsidiepercentage) in te voeren in de vergelijking, die opgesteld kan worden uit de berekende groeivoeten, kan een waarde voor het bijbehorend totaal elektrisch vermogen worden geschat. Als dezelfde set gegevens doorgerekend wordt met het warmtekrachtkoppeling-model blijkt het verschil tussen deze en de geschatte waarde niet te verwaarlozen zijn. Bijvoorbeeld:

Gasprijs [ct/kWh]	Elektriciteitsprijs [ct/kWh]	Subsidie [%]	Berekende waarde [MW _e]	Geschatte waarde [MW _e]
26	8	25	2246	1717
16	9.5	0	4114	2823

Voor de volledigheid (betrouwbaarheid) is ook een multiple lineair regressie uitgevoerd op de data die ook voor berekening van de groeivoeten is gehanteerd. Dit geeft een goede (i.e. betrouwbare) fit. De geschatte waarden die uit deze vergelijking volgen komen dicht bij de geschatte resultaten met groeivoeten.

Voor de waargenomen verschillen bestaan twee verklaringen:

1. Bij het berekenen van de input van het warmtekrachtkoppeling-model (dat gebruikt werd voor de schattingen) zijn de energieprijzen gevarieerd t.o.v. het zgn. hoog-scenario. Dit is gedaan door de prijzen (eerst de elektriciteitsprijzen daarna de gasprijzen) in stappen van 10% te laten afnemen. Omdat het model verschillende prijzen hanteert per consumptiegroep is voor het berekenen van een gem. groeivoet (en ook bij de regressie-analyse) gebruik gemaakt van de gemiddelde energieprijzen. Als vervolgens deze gemiddelde waarde wordt ingevuld in het warmtekrachtkoppeling-model voor elke consumptiegroep volgen andere resultaten dan voorheen.
2. Er wordt geprobeerd een lineaire relatie te vinden tussen gegevens die in het model o.a. verbonden zijn door een S-vormige curve.

Om de twee redenen te 'valideren' is nog een aantal runs uitgevoerd met het warmtekrachtkoppeling-model waarbij voor elke consumptiegroep dezelfde (gemiddelde) energieprijzen zijn toegewezen. Een multiple lineair regressie analyse met deze resultaten geeft een vergelijking die de berekende waarde uit bovenstaande tabel wel goed benadert. Hieronder staat dezelfde tabel maar met de geschatte waarde op basis van deze (nieuwe) vergelijking. De afwijkingen met de werkelijke (berekende) waarde zijn aanzienlijk kleiner.

Gasprijs [ct/kWh]	Elektriciteitsprijs [ct/kWh]	Subsidie [%]	Berekende waarde [MWe]	Geschatte waarde [MWe]
26	8	25	2246	2682
16	9.5	0	4114	4157

Uit het bovenstaande de vorige analyse kan geconcludeerd worden dat weliswaar gebruik kan worden gemaakt van lineaire schattingen (i.e. groeivoeten) mits dit op een voldoende geaggregeerd niveau gebeurt.

5.4 Duurzame energie

Het model voor duurzame energie, dat vorig jaar door ECN is ontwikkeld is minder gedetailleerd, dan bijvoorbeeld het warmtekrachtmodel in termen van onderverdeling van gehanteerde technieken naar capaciteitsklasse, sector, etc. Het opzetten van een meer geaggregeerd model is daarom minder noodzakelijk dan bijvoorbeeld voor warmtekracht. Ook is de rekentijd van het model veel beperkter. Wellicht dat dit model in zijn volledigheid kan worden opgenomen in de op te bouwen kennisstructuur van RIVM, waarbij alleen de relevante input en output wordt getoond. Op basis van deze overwegingen zijn geen nadere modelruns uitgevoerd om relaties op een meer geaggregeerd niveau in beeld te brengen.

5.5 Conclusie

In het vorige hoofdstuk is aangegeven dat één van de mogelijkheden om door het integrale energiemodel te wandelen gebaseerd kan zijn op meer globale relaties op basis van gedetailleerde modellen (mogelijkheid 2).

Voor het vinden van relaties uit meer gedetailleerde modellen kan gekozen worden voor het draaien van verschillende runs om op basis daarvan voor combinaties van relevante inputparameters de verwachte output te construeren. Qua ontwikkeling is deze weg relatief eenvoudig. Ook kan gekozen worden om bestaande modellen om te zetten/ te vertalen naar een hoger niveau.

Voor het SAVE-model blijkt het op dit moment moeilijk om een meer geaggregeerde vorm van modellering te kiezen. Problemen liggen er bij de keuze van clustering van besparingsopties en het beschrijven van verbanden over de ranges van verschillende inputparameters. Voor het warmtekrachtmodel blijkt het onder enkele aannames mogelijk om op een voldoende hoog aggregatieniveau gestileerde relaties te onderscheiden tussen input en output van het model, al speelt ook daar een aantal vergelijkbare problemen als bij SAVE. Het gaat hier om benodigde inspanning van ontwikkeling en onderhoud, alsmede de aansluiting op de meer gedetailleerde modellen. Voor duurzame energie lijkt de ontwikkeling van een nieuw model niet nodig, maar kan dit beperkt blijven tot het toevoegen van een input- en outputmodule.

Beide benaderingen kennen hun voor- en nadelen. Deze liggen vooral op het vlak van de aansluiting met de meer gedetailleerde modellen, de hoeveelheid informatie die het model oplevert, de voorziene inspanning van ontwikkeling en de benodigde inspanning bij het onderhoud. Gegeven deze aspecten ontstaat de vraag in hoeverre het nodig/gewenst is deze mogelijkheid in te bouwen naast de twee andere (directe koppeling met integraal model of handmatige inschatting gebruiker).

6. CONCLUSIES

Bij ECN bestaan er diverse modellen om de energievoorziening te beschrijven van vraag tot aanbod. Binnen de definitiestudie zijn de mogelijkheden verkend of deze modellen zowel voor RIVM als ECN een basis kunnen bieden om te komen tot een integraal energiemodel op hoofdlijnen. Ook zijn de mogelijkheden onderzocht voor een globale beschrijving van een aantal specifieke modellen. De gewenste mate van detail gaat daarbij duidelijk minder diep dan in de modellen van ECN nu het geval is.

Het lijkt mogelijk om een integraal energiemodel te ontwikkelen dat in ruime mate bijdraagt aan de doelen die zijn gesteld in de inleiding zoals:

- het vastleggen van relevante energiegegevens en emissies van scenario's,
- reproduceerbaarheid,
- consistentie van gegevens en eerdere resultaten,
- inzicht in veronderstellingen en methodiek aan derden.

Voordelen zijn dat het bestaande complexe NEV-instrumentarium van ECN beter beheersbaar en doorzichtig wordt. Ook RIVM krijgt met het integrale energiemodel de mogelijkheid om beleidsrelevante vragen op hoofdlijnen te beantwoorden.

Binnen het integrale energiemodel wordt gestreefd naar een drietal mogelijkheden om tot resultaten te komen. Deze mogelijkheden beschrijven de wijze waarop de relaties tussen de diverse modelonderdelen worden vormgegeven.

- 1 Directe koppeling met bestaande modellen
- 2 Globale relaties op basis van bestaande modellen
- 3 Handmatige inschatting van de gebruiker.

Idealiter kan de gebruiker voor alle onderdelen van het integrale model kiezen uit de drie manieren. Dit hoeft echter niet zonder meer voor alle onderdelen te gelden. Gelet op de benodigde inspanning die met ontwikkeling en onderhoud van de mogelijkheden samengaat (en die voor 1 en 3 beperkter lijkt), betreft de belangrijkste keuze eigenlijk het al dan niet ontwikkelen van globalere relaties. Belangrijke aspecten om dit al dan niet te doen:

- A. Inzichtelijkheid model/relaties
- B. Gebruiksgemak/rekentijd
- C. Inspanning benodigd voor ontwikkeling model
- D. Inspanning benodigd voor onderhoud model
- E. Aansluiting op bestaande modellen
- F. Flexibiliteit ten aanzien van wijzigingen (input en/of modelstructuur)
- G. Zekerheid dat de inspanning tot gewenst resultaat leiden.

Een confrontatie levert het volgende beeld op:

Tabel 6.1 *Beoordeling varianten voor globale relaties*

	Globale relaties op basis van	
	geaggregeerd model	database modelruns
Inzichtelijkheid	+	0
Gebruiksgemak/rekentijd	+	+
Kosten ontwikkeling	-	0
Kosten onderhoud	-	-
Aansluiting bestaand	-	0
Flexibiliteit	0	0
Zekerheid resultaat	-	0
+	Relatief gunstig t.o.v. gedetailleerd model	
0	Gemiddeld t.o.v. gedetailleerd model	
-	Relatief ongunstig t.o.v. gedetailleerd model	

Voor een aantal doelen zoals inzichtelijkheid, het construeren van varianten en gestileerde scenario's zijn globale relaties in plaats van gedetailleerde modellen een voordeel. Hiertoe zijn tijdens de definitiestudie zowel voor het aanbod (duurzaam en warmtekracht) als de vraag (industrie) de mogelijkheden verkend voor meer globale relaties. Hieruit is gebleken, dat het weliswaar met meer of minder beperkingen mogelijk is op een meer geaggregeerd niveau modellen te ontwikkelen. In hoeverre de aansluiting op de meer gedetailleerde ECN/RIVM-modellen blijft behouden hangt af van het gewenste aggregatieniveau van de input en de resultaten. Ook blijkt dat relaties soms slechts binnen bepaalde grenzen van de inputwaarden geldig zijn. De inspanning om een dergelijk instrumentarium op te bouwen zal niet gering zijn. Tevens geldt dat bij vrijwel alle onderzochte oplossingsrichtingen de kosten van onderhoud (update, meelopen met aanpassing bestaande modellen, wijzigingen i.v.m. veranderende vraagstelling) significant zullen zijn. Momenteel lijken de genoemde beperkingen op het gebied van de vraagmodellen nog iets sterker te gelden dan bij het aanbod.

De bevindingen van de definitiestudie maken daarmee een éénduidige keuze op voorhand niet mogelijk. Aanbevolen wordt daarom om te beginnen met het koppelen van bestaande modellen aan het integrale energiemodel. Indien dit instrumentarium gereed is, kan vervolgens proefondervindelijk worden bepaald of de nadelen die voor deze route worden voorzien (inzichtelijkheid en gebruiksgemak) inderdaad optreden. Op dat moment kan de mogelijkheid en wenselijkheid van globale relaties worden bepaald.

In het algemeen geldt voor het gehele integrale energiemodel dat handmatige inschatting en wijziging van gegevens flexibel moet kunnen gebeuren onder andere voor het uitvoeren van gevoeligheidsanalyses, het verwerken van andere (o.a.meest recente) inzichten, en het doorrekenen van resultaten van studies van derden.

Aanbevolen wordt om te streven naar openbaarheid van het integrale energiemodel (bijvoorbeeld via internet). In hoeverre dit ook geldt voor de bestaande modellen (in geval van koppelingen) moet nader worden bezien.

LITERATUURLIJST

- Battjes, J.J. (1999): *Dynamic Modelling of Energy Stocks and Flows in the Economy; An Energy Accounting Approach*, proefschrift, Universiteit Groningen, Groningen.
- Beer, J.G. de, M.T. van Wees, E. Worrell, K. Blok. *Manual spreadsheet and dbase database - ICARUS3*, rapportnummer 94017, Vakgroep Natuurwetenschap en samenleving, Utrecht, oktober 1994.
- Benders, R.J.M. (1996): *Interactive Simulation of Electricity Demand and Production*, proefschrift, Universiteit Groningen, Groningen.
- Booij, H., et al.: *Beschrijving Model Effectiviteit Instrumenten versie 1.0 (MEI1.0)*, rapportnummer 778011001, RIVM, Bilthoven, januari 1999.
- Boonekamp, P.G.M.: *Het SAVE-model: De modellering van energieverbruikontwikkelingen*, ECN-C--94-076, Petten, 1994.
- CPB, NEMO: *CPB's new energy model*, CPB-report, Den Haag, 1997/2
- Crommentuijn, L.E.M., E.D.M. Verbeek (1999): *Prognose Milieu-effecten Duurzaam Bouwen; Kabinetsbeleid tot eind 1997 in Woning- en utiliteitsbouw*, RIVM rapport 771404 002, Bilthoven.
- Dril, A.W.N. van, et al.: *SAVE-module Productiebedrijven*, ECN-C--94-043, Petten, 1994.
- Dril, A.W.N. van, F.A.M. Rijkers, J.J. Battjes, A. de Raad: *Toekomst warmtekrachtkoppeling*, ECN-C--99-086, Petten, 1999.
- ECN: *Energiemodel SELPE*: http://www.ecn.nl/unit_bs/nev/pdb/selpe/pd_selpe.html
- Elzenga, H.E., et al.: *Energiebesparing Industrie*, rapportnummer 778011003, RIVM, Bilthoven, maart 2000.
- Gielen, D.J., T. Gerlagh, A.J.M. Bos (1998): *MATTER 1.0; a MARKAL Energy and Materials System Model Characterisation*, ECN-C--98-065, Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN), Petten.
- Heiligenberg, H. van den, et al: *Functioneel ontwerp modelinstrumentarium Milieu- en Natuurplanbureau*, RIVM rapport nr. 482516 010, juli 1999.
- Hilten, O. van, C.H. Volkers, W.G. van Arkel, H. de Kruijk, W.O. Pellekaan: *NEV-rekensysteem*, concept, Petten, 1995.
- Liere, J. van: *From source to Service. Better scenarios. Creative energy policy. E-management*. KEMA, 1995.
- Maas, C.W.M. van der, P.M. van Egmond: *Informatieanalyse voor de Scenario Explorer, de scenariodatabase van het Milieu Plan Bureau*, RIVM rapport 408137 003, oktober 1999.
- Mannaerts, H.J.B.M. (2000): *Substance Throughput Related to Economic Activity Model; a partial equilibrium model for material flows in the economy*, Research Memorandum no. 165, CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis, Den Haag.
- NEMO: *Netherlands Energy demand MOdel. A top-down model based on bottom-up information*, Onderzoeksmemorandum No. 155, Den Haag, 1999.
- Nijs, T.C.M. de, Vixseboxse, E, ATTACK en FACTS. (1998): *Model Catalogus Verkenningen 1997*, RIVM rapport 408505 003, Bilthoven.

- Noord, M. de: *Handleiding marktpenetratiemodel duurzame energie*, concept, nog te verschijnen, Petten, 2000.
- Perrels, A.H., Van Arkel, W.G., De Paauw, K.F.B., Pellekaan, W.O (1996): *Household energy demand modelling in a lifestyle context; the ELSA model*, ECN-C--95-099, Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN), Petten.
- UCE: *DAtabase Clean Energy Supply 2050. Final report of Phase 1*, 2000.
- Vis, J.W.D., E.H. Lysen, K. Blok. *Definitiestudie ICARUS-4*. rapportnummer 98078, Vakgroep Natuurwetenschap en samenleving Utrecht, december 1998.
- Vries H.J.M. de, et al.: *The Targets Image Energy Regional Model, Technical Documentation* (draft), RIVM, Bilthoven 2000.
- Vries, B. de, D. Dijk, R. Benders (1991): *Powerplan: an interactive simulation model about electric power planning*, IVEM onderzoeksrapport no. 45, Universiteit Groningen, Groningen.
- Wijk A.J.M. van, E.A. Alsema, R.A. van den Wijngaart, W.C. Turkenburg. *Het simulatiemodel SEPU-2: Algemene beschrijving*. Rijksuniversiteit Utrecht, NS&S, 1986.
- Wilting, H.C. and A.M. Idenburg (2000): *DIMITRI: a Dynamic Input-output Model to study the Impacts of Technology Related Innovations*, paper presented at the Third Biennial Conference of the European Society for Ecological Economics, Wenen.

BIJLAGE A. CAPITA SELECTA NEDERLANDS MODELLENPARK ENERGIE

Onderstaande tabel bevat een korte typering van diverse energiemodellen. In de rest van de bijlage wordt dit toegelicht.

Tabel A.1 *Typering diverse energiemodellen in Nederland*

	output	Aggregatieniveau inhoud	horizon	eigenaar	rekenmethode
NEMO	energievraag en -besparing	19 sectoren in NL	ICARUS, nu 2015	CPB	macro-economisch obv productiefunctie
SAVE	energievraag en -besparing	ca. 30 sectoren in NL, maatregelen o.a. gebaseerd op Icarus	tot 2020	ECN	meso-economisch en technisch simulatiemodel
MEI-EI	energievraag en -besparing	ca. 20 industriële sectoren in NL op basis van 200 ICARUS maatregelen	ICARUS, nu 2015	RIVM	multi-(f)actormodel
TIMER	energiebesparing en transitie naar non-fossiele brandstoffen	5 sectoren in 17 wereldregio's	tot 2100	RIVM	macro-economisch substitutiemodel
STREAM	fysieke en economische productie	7 sectoren in NL en West-Europa	tot CPB- scenario- horizon	CPB/RIVM	partieel evenwichtmodel
DIMITRI	energie- en materiaalgebruik	30 sectoren in NL	tot CPB- scenario- horizon	RIVM	dynamisch input- outputmodel; micro- economisch prijsmodel
MARKAL	energie-aanbod: optimale mix van energietechnologieën	400 technologieën	tot 2040	ECN	lineair programmeren; dynamisch optimalisatiemodel
ICARUS	energiebesparing, CO ₂ reductie en kosten van maatregelen	400 maatregelen, ca. 30 sectoren	2015, ICARUS4 tot 2020	NW&S	databestand met kleine rekenmogelijkheden
ATTACK	vracht- en bestelautobezit, gebruik, energieverbruik, emissies	15 vracht- en bestelauto typen, 20 jaargangen	tot 2030	RIVM/ AVV	dynamisch cohort model
FACTS	autobezit- en gebruik; emissies en energiegebruik	9 autotypen en 20 jaargangen	tot 2030	RIVM/ AVV	dynamisch cohort model
DUBO			tot 2020	TNO/ RIVM	simulatiemodel (penetratie van maatregelen)
CONSUMEN TENMODEL	direct en indirect energiegebruik door consumptie van huishoudens	350 bestedingscategorieën	2010, 2020, 2030	RIVM	input-output analyse, hybride energie- analyse
ELSA	direct en indirect energiegebruik door consumptie van huishoudens	bestedings- en tijdbudgetten van 10 huishoudtypen	2015, 2030	ECN	input-output analyse

	output	Aggregatieniveau inhoud	horizon	eigenaar	rekenmethode
Powerplan	brandstofverbruik, emissies en kosten van elektriciteitsproductie		willekeurig jaar	IVEM	interactief simulatiemodel
SEPU	brandstofverbruik, emissies en kosten van elektriciteits-productie	elektriciteitsproductie-eenheden in Nederland	willekeurig Jaar	ECN UU	optimalisatie en Lineair Simulatiemodel
ECCO	energievraag		2050	IVEM	systeem-dynamisch model
Super Spreadsheet	emissies CO ₂ , NO _x , CH ₄ , N ₂ O, etc	6 sectoren, 52 soorten energieprocessen, in 21 sectoronderdelen	2010;2020	RIVM	linear
Stein	energie intensiteit, besparing en structureffect	18 subsectoren	1990-2002, 2020, 2030	RIVM	linear
DACES 2050	energiebalans, (meer)kosten, emissies bkg's	26 subsectoren	2050	VROM (opdracht), UU, ECN, ECOFYS, UCE	linear
Matrix 2030	energiebalans, kosten van oplossingsrichting en emissies van CO ₂ , NO _x , VOS, SO ₂ en fijn stof	7 sectoren, 6 oplossingsrichtingen	2030	ECN/ RIVM	linear
SELPE	energiestromen, ivv bepaalde energiedragers van winning/invoer via conversie naar eindgebruik	deelsectoren met specifieke aspecten (elektriciteitsvoorziening, raffinaderijen, gaswinning/voorraad, warmte/kracht-productie en duurzamebronnen)		ECN	statisch linear gecombineerd met simulatiemodellen
Source to service	energievraag van keten en onderdelen in de keten, kosten en emissie van CO ₂	ketens voor wegtransport, huishoudens en industrie	scenario's voor willekeurig jaar in toekomst	KEMA	linear

NEMO

NEMO is een acroniem voor 'Nederlands Energievraag MOdel' en is door het CPB ontwikkeld. NEMO is een macro/meso economisch model dat energiegebruik van economische sectoren koppelt aan (fysieke) productie, energieprijzen, technologische trends en overheidsbeleid. In totaal worden 19 sectoren onderscheiden.

De belangrijkste coëfficiënten van dit 'top-down' model worden bepaald op basis van 'bottom-up' micro-informatie uit ICARUS. NEMO hanteert een productiefunctie, waarin de productie van een sector (Y) gezien wordt als een functie van: 2 energie-inputs (elektriciteit en brandstof), kapitaalgoederen, arbeid en materiaal. Het productievolumen, materiaalgebruik, arbeid en totale investeringen per sector worden in andere CPB modellen berekend. NEMO spitst zich toe op mogelijkheden voor substitutie tussen kapitaalgoederen en energiegebruik op basis van kostenminimalisatie.

SAVE

SAVE staat voor Simulatie en Analyse van Verbruiksoontwikkelingen in Energiescenario's. Het doel van SAVE is het analyseren van (m.n. toekomstige) energieverbruiksoontwikkelingen van eindverbruikers. SAVE kent meerdere (spreadsheet)modules: productiebedrijven (landbouw, industrie en bouwnijverheid), utiliteitsbouw, huishoudens en transport.

De ontwikkeling van het energieverbruik wordt gemodelleerd als functie van: het productievolume, structurele ontwikkelingen voor zover van invloed op het energieverbruik, technologische (efficiëntieverbeteringen) en specifieke verbruiksontwikkelingen (svo's, lees: implementatie van energiebesparings-maatregelen). De maatregelen zijn o.a. afkomstig uit de ICARUS-database. In beginsel heeft de implementatiecurve een S-vorm. De penetratie van svo's kent 3 restricties:

- technisch-organisatorisch (maatregelen kunnen pas genomen worden als ze bekend en beschikbaar zijn),
- kapitaalgebonden (vervangingsmaatregelen worden pas getroffen na afschrijving van bestaande voorzieningen),
- bedrijfseconomisch (maatregelen moeten een bepaald bedrijfseconomisch rendement garanderen).

De optelsom (bottom-up) van besparingen per maatregel (penetratie en rendement) verklaart ten slotte de totale energiebesparing van een sector.

MEI-energiebesparing INDUSTRIE (in ontwikkeling)

Model Effectiviteit Instrumenten is een jaargangen gedragsmodel, gebaseerd op veelal kwalitatieve input. De energiebesparingsvariant zal echter een kwantitatiever karakter hebben. MEI is een expert ondersteunend model. In MEI wordt onderkend dat bij investeringsbeslissingen van bedrijven meer factoren een rol spelen dan bedrijfseconomische alleen. Zo worden attitude van de sector, maatschappelijke druk en uitvoerings- en handhavingsaspecten van beleid apart in het model onderscheiden. Deze factoren worden drijvende krachten genoemd. Het spel van drijvende krachten hebben invloed op de implementatie van de maatregelen. Ook MEI-energiebesparing rekent met maatregelen uit de ICARUS-database. Het implementatietraject van maatregelen wordt met 3 parameters beschreven:

- voorbereidingstijd: tijd die nodig is om tot implementatie te kunnen overgaan,
- snelheid van implementatie,
- restfractie: dat deel van de sector dat niet tot implementatie overgaat.

TIMER

TIMER (Targets Image Energy Regional model) is a global energy model developed at RIVM which can be used both integrated within the IMAGE framework and as stand-alone model¹. The main objectives of TIMER are to analyze the long-term dynamics of energy conservation and the transition to non-fossil fuels within an integrated modeling framework, and to calculate energy related greenhouse gas emissions which are used in other submodels of IMAGE 2.2. The model builds upon several sectoral system dynamics energy models. The present model version is implemented for 17 world regions. The model has been calibrated to reproduce the major world energy trends in the period 1971-1995, and is used in to construct scenarios upto 2100.

In the TIMER-model, a combination of bottom-up engineering information and specific rules and mechanisms about investment behaviour and technology is used to simulate the structural dynamics of the energy system. The output is a rather detailed picture of how energy intensity, fuel costs and competing non-fossil supply technologies develop over time. The TIMER model includes the following main features:

- A demand model for fuels and electricity in 5 sectors (industry, transport, residential sector, services and other) based on structural [economic] change, autonomous and price-induced change in energy-intensity ('energy conservation') and price-based substitution.
- Exploration and exploitation dynamics of fossil fuels, including depletion and learning dynamics.

¹ The IMAGE framework has been developed to study the long-term dynamics of global change (in particular changes related to climate change) and the linkages that exist between changes in atmosphere, land use and land cover, water availability and human activities.

- Price-based substitution of biofuels which are assumed to be subject to learning as well as depletion dynamics.
- Electric power generation in thermal power plants and in a non-thermal alternative (nuclear, solar) penetrating the market based on relative costs and learning.
- Trade of fossil fuels and biofuels between the 17 world regions.

STREAM

STREAM is een acroniem voor ‘Substance Throughput Related to Economic Activity Model’ en is door het CPB in samenwerking met het RIVM ontwikkeld. Het model is bestemd voor het analyseren van de relaties tussen het milieu en economische activiteiten aan de hand van materiaalstromen. STREAM is een partieel evenwichtsmodel met drie markten: grondstoffen, materialen en afval/schroot. In het model kunnen materiaalproducenten kiezen tussen primaire en secundaire productie en technologieën die verschillen in de inputfactoren: arbeid, kapitaal, elektriciteit, steenkool, aardolie en aardgas. STREAM maakt prognoses van de fysieke en economische productie van ijzer en staal, nafta, aluminium, papier en kunstmest in Nederland en West-Europa. De uitkomsten van STREAM worden gebruikt om het energiegebruik² en milieueffecten te voorspellen, en voor beleidsanalyses. STREAM dient daarom als interface tussen de macro-economische modellen van het CPB (Athena en World Scan) en de milieumodellen van het RIVM.

DIMITRI

Om de effecten van nieuwe technologieën op economie en milieu te onderzoeken wordt bij het RIVM het model DIMITRI ontwikkeld. DIMITRI is een acroniem voor ‘Dynamic Input-output Model to study the Impacts of Technology Related Innovations’. Het model is een dynamisch input-output model en beschrijft de relaties tussen productie en investeringen van economische sectoren. Om de investeringen te realiseren worden technologieën gekozen uit een database met beschrijvingen van oude en nieuwe technologieën per sector. De keuze voor een nieuwe technologie wordt gebaseerd op kostenminimalisering per sector met behulp van een micro-economisch prijsmodel. DIMITRI wordt ontwikkeld om voor scenario’s betreffende economische ontwikkelingen het bijbehorende energie- en materiaalgebruik en emissies naar het milieu te bepalen. De aanwezigheid van een prijsmodel maakt tevens onderzoek naar de invloed van heffingen op energie en materialen op de invoering van nieuwe technologieën mogelijk.

MARKAL

MARKAL (acroniem voor MARKet ALlocation) is een dynamisch optimalisatie model voor het energiesysteem. Uitgaande van een exogene energievraag wordt een optimale mix van energietechnologieën bepaald op basis van gegevens betreffende beschikbaarheid, verwachtingen en efficiencies van technologieën, brandstofprijzen, investeringskosten en emissiecoëfficiënten. Voor een groot aantal landen bestaat er een MARKAL-model. Het Nederlandse MARKAL-model bevat ongeveer 400 technologieën zowel conventioneel als nieuwe. Met behulp van lineair programmeren, waarbij bijv. geminimaliseerd wordt over de totale kosten van het energiesysteem gedurende de gehele tijdshorizon, wordt voor een specifieke energievraag de meest optimale combinatie van technologieën berekend. In het MATTER-project is MARKAL uitgebreid met een materialensysteem.

ICARUS

Icarus is een bestand met informatie over potentieel en kosten van energiebesparingsmaatregelen die kunnen worden genomen in alle sectoren van de Nederlandse economie. Icarus is een acroniem voor ‘Information system on Conservation and Application of Resources Using a Sector Approach’. De versie die in 1994 gereed is gekomen, Icarus-3, heeft als basisjaar 1990, kan

² De energievraag wordt berekend met NEMO van het CPB op basis van de output van STREAM in fysieke termen. Vervolgens bepaalt het SELPE model van het ECN de samenstelling van energiedragers om aan de vraag te voldoen.

rekenen met twee zichtjaren: 2000 en 2015, en bevat ongeveer 750 besparingsmaatregelen. Naast uitgebreide gegevens over de besparingsmaatregelen, bevat Icarus o.a. ook een gedetailleerde energiebalans van 1990, verschillende groeiscenario's, energieprijsscenario's en CO₂-emissiefactoren. Met deze gegevens wordt het besparingspotentieel in het zichtjaar berekend. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in een technisch en een economisch potentieel.

Verkeer

De doelgroep *Verkeer* van het RIVM heeft diverse modellen ontwikkeld voor het prognosticeren van de volumeontwikkelingen per voer-/vaartuigcategorie (tijdshorizon meestal 2020). In een aantal modellen is het energiegebruik één van de doelvariabelen. Voor andere modellen moet de conversie van volume-eenheden naar energiegebruik nog separaat plaats vinden. De modellen zijn:

ATTACK	Model voor de berekening van energiegebruik en emissies van vrachtwagens afhankelijk van economische ontwikkeling per sector, buitenlandse handel (op NL) en technologische ontwikkelingen.
BARGE	Prognosemodel voor volumeontwikkeling, energie en emissies van de binnenvaart. De prognose vindt plaats op basis van sectorale economische ontwikkeling, buitenlandse handel op Nederland en technologische ontwikkeling.
FACTS	Model om autobezit en -gebruik, energiegebruik en emissies te berekenen, afhankelijk van kosten en demografische en technologische ontwikkelingen.
PROLIN	Prognosemodel voor de luchtvaart in Nederland op basis van o.a. economische ontwikkelingen per wereldregio en de tarieven en kwaliteit van rail. Output is het aantal passagiers, tonnen vracht en vliegtuigbewegingen Schiphol.
PROMIN	Prognosemodel voor energiegebruik en emissies van mobiele werktuigen en speciale voertuigen. De voorspelling geschiedt aan de hand van het areaal landbouwgrond per type en de sectorale economische ontwikkeling.
PROZIN	Prognosemodel om aan- en afvoer zeescheepvaart in Nederland (in tonnen, tonkilometers en scheepskilometers per type) te prognosticeren op basis van o.a. de sectorale economische ontwikkeling.

DUBO MODEL

Ten behoeve van het doorrekenen van maatregelen uit de Nationale Pakketten Duurzaam Bouwen heeft de doelgroep *Bouw* van het RIVM door TNO twee modellen laten ontwikkelen. Het ene DuBo-model betreft de woningbouw, het andere de utiliteitsbouw (sectoren zorg, onderwijs, kantoren en detailhandel). In het model betreffende de woningbouw wordt de woningvoorraad ingedeeld in 35 representatieve standaardobjecten waarvoor voor drie steekjaren (2000, 2010 en 2020) het energiegebruik wordt berekend. De berekening geschiedt op basis van het energiegebruik in het basisjaar (1995) en de penetratie van maatregelen. Het energiegebruik betreft alleen ruimteverwarming en warm tapwater en niet het gebruik van apparatuur (wit- en bruingoed). Het model voor de utiliteitsbouw is vergelijkbaar met dat voor de woningbouw met het onderscheid dat bij de utiliteitsbouw wel rekening wordt gehouden met het elektriciteitsgebruik (van kantoorapparatuur en dergelijke).

Aangezien de Dubo-modellen bedoeld zijn om de mogelijke effecten op het energiegebruik ten aanzien van maatregelen te prognosticeren, zijn de modellen niet geschikt om de totale energievraag te berekenen. De DuBo-modellen kunnen meer worden gezien als een verbijzondering van de SAVE-modellen voor consumenten en HDO.

CONSUMENTEN MODEL

Bij de doelgroep *Consumenten* betreft de energievraag zowel het directe als het indirecte energiegebruik samenhangend met de consumptie van huishoudens. Het consumeren wordt in eerste instantie uitgedrukt in geld. Hierbij worden 350 bestedingscategorieën onderscheiden zoals die worden gepubliceerd in het budgetonderzoek van het CBS. Voor de toekomstige consumptie worden scenario's opgesteld voor 2030 die consistent zijn in tijd en geld. Vervolgens wordt

voor deze scenario's het directe en indirecte energiegebruik bepaald. De omrekening van geld naar energie vindt plaats met behulp van het Energie Analyse Programma dat door IVEM en NW&S is ontwikkeld. Daarnaast worden resultaten uit DIMITRI gebruikt betreffende de invloed van technologische veranderingen in de productiesectoren op het indirecte energiegebruik van huishoudens.

In de gehanteerde benadering is het energiegebruik dat aan consumenten wordt toegerekend deels overlappend met het energiegebruik in andere sectoren (in zowel binnen- als buitenland).

ELSA

Het door het ECN ontwikkelde simulatiemodel ELSA (Energy and Lifestyle Simulation Approach) is gericht op het voorspellen van de toekomstige energievraag van huishoudens op de lange termijn (15 tot 30 jaar). Hierbij wordt onderscheid gemaakt in het directe en indirecte energiegebruik van huishoudens. Het model maakt het mogelijk om veranderingen in het energiebeslag van huishoudens te verklaren aan de hand van veranderingen in volume en structuur van consumptie, de brandstofmix en efficiency verbeteringen.

Het model werkt bottom-up: op basis van scenario's betreffende sociale, culturele, technologische en economische trends en huishoudkarakteristieken worden geld- en tijdbudgetten voor tien huishoudtypen bepaald. Vervolgens wordt voor deze budgetten het directe en indirecte energiegebruik bepaald. Berekening van het directe energiegebruik geschiedt aan de hand van gegevens betreffende woningtypen, elektrische apparaten en auto's. Het indirecte energiegebruik wordt bepaald met behulp van het geldbudget en input-output analyse.

PowerPlan en MEED

Powerplan (ontwikkeld bij de IVEM, Universiteit Groningen) is een interactief simulatiemodel om het aanbod van elektriciteit te plannen. Uitgaande van een basisjaar wordt het toekomstig systeem voor de elektriciteitsproductie gesimuleerd. In elke planningsperiode moeten beslissingen worden genomen betreffende de bouw van nieuwe centrales, uitbreiding van de decentrale capaciteit en investeringen in energiebesparing. Het model berekent vervolgens voor elke periode de kosten en betrouwbaarheid van de elektriciteitsproductie, en het energiegebruik en bijbehorende emissies. Het model is ontwikkeld voor educatieve doeleinden, maar is ook geschikt voor planningsdoeleinden voor de middellange termijn (30 jaar). Het model is opgedeeld in 4 modules:

1. macro-economische module voor het bepalen van de elektriciteitsvraag,
2. productiesimulatie module om de productie te simuleren en de betrouwbaarheid van het park te testen,
3. kostenmodule voor de bepaling van de kWh kostprijs,
4. brandstof- en milieu module om het energiegebruik en gerelateerde emissies en vaste afvalstromen te berekenen.

Module 1 kan worden vervangen door de invoer uit het model MEED (Model to Evaluate Electricity Demand) dat eveneens bij de IVEM is ontwikkeld. De elektriciteitsvraag wordt bepaald aan de hand van een 'end-use' matrix waarin het elektriciteitsgebruik per economische sector wordt verdeeld over functies (warmte, kracht, licht, etc.). Voor elke sector is tevens beschreven welke technieken aanwezig zijn om de functies te vervullen (bijv. voor verlichting in huishoudens: gloeilamp, TL-lamp en SL-lamp).

SEPU

Het simulatiemodel SEPU (Simulatie Elektriciteits Productie Utrecht) is ontwikkeld door de sectie NW&S van de Universiteit Utrecht. SEPU simuleert het elektriciteitsaanbod. Met een tijdstap van een uur wordt berekend welke elektriciteits-productie eenheden ingezet kunnen en moeten worden om aan de energievraag te voldoen. Het model berekent o.a. het brandstofverbruik, bedrijfstijden, totale variabele kosten en emissies van CO₂, NO_x en SO₂. Het model geeft informatie over de inzetbaarheid, de regelbaarheid en de waarde van bepaalde soorten elektrici-

teits productie eenheden binnen de totale elektriciteitsvoorziening. Invoer is de o.a. de uurlijkse elektriciteitsvraag over een jaar en de samenstelling van het elektriciteitspark. SEPU is thans in beheer van ECN.

Met aparte modules kan een elektriciteitsvraagpatroon worden geconstrueerd op basis van sectorale ontwikkelingen en kan het op te stellen vermogen worden bepaald met het oog op een gegarandeerde elektriciteitslevering (kans op onvermogen in verband met uitval van eenheden e.d.).

ECCO en DREAM

Om fysieke stromen door het economische systeem te onderzoeken is de zogenaamde Natural Capital Accounting methodologie ontwikkeld. Een specifieke variant van deze methodologie is 'energy accounting' waarin economische activiteiten worden uitgedrukt in energie. Een ECCO model op zijn beurt is een systeem-dynamisch 'energy-accounting' model waarin het gebruik van fossiele brandstoffen wordt gekwantificeerd door een koppeling te maken tussen de vraag naar deze brandstoffen en de productie van goederen en diensten in de economie. ECCO staat voor 'Enhancement of Capital Creations Options'. De ECCO-methodologie is ontwikkeld om de fysieke lange termijnlimieten van economische activiteiten te bestuderen. Voor verschillende landen zijn inmiddels ECCO-modellen ontwikkeld; voor Nederland is dit gedaan bij de IVEM in Groningen.

ECCO-modellen zijn aanbodgestuurd (het consumptieniveau wordt bepaald door de producenten). Echter om het totale nationale energiegebruik te bepalen door rekening te houden met veranderingen in consumptiepatronen en de onderliggende veranderingen in productiesectoren is een vraaggestuurd model nodig. Bij de IVEM is zo'n vraaggestuurd model ontwikkeld, te weten DREAM (Dynamic Resource and Economy Accounting Model). Het DREAM-model bepaalt de lange termijnconsequenties voor het energiegebruik als gevolg van veranderde consumptiepatronen, energiebesparing, technologische verbetering en demografische ontwikkelingen.

Superspreadsheet

Het superspreadsheet berekent de proces-, verbrandings- en grondstoffenemissies van de gehele energievoorziening inclusief eindverbruikers. Met behulp van emissiefactoren per energieconversietechniek worden de sectorale emissies berekend. Input, afkomstig van ECN (Selpe), is de primaire en secundaire energievraag per energieconversietechniek binnen een sector.

STEIN model

Stein is een acroniem voor Spreadsheet Toekomstige Energie Intensiteit Nederland. Met dit rekenblad kan de toekomstige energie-intensiteit op sector niveau worden berekend. Input is het GC scenario (toegevoegde waarde, fysieke productie en energievraag) of een ander willekeurig qua opzet vergelijkbaar scenario. Vanuit de scenarioreeksen wordt het structureffect bepaald en de energiebesparing berekent op sectorniveau.

DACES 2050

DACES staat voor DAtabase Clean Energy Supply. Het databestand biedt een overzicht van de verschillende opties bij aanbod, vraag en infrastructuur op het gebied van o.a. efficiency, reductiepotentiëlen van CO₂ en (meer)kosten. Het databestand heeft een toolbox met diverse keuze mogelijkheden voor de gebruiker (aanbodmix, besparingsvarianten, infrastructuurvarianten, brandstofprijzen en rente). Hiermee kan een energievoorziening worden doorgerekend en kunnen opties worden vergeleken. Uitgangspunt voor de berekeningen zijn fysieke gegevens van de nationale economie in 2050 op subsector-niveau. De toolbox berekent vervolgens met de gekozen opties de energievoorziening in 2050 en geeft de energiebalans, de meerkosten van de gekozen opties (t.o.v. een default) en de emissies van CO₂. De emissies van overige stoffen zoals NO_x, en SO₂, en mogelijk fijn stof en VOC worden dit jaar toegevoegd.

Matrix 2030

Matrix 2030 bestaat uit verschillende rekenbladen (matrices) die de effecten van verschillende oplossingsrichtingen voor de energie en mobiliteitsector doorrekenen voor Nederland in 2030. Het model is ontwikkeld ten behoeve van de RIVM/ECN-ondersteuning ter voorbereiding van het NMP4. Het model berekent de energievraag, energieaanbod, kosten van oplossingen en uiteindelijk via emissiefactoren de emissies van CO₂, NO_x, SO₂, VOS en fijn stof per sector. Het model bevat 6 oplossingsrichtingen. Oplossingsrichtingen met technische opties zijn uitgewerkt tot op de belangrijkste opties. Zo is bijvoorbeeld de oplossingsrichting 'Hernieuwbaar' onderscheiden naar zon-PV, wind en biomassa. Oplossingsrichtingen kunnen in meerdere en mindere mate worden ingezet en dat geldt eveneens voor de technische opties binnen een oplossingsrichting. Voor NO_x en SO₂ kunnen additioneel reducties door nageschakelde technieken worden ingezet. Matrix 2030 bevat als referentie het GC scenario in 7 verschillende sectoren.

SELPE

SELPE betekent Statisch ESC³ Lineair Programmerings Energiemodel. Het model SELPE vormt het integrerende deel van een systeem van modellen voor de diverse (deel)sectoren of specifieke aspecten (elektriciteitsvoorziening, raffinaderijen, gaswinningvoorraad, warmtekrachtproductie en duurzame bronnen).

De basis van het model bestaat uit een procesmatige beschrijving van de (toekomstige) Nederlandse energievoorziening volgens een netwerkstructuur. Hierin wordt de loop van energiestromen, in de vorm van bepaalde energiedragers, weergegeven vanaf winning of invoer via allerlei bewerkingen (processen) tot aan het eindgebruik van de onderscheiden sectoren.

De energie-activiteiten bij de diverse eindgebruikers zijn uitgebreid gemodelleerd. De vraag naar energie is per sector gesplitst in elektriciteit, grondstof, stoom/warm water en overige warmte. Diverse omzettingprocessen zoals gas- olie- en kolenketels, ovens, drogers, fornuizen en diverse warmtekrachtkoppeling-systemen worden aangetroffen. Verder zijn in diverse relevante sectoren een groot aantal duurzame winnings- of omzetoepies zoals warmtepompen, zonnecollectoren en windturbines opgenomen.

Source to Service

Source to Service rekent energieketens door van de 'source' tot aan de 'service' in Nederland voor elektrische toepassingen. Source to service is ontwikkeld bij KEMA. Het model berekent de energiebesparingen, reductie in CO₂-emissies en kosten ontstaan door het integreren van energie conversieprocessen door bijvoorbeeld warmtekrachtkoppeling of het implementeren van efficiëntere technologieën zoals warmte pompen en elektrisch transport. Het model geeft een analyse op basis van 'triple E' (Exergy, Economie en Ecologie). Op deze manier kan een inzicht gekregen worden in de brandstofbesparing, CO₂-reductie en de potentiële toename in verkoop van stroom door elektriciteitsbedrijven. In het model wordt een speciale nadruk gelegd op de kwaliteit van energie en met name exergie.

³ Energie Studie Centrum, vroegere naam ECN Beleidsstudies

BIJLAGE B BESCHRIJVING INTEGRAAL ENERGIEMODEL

Deze bijlage geeft een indruk van de verschillende onderdelen van het integrale energiemodel en moet worden beschouwd als illustrerend en richtinggevend. Bij de verdere uitwerking kunnen de hier gepresenteerde keuzes/weergaves zeker nog veranderen. De onderdelen zijn databestanden, input, output en rekenregels en komen overeen met de boxen en pijlen in het schema van het integrale energiemodel.

Box: Economie en scenario's

De economische sectoren worden beschreven aan de hand van de fysieke productie per sector (zie Tabel 1 voor een beschrijving hiervan).

De scenario's worden gekarakteriseerd door:

- BNP
- volumeveranderingen fysieke productie
- structuurveranderingen
- dematerialisatie
- rentevoet, energieprijzen.

Mogelijkheden voor invulling van de database met scenario's zijn:

- MV5-scenario's
- putten uit scenariodatabase (eventueel aangevuld met energiedatabase)
- implementeren van STEIN.

Box: Energievraag basisjaar (1995)

Uitgangspunt voor de berekeningen betreffende de energievraag in de zichtjaren is de energievraag in het basisjaar (1995). Voor elke sector moet het volgende bekend zijn:

- energievraag elektrisch [PJ]
- energievraag brandstoffen [PJ]
- energievraag warmte [PJ]
- energiekosten [G€]
- p.m. verbruikssaldo vs. finaal verbruik
- p.m. energievraag grondstoffen

De gegevens voor het basisjaar worden afgeleid uit: energiebalans 1995 en de Nederlandse Energiehuishouding (NEH) van het CBS. De gegevens betreffende de energievraag zijn inclusief temperatuurcorrectie.

Tabel B.1 geeft de gekozen sectorindeling weer.

Box: Energievraag zichtjaar (2010, 2020, 2030)

De energievraag voor de zichtjaren 2010, 2020 en 2030 heeft hetzelfde format als de energievraag voor het basisjaar. Het vullen van deze box kan op 2 manieren:

1. De energievraag wordt berekend uit de energievraag voor het basisjaar, het economische scenario en de veranderingen in de energievraagefficiëntie (zie Pijl naar: Energievraag zichtjaar).
2. Rechtstreeks ingevuld door de gebruiker (bijv. gegevens uit doelgroepen).

Box: Knoppen

De gebruiker van het model kan middels het draaien aan een aantal knoppen het model sturen. De knoppen betreffen:

1 Scenario's economie

Knoppen waaraan de gebruiker kan draaien: BNP, fysieke productie, economische structuur en eventueel andere relevante economische parameters.

2 Technologische maatregelen aan vraag- en aanbodkant

De gebruiker van het model kan het effect van maatregelen aan de vraagkant doorrekenen door deze aan of uit te zetten. Daarnaast kunnen aan de aanbodkant alternatieven voor de energievoorziening, bijv. kernenergie of windenergie, geheel of gedeeltelijk worden aan- of uitgezet.

3 Beleidsinstrumenten

De gebruiker kan de effecten van beleidsinstrumenten doorrekenen door het in- en uitschakelen van een vijftal types beleidsinstrumenten. Deze beleidsinstrumenten zijn:

- heffingen
- afspraken
- regelgeving
- subsidies
- verhandelbaarheid.

De beleidsinstrumenten sturen pakketten van technologische maatregelen aan de vraag- en/of de aanbodkant aan.

Box: Technologie database

De technologische maatregelen aan de vraagkant kunnen worden gekoppeld aan een database. Kenmerken van deze maatregelen zijn (gebaseerd op ICARUS database):

- naam van de maatregel,
- de sector waarop de maatregel betrekking heeft,
- het deel van de energievraag waarop de maatregel betrekking heeft: thermisch, elektrisch of brandstoffen,
- het besparingspotentieel betreffende elektriciteit of warmte/brandstoffen,
- jaar dat de maatregel beschikbaar is,
- huidige penetratie van de maatregel,
- technisch maximale penetratie van de maatregel,
- additionele investeringskosten en O&M-kosten,
- technische levensduur van de maatregel.

De alternatieven voor energieopwekking aan de aanbodkant hebben de volgende karakteristieken (niet uitputtend):

- soort vermogen (fossiel: kolen, olie, gas; hernieuwbaar: pv, wind, biomassa, etc.; kernenergie),
- rendement elektrisch (warmte),
- bedrijfstijd, levensduur,
- brandstof,
- investeringskosten,
- emissiefactoren.

Bezien moet worden in hoeverre en op welk niveau gegevens over technologische maatregelen onderdeel uitmaken van het integrale energiemodel dan wel onderdeel uitmaken van de meer gedetailleerde modellen.

Box: resultaten

De resultaten omvatten de uitkomsten c.q. afgeleide uitkomsten van het model. Voorbeelden zijn:

- totale energievraag
- kosten
- emissies
- kosteneffectiviteit
- elektriciteitsprijs.

Box: Energieaanbod basisjaar (1995)

Het energieaanbod in het basisjaar heeft hetzelfde format als het energieaanbod in de zichtjaren (zie onder). Het energieaanbod in het basisjaar wordt in de berekening van het model niet gebruikt. Het dient alleen om veranderingen in het energieaanbod in de tijd te laten zien. De gegevens betreffende het basisjaar worden afgeleid uit de energiebalans MV5, CBS-NEH en de NEV.

Box: Structuur energievoorziening zichtjaren

De structuur van de energievoorziening geeft weer hoe het park er uit ziet om aan de vraag naar 3 energietypen (brandstoffen, warmte en elektriciteit) te voldoen. Voor elk van de 3 typen wordt de aanwezige technologie weergegeven (voor elektriciteit is dit bijv. gas, wind, zon en nucleair). Tabel 2 geeft meer voorbeelden.

De structuur van de energievoorziening wordt voor drie zichtjaren beschreven.

Box: Energieaanbod zichtjaar (2010, 2020, 2030)

Het energieaanbod in de zichtjaren geeft een beschrijving van het aanbod van primaire energiedragers zoals aardgas, aardolie, steenkool, nucleair, etc. Dit aanbod wordt bepaald op basis van de structuur van de energievoorziening en de totale energievraag over alle sectoren. Karakteristieken voor het energieaanbod naar energiedrager zijn:

- hoeveelheid [PJ]
- kosten [€/GJ]
- p.m. meerkosten t.o.v. referentie.

Pijl: veranderingen efficiëntie van de energievraag

De veranderingen in de energie efficiëntie aan de vraagkant hangen o.a. af van de kenmerken van de technologiemaatregelen. Daarnaast hebben de ingezette beleidsinstrumenten effect op de besparingen. Dit effect kan op drie manieren worden bepaald:

- door gebruik te maken van bestaande modellen die op de achtergrond draaien (bijv. SAVE, MEI-EI)
- middels globale relaties die in het model worden gedefinieerd (bijv. op basis van S-curves uit prototype)
- door de gebruiker zelf in te vullen

Pijl naar: Energievraag zichtjaar

De energievraag van de sectoren in het zichtjaar wordt door de gebruiker ingevuld of door het model berekend. In het tweede geval geschiedt dit op basis van de gekozen economische scenario's en de veranderingen in de efficiëntie van de energievraag.

Pijl naar: Structuur energievoorziening zichtjaren

De gebruiker kan middels de knoppen alternatieven voor de energieproductie selecteren uit de database. Daarnaast wordt op deze manier de structuur van de energievoorziening vastgelegd.

Pijl naar: Energieaanbod zichtjaar

Het energieaanbod in de zichtjaren wordt bepaald op basis van de structuur van de energievoorziening (in percentages) en de energievraag van de energieafnemers in het zichtjaar.

Pijlen naar: Resultaten

Deze pijlen omvatten de rekenregels om tot de resultaten te komen. Deze rekenregels moeten nader worden gespecificeerd.

Tabel B.1 Eerste aanzet voor de sector indeling integraal energie model (naar Daces 2050)

Sector	Sub-sector	Fysieke eenheid
Industrie	Staal	Tonnen product
	Non-ferro	Tonnen product
	Chemie	Tonnen product
	Raffinaderijen	Tonnen product
	Kunstmest	Tonnen product
	Cement	Tonnen product
	Papier	Tonnen product
	Lichte industrie	Tonnen product
Landbouw	Veeteelt	Aantal dieren / index veestapel
	Tuinbouw	Tonnen product / hectares
	Akkerbouw	Tonnen product / index ha-bewerkingen
Transport	Personen:	
	-weg	personenkm
	-rail	personenkm
	-lucht nationaal	personenkm
	-lucht internationaal	personenkm
	Goederen:	
	-weg	Tonkm
	-rail	Tonkm
	-lucht	Tonkm
	-binnenvaart	Tonkm
Diensten	Gebouwen	Werknemers / m ²
Huishoudens	Ruimteverwarming:	
	-nieuwbouw	Aantal woningen / m ²
	-bestaande bouw	Aantal woningen / m ²
	Applicaties	Aantal huishoudens

Tabel B.2 Voorbeelden aanbod opties integraal energie model (naar Daces 2050)

Option	Technology	Supply_output
Biomass	Hydrogen production	Fuel / feedstock
Biomass	Ethanol production	Fuel / feedstock
Biomass	Methanol production	Fuel / feedstock
Biomass large scale	BIG/CC	Electricity
Biomass small scale	BIG/CC	Electricity
Coal	adv. Coal fired PP + CO ₂ rem/stor	Electricity
Gas	Combined Cycle	Electricity / heat
Gas	CES	Electricity / heat
gas	Fuelcel	Electricity / heat
Nuclear	HTR	Electricity
Nuclear	LWR	Electricity
Solar	PV	Electricity
Tidal energy	Active tidal	Electricity
Wind	Off-shore	Electricity
Wind	On-shore	Electricity
...

BIJLAGE C MAATREGELEN IN DE VOEDINGS- EN GENOTMIDDELENINDUSTRIE

Onderstaande tabel geeft een overzicht van maatregelen zoals opgenomen in het SAVE-model en biedt ondersteunende informatie bij Paragraaf 5.2.

Tabel C.1 *Overzicht besparingsmaatregelen in de V&G-industrie*

	Maatregel	Sector
1	zuivel: pinch optimalisatie indampen	Zuivel+melkprod
2	zuivel: pinch optimalisatie drogen	Zuivel+melkprod
3	zuivel: pinch optimalisatie schoonmaken	Zuivel+melkprod
4	zuivel: pinch optimalisatie overig	Zuivel+melkprod
5	zuivel: elektriciteit, good housekeeping	Zuivel+melkprod
6	zuivel: elektriciteit diverse investeringen	Zuivel+melkprod
7	zuivel: zestrapsverdamper	Zuivel+melkprod
8	zuivel: mechanische damprecompressie	Zuivel+melkprod
9	zuivel: omgekeerde osmose	Zuivel+melkprod
10	zuivel: hoogconcentreren wei	Zuivel+melkprod
11	zuivel: direct drogen	Zuivel+melkprod
12	zuivel: meertrapsdrogen	Zuivel+melkprod
13	zuivel: vriesdrogen	Zuivel+melkprod
14	zuivel: condicycloon	Zuivel+melkprod
15	zuivel: schoonmaken stap 1	Zuivel+melkprod
16	zuivel: schoonmaken stap 1+2	Zuivel+melkprod
17	zuivel: overige opties warmte	Zuivel+melkprod
18	zuivel: schoonmaken 1+2+coatings	Zuivel+melkprod
19	zuivel: nieuwe elektriciteitstoep.	Zuivel+melkprod
20	vlees: nieuwe elektriciteitstoepassingen	Vlees
21	vlees diverse maatregelen warmte	Vlees
22	vlees diverse maatregelen koeling	Vlees
23	vlees overige besparing elektriciteit	Vlees
24	vlees good housekeeping warmte	Vlees
25	vlees good housekeeping koelen	Vlees
26	vlees good housekeeping ov.elektriciteit	Vlees
27	mengvoer: verbetering proces	Veevoeder
28	mengvoer: verbetering maal/menglijn	Veevoeder
29	mengvoer: extrusie	Veevoeder
30	groenvoer: verbetering droogproces	Veevoeder
31	veevoeder: warmtepompen mengvoer	Veevoeder
32	veevoeder: warmtepompen overig	Veevoeder
33	veevoeder: diversen elektriciteit	Veevoeder
34	veevoeder: nieuwe elektriciteitstoepassingen	Veevoeder
35	oliën en vetten: procesoptimalisatie	Oliën en vetten
36	oliën en vetten: nieuwe extractietechniek	Oliën en vetten
37	lagere temperatuur dierlijk vet smelten	Oliën en vetten
38	oliën en vetten; overige opties warmte	Oliën en vetten
39	oliën en vetten: diversen elektriciteit	Oliën en vetten
40	oliën en vetten: nieuwe elektriciteitstoepassingen	Oliën en vetten

	Maatregel	Sector
41	bier: mout efficiënt eesten	Bier
42	bier: stoomloze brouwerij	Bier
43	bier: wortkoken, warmteterugwinning	Bier
44	bier: schoonmaken vaten	Bier
45	bier: elektriciteitstoepassingen	Bier
46	bier: nieuwe elektriciteitstoep.	Bier
47	overige voeding: nieuwe elektriciteitstoep.	Overige voeding
48	overige voeding: diverse opties warmte	Overige voeding
49	overige voeding: diverse opties elektriciteit	Overige voeding
50	suiker: elektriciteit	Suiker
51	suiker: proces improvement	Suiker
52	suiker: optimalisatie warmteterugwinning	Suiker
53	suiker: mechanische damprecompressie	Suiker
54	suiker: kristallisatie halfcontinu	Suiker
55	suiker: omgekeerde osmose	Suiker
56	bietenpulp: diffusieve dewatering	Suiker
57	bietenpulp: verkopen natte pulp	Suiker
58	bietenpulp: high performance pressing	Suiker
59	bietenpulp: improved drying	Suiker
60	bietenpulp: proces improvement	Suiker
61	bietenpulp: optimalisatie warmteterugwinning	Suiker
62	suiker: kristallisatie mvr/vriesdrogen	Suiker
63	suiker: nieuwe elektriciteitstoepassingen	Suiker
64	zetmeel: improved pressing	Zetmeel
65	zetmeel: wervelbeddrogen	Zetmeel
66	zetmeel: micro-prefiltration	Zetmeel
67	zetmeel: protein extraction	Zetmeel
68	zetmeel: derivatenproductie	Zetmeel
69	zetmeel: elektriciteit	Zetmeel
70	zetmeel: verder drogen	Zetmeel
71	zetmeel: nieuwe elektriciteitstoepassingen	Zetmeel